



Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais – FCBA

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente – PPGBMA

Técnica de meia-lua e coberturas vegetais no estabelecimento de espécies
arbóreas da Mata Atlântica

Gabrielli Duarte dos Santos

Dourados – MS

Março de 2026



Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais – FCBA

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente – PPGBMA

Gabrielli Duarte dos Santos

TÉCNICA DE MEIA-LUA E COBERTURAS VEGETAIS NO
ESTABELECIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA

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

Orientador(a): Dr.^a Zefa Valdivina Pereira

Dourados – MS

Março de 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S237t Santos, Gabrielli Duarte Dos

Técnica de meia-lua e coberturas vegetais no estabelecimento de espécies arbóreas da Mata Atlântica [recurso eletrônico] / Gabrielli Duarte Dos Santos. -- 2026.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Zefa Valdivina Pereira.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

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

1. Estresse hídrico. 2. Mudanças climáticas. 3. Herbivoria. 4. Restauração Ecológica. I. Pereira, Zefa Valdivina. II. 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.

**"TÉCNICA DE MEIA-LUA E COBERTURAS VEGETAIS NO ESTABELECIMENTO DE
ESPÉCIES ARBÓREAS DA MATA ATLÂNTICA"**

POR

GABRIELLI DUARTE DOS SANTOS

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: 02/03/2026 13:52:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROF.^a DR.^a ZEFA VALDIVINA PEREIRA
ORIENTADORA – UFGD

Documento assinado digitalmente
 **GLAUCIA ALMEIDA DE MORAIS**
Data: 02/03/2026 20:06:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROF.^a DR.^a GLAUCIA ALMEIDA DE MORAIS
MEMBRO TITULAR – UFMS

Documento assinado digitalmente
 **SANDRO MENEZES SILVA**
Data: 02/03/2026 17:12:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PROF. DR. SANDRO MENEZES SILVA
MEMBRO TITULAR – UFGD

Aprovada em 02 de março de 2026.

“Ecologia sem luta de classe é jardinagem.”

— Chico Mendes

Agradecimentos

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente (PPGBMA), fundamentais para a realização e o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço à equipe do Laboratório de Restauração Ambiental (LABRA) pelo auxílio na implementação do experimento. Trata-se de uma equipe dedicada que, quando necessário, soube "trocar a caneta pela enxada". Agradeço também à equipe do Parque Natural Municipal de Glória de Dourados, onde utilizei as instalações e parte dos equipamentos. Em especial, agradeço ao funcionário João Otávio, que me acompanhou e auxiliou nos trabalhos de campo ao longo de todo o experimento.

À minha orientadora, Zefa V. Pereira, expresso minha profunda gratidão pelo suporte durante toda a jornada, por aceitar um projeto que envolveu a escavação manual de 120 meias-luas de 0,5 m de profundidade e, sobretudo, por ser uma profissional que contribuiu de forma decisiva para que eu "me encontrasse" no trabalho de campo. Agradeço igualmente à banca pela disponibilidade em ler e avaliar este trabalho.

Agradeço às minhas amigas do LABRA, Luciana da C. Cortes e Fernanda Militão, e à minha companheira, Letícia C. Vasques, pelo companheirismo constante, desde as escavações até as longas e exaustivas horas em laboratório. Nós quatro compartilhamos não apenas inúmeras horas de trabalho, mas também muitas experiências memoráveis e divertidas.

Aos meus pais, Carlos A. dos Santos e Roseli D. Valiente, agradeço por todo o apoio, tanto neste trabalho quanto na vida. De modo especial, agradeço ao meu pai e ao meu avô, Alcides, pela contribuição na fabricação do trado utilizado na coleta de solo.

Por fim, agradeço a cada animal resgatado que esteve comigo durante o mestrado: Dália, Max, Fofa, Fada, Stuart, Scooby, Mia, Roberta, Apollo, Calêndula, Klaus, Jasmim, Mei, Meison, Ganimedes, Batman, Sunshine, Téia, Hélio, Selene, Olaf e Calisto. Alguns conseguiram encontrar novos lares, outros hoje permanecem apenas *in memoriam*, e alguns seguem comigo. A todos, agradeço por proporcionarem alegria nos momentos de ansiedade e, sobretudo, pela companhia durante a redação desta dissertação, muitas vezes em meu colo ou até mesmo “pisando” no teclado, razão pela qual assumem, simbolicamente, a condição de “*et al.*”.

RESUMO

Diante da degradação da Mata Atlântica, são necessárias ações de restauração aliadas a técnicas que mitiguem a limitação hídrica, como berços em meia-lua e coberturas vegetais, especialmente em cenários de mudanças climáticas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da técnica de meia-lua e da cobertura do solo com mamona (*Ricinus communis* L.) e palha de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) sobre a sobrevivência e o crescimento das plantas, bem como sobre a incidência de herbivoria e a temperatura e a umidade do solo. Foram utilizadas mudas de seis espécies nativas da Mata Atlântica: aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). O experimento foi conduzido no Parque Natural Municipal de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, em delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos: T1 — meia-lua; T2 — coroamento; T3 — meia-lua + palha; T4 — coroamento + palha; T5 — meia-lua + mamona; T6 — coroamento + mamona; T7 — meia-lua + palha + mamona; T8 — coroamento + palha + mamona; e T9 — controle. A sobrevivência e o crescimento foram avaliados trimestralmente; a incidência de herbivoria a cada 15 dias; e a temperatura e a umidade do solo, mensalmente. As análises estatísticas foram realizadas no software R, com aplicação de curvas de Kaplan–Meier e teste log-rank para a sobrevivência; ANOVA (5%) e teste de Tukey para a taxa de crescimento relativa (TCR); e teste de Kruskal–Wallis (5%), seguido de Dunn-Bonferroni, para incidência de herbivoria, temperatura e umidade do solo. Houve diferença na sobrevivência entre as espécies ($p < 0,0001$), com menores taxas na meia-lua com mamona (T5), atribuídas aos efeitos decorrentes da fermentação e da atividade microbiana observados na cobertura com mamona. Observaram-se diferenças na TCR em altura e em diâmetro ($p < 0,05$), com maiores taxas para as plantas no tratamento meia-lua com mamona (T5) e maior crescimento de *E. contortisiliquum* e *J. spinosa*. A incidência de herbivoria variou entre as espécies ($p < 0,05$), com maior ocorrência em *G. americana* e no T8. A temperatura do solo apresentou diferença entre os tratamentos às 12 h ($p < 0,05$), com redução térmica nos tratamentos com cobertura. A umidade do solo também variou entre os tratamentos ($p < 0,05$) e foi maior na combinação da técnica de meia-lua com cobertura vegetal. O manejo em meia-lua com cobertura de mamona não se mostrou eficiente devido à baixa sobrevivência das mudas e elevada demanda de manejo, sendo o uso de palha uma alternativa mais recomendada.

Palavras-chave: Estresse hídrico; Mudanças climáticas; Herbivoria; Restauração Ecológica.

ABSTRACT

Given the degradation of the Atlantic Forest, restoration actions are required in combination with techniques that mitigate water limitation, such as half-moon planting basins and mulching, especially under climate change scenarios. In this context, this study evaluated the effects of the half-moon planting technique and soil mulching with castor bean residues (*Ricinus communis* L.) and grass straw (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) on plant survival and growth, as well as herbivory incidence and soil temperature and moisture, using seedlings of six native Atlantic Forest species: aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.), and tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). The experiment was conducted at the Parque Natural Municipal de Glória de Dourados (Municipal Natural Park of Glória de Dourados), Mato Grosso do Sul, Brazil, in a completely randomized design with nine treatments: T1 — half-moon; T2 — crowning; T3 — half-moon + straw mulching; T4 — crowning + straw mulching; T5 — half-moon + castor bean mulching; T6 — crowning + castor bean mulching; T7 — half-moon + straw mulching + castor bean mulching; T8 — crowning + straw mulching + castor bean mulching; and T9 — control. Survival and growth were assessed quarterly, herbivory incidence every two weeks, and soil temperature and moisture monthly. Statistical analyses were performed using R software, applying Kaplan–Meier survival curves and the log-rank test for survival; ANOVA (5%) and Tukey’s test for relative growth rate (RGR); and the Kruskal–Wallis test (5%), followed by Dunn–Bonferroni, for herbivory incidence, soil temperature, and moisture. There was a significant difference in survival among species ($p < 0.0001$), with lower rates in the half-moon with castor bean mulch (T5), attributed to the effects resulting from fermentation and microbial activity observed in the castor bean mulch. Differences were also found in RGR for height and diameter ($p < 0.05$), with higher values in the half-moon + castor bean mulching treatment (T5) and greater growth in *E. contortisiliquum* and *J. spinosa*. Herbivory incidence varied among species ($p < 0.05$), with the highest occurrence in *G. americana* and in T8. Soil temperature differed among treatments at 12:00 PM ($p < 0.05$), with thermal attenuation observed in mulched treatments. Soil moisture also varied among treatments ($p < 0.05$) and was higher in treatments combining the half-moon technique with mulching. The half-moon technique with castor bean mulch was not efficient due to low seedling survival and high management demand, with straw mulch being a more recommended alternative.

Keywords: Water stress; Climate change; Herbivory; Ecological Restoration.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I: A técnica de meia-lua e a cobertura vegetal morta influenciam o estabelecimento inicial de mudas de espécies florestais nativas e a regulação da temperatura e umidade do solo?

Figura 1. Localização da área de estudo no município de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Na imagem de satélite, é possível observar as sete linhas de plantio. Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2026).9

Figura 2. Registros meteorológicos da região de estudo durante o período experimental (maio/2024 a maio/2025). Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Guia Clima.10

Figura 3. Dimensões da meia-lua e coroamento utilizadas no experimento.12

Figura 4. Curvas de probabilidade de sobrevivência obtidas pelo modelo de Kaplan–Meier, para as espécies (a) e para os diferentes tratamentos (b) ao longo do tempo (0, 90, 180, 270 e 360 dias), com diferença significativa entre as espécies ($p < 0,0001$).16

Figura 5. Registros fotográficos dos primeiros meses do experimento para cada tratamento: a) T1 – meia-lua; b) T2 – coroamento; c) T3 – meia-lua + palha; d) T4 – coroamento + palha; e) T5 – meia-lua + mamona; f) T6 – coroamento + mamona; g) T7 – meia-lua + palha + mamona; h) T8 – coroamento + palha + mamona; i) T9 – controle.17

Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) em altura ($\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) (a) e em diâmetro ($\text{mm mm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) (b) de plantas de diferentes espécies submetidas aos tratamentos T1 a T9 em condições de campo. Em cada gráfico, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Os limites das caixas correspondem ao intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana (Q2), o símbolo “+” representa a média, as hastes indicam o valor mais extremo dentro de $1,5 \times$ o intervalo interquartil (IQR), e os pontos representam valores discrepantes (*outliers*).19

Figura 7. Altura (cm) e diâmetro (mm) médios das plantas por tratamento (a, b) e por espécie (c, d) ao longo das avaliações realizadas entre maio/24 e abril/25. Os círculos indicam os tratamentos, os quadrados as espécies e as barras representam o desvio-padrão.20

Figura 8. Médias de temperatura do solo por tratamento ao longo das avaliações, registradas às 7 horas (a), às 12 horas (b) e às 17 horas (c), entre maio/24 e abril/25.22

Figura 9. Diferenças na umidade gravimétrica do solo ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) submetido a diferentes tratamentos em condições de campo. No gráfico, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p > 0,05$). Os limites das caixas correspondem ao intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana (Q2), o símbolo “+” representa a média, as hastes indicam o valor mais extremo dentro de $1,5 \times$ o intervalo interquartil (IQR), e os pontos representam valores discrepantes (*outliers*).24

Figura 10. Médias da umidade gravimétrica do solo (%) por tratamento ao longo das avaliações, registradas entre maio de 2024 e abril de 2025.24

Capítulo II: Efeito da técnica de meia-lua e da cobertura morta de *Ricinus communis* e *Urochloa decumbens* sobre a herbivoria em mudas arbóreas da Mata Atlântica

Figura 1. Localização da área de estudo no município de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Na imagem de satélite, é possível observar as sete linhas de plantio. Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2026).55

Figura 2. Registros meteorológicos da região de estudo durante o período experimental (maio/2024 a maio/2025). Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Guia Clima.56

Figura 3. Dimensões da meia-lua e coroamento utilizadas no experimento.57

Figura 4. Incidência de herbivoria acumulada entre as espécies (a) e entre os diferentes tratamentos (b). Em cada gráfico, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p > 0,05$). Os limites das caixas correspondem ao intervalo interquartil ($Q1-Q3$), a linha central indica a mediana ($Q2$), o símbolo “+” representa a média, as hastes indicam o valor mais extremo dentro de $1,5 \times$ o intervalo interquartil (IQR), e os pontos representam valores discrepantes (*outliers*).61

Figura 5. Incidência média de herbivoria (%) em mudas, por espécie (a) e por tratamento (b), no período de maio de 2024 a abril de 2025. As avaliações foram realizadas a cada 15 dias, razão pela qual os gráficos apresentam duas medições por mês.62

Figura 6. Registros fotográficos da área experimental, com indivíduos da fauna (a–g), pegadas (h), ninhos (i–k) e marcas de herbivoria (l).63

LISTA DE TABELAS

Capítulo I: A técnica de meia-lua e a cobertura vegetal morta influenciam o estabelecimento inicial de mudas de espécies florestais nativas e a regulação da temperatura e umidade do solo?

Tabela 1. Características ecológicas das espécies utilizadas no experimento. Síndrome de dispersão (SD): Ane = anemocórica (pelo vento); Zoo = zoocórica (pela fauna). Classe sucessional (CS): Pio = pioneira; SeI = secundária inicial; SeT = secundária tardia. Fenologia foliar (FF): Per = perene; Dec = decídua; Sem = semidecídua.11

Tabela 2. Resumo do teste de Kruskal–Wallis da temperatura do solo registrada às 07h, 12h e 17h, em diferentes tratamentos aplicados em condições de campo.21

Tabela 3. Médias da temperatura do solo registradas às 07h, 12h e 17h, sob diferentes tratamentos em condições de campo. T1: Meia-lua; T2: Coroamento; T3: Meia-lua + Palha; T4: Coroamento + Palha; T5: Meia-lua + Mamona; T6: Coroamento + Mamona; T7: Meia-lua + Palha + Mamona; T8: Coroamento + Palha + Mamona; T9: Controle.21

Tabela 4. Resumo do teste de Kruskal–Wallis da umidade gravimétrica do solo ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$), em diferentes tratamentos aplicados em condições de campo.23

Capítulo II: Efeito da técnica de meia-lua e da cobertura morta de *Ricinus communis* e *Urochloa decumbens* sobre a herbivoria em mudas arbóreas da Mata Atlântica

Tabela 1. Características ecológicas das espécies utilizadas no experimento. Síndrome de dispersão (SD): Ane = anemocórica (pelo vento); Zoo = zoocórica (pela fauna). Classe sucessional (CS): Pio = pioneira; SeI = secundária inicial; SeT = secundária tardia. Fenologia foliar (FF): Per = perene; Dec = decídua; Sem = semidecídua.57

Tabela 2. Resumo do teste de Kruskal–Wallis para a incidência de herbivoria, com comparação entre espécies e entre tratamentos.60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS.....	2
Capítulo I: A técnica de meia-lua e a cobertura vegetal morta influenciam o estabelecimento inicial de mudas de espécies florestais nativas e a regulação da temperatura e umidade do solo?	
5	
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1. Área de estudo	8
2.2. Delineamento experimental.....	10
2.3. Análise das plantas	12
2.4. Análise do solo	13
2.5. Análise estatística	14
3. RESULTADOS	15
3.1. Análise das plantas	15
<i>Análise da Sobrevivência</i>	15
<i>Análise do Crescimento</i>	17
3.2. Análise do solo	20
<i>Temperatura</i>	20
<i>Umidade Gravimétrica</i>	23
4. DISCUSSÕES.....	25
4.1. Análise das plantas.....	25
<i>Análise da Sobrevivência</i>	25
<i>Análise do Crescimento</i>	26
4.2. Análise do solo	27
<i>Temperatura</i>	27
<i>Umidade Gravimétrica</i>	28
5. CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
APÊNDICES	36
APÊNDICE A	36
APÊNDICE B	50
Capítulo II: Efeito da técnica de meia-lua e da cobertura morta de <i>Ricinus communis</i> e <i>Urochloa decumbens</i> sobre a herbivoria em mudas arbóreas da Mata Atlântica	
51	
1. INTRODUÇÃO.....	52
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	54
2.1. Área de estudo.....	54
2.2. Delineamento experimental	56

2.3. Coleta de dados	58
2.4. Análise estatística	59
3. RESULTADOS	60
4. DISCUSSÕES.....	64
4.1. Incidência de herbivoria entre espécies vegetais	64
4.2. Influência da cobertura do solo na incidência de herbivoria	67
5. CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICES	77
APÊNDICE A	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83

INTRODUÇÃO GERAL

A Mata Atlântica é uma floresta tropical rica em diversidade biológica e ocupa cerca de 1.110.182 km². É reconhecida como um *hotspot* para a conservação da biodiversidade e fornece diversos serviços ecossistêmicos (Cruz *et al.*, 2018). Apresenta altos níveis de endemismo: das mais de 20.000 espécies registradas, pelo menos 6.000 são endêmicas. Entre as espécies arbóreas e arbustivas, das quase 7.000 ocorrentes, cerca de 50% são endêmicas. Além disso, a fauna também apresenta elevado endemismo, incluindo mamíferos (109), aves (215), répteis (126) e anfíbios (504) (Marques; Grelle, 2021).

Entretanto, estima-se que restem apenas cerca de 12,5% da cobertura florestal original, composta por vegetação primária e secundária (Barretto; Catharino, 2022). Diante desse cenário, tornam-se necessárias ações urgentes voltadas à restauração dessas áreas. Entre as técnicas disponíveis, o transplante de mudas nativas cultivadas em viveiros para áreas em processo de restauração constitui uma alternativa amplamente utilizada. No entanto, diversos filtros ambientais, como a limitada disponibilidade hídrica e a herbivoria, influenciam o estabelecimento das mudas no campo (Leverkus *et al.*, 2021).

O estresse hídrico compromete negativamente o crescimento das plantas ao causar danos aos órgãos fotossintéticos e alterar as estruturas foliares (Sun *et al.*, 2020), problemas que podem ser agravados pelas mudanças climáticas. A precipitação altamente variável e o aumento constante da temperatura podem resultar em secas mais prolongadas (Issoufou *et al.*, 2020). Para superar esses desafios, destaca-se a utilização de técnicas de interceptação de águas pluviais, como a técnica da meia-lua.

Esta técnica consiste na escavação de semicírculos espaçados para interceptar a precipitação e o escoamento superficial, reduzir a erosão do solo, aumentar a infiltração pluvial e capturar detritos orgânicos que fornecem nutrientes para as plantas. Devido à sua simplicidade, baixo custo e aumento na produtividade das culturas, é amplamente utilizada por agricultores tradicionais em zonas áridas ou semiáridas no continente africano (Tamagnone *et al.*, 2020).

Embora originalmente seja uma técnica de agricultura ancestral, alguns estudos avaliaram o potencial dessa técnica para a restauração de áreas degradadas. Quando utilizada para captação de água na estação chuvosa, proporciona maior disponibilidade de água para as mudas durante a estação seca, o que resulta em taxas mais elevadas de sobrevivência e crescimento em comparação com outras técnicas (Bayen, Lykke, Thiombiano, 2016; Eshete *et al.*, 2023). Contudo, são necessárias mais investigações sobre sua aplicação na restauração e,

até o presente momento, inexistem estudos no Brasil que avaliem a técnica de meia-lua para aumento da disponibilidade hídrica no solo em ações de restauração.

Além disso, em áreas onde houve a conversão da vegetação nativa, há um declínio de predadores, o que pode favorecer o aumento das populações de formigas-cortadeiras (Reis *et al.*, 2019). Nesses ambientes, é comum o uso intensivo de inseticidas. Contudo, os tratamentos químicos levantam muitas preocupações devido ao potencial de contaminação dos recursos hídricos, aos impactos sobre organismos não alvo e à intoxicação de trabalhadores (Malhotra *et al.*, 2021).

Nesse contexto, alguns estudos investigaram o potencial da mamona (*Ricinus communis* L.) no controle alternativo de formigas cortadeiras, por meio do uso de óleo essencial e extrato alcoólico (Reis *et al.*, 2023). Entretanto, ainda são necessárias pesquisas que explorem seu potencial repelente em manejos mais simplificados, como quando empregada como cobertura do solo. Por outro lado, espécies já utilizadas como cobertura em projetos de restauração, como o capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster), cuja palha é empregada como alternativa ao uso de herbicidas no controle da matocompetição (Dos Santos *et al.*, 2025; Francisco *et al.*, 2022), ainda carecem de estudos quanto aos seus efeitos sobre a herbivoria.

Portanto, este estudo propôs avaliar a utilização da técnica de meia-lua e da cobertura morta de mamona e capim-braquiária na recuperação de uma área degradada. Para isso, foram formuladas as seguintes hipóteses: (1) a meia-lua e a aplicação de cobertura vegetal morta afetam positivamente a sobrevivência e o crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas em campo; (2) a meia-lua e a cobertura vegetal morta influenciam positivamente a umidade e a temperatura do solo; e (3) a cobertura morta de mamona reduz a herbivoria nas plantas devido ao seu potencial inseticida previamente documentado.

Diante disso, este trabalho foi dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo, buscou-se avaliar a sobrevivência e o crescimento das plantas, bem como a temperatura e a umidade do solo, a fim de responder às hipóteses 1 e 2. O segundo capítulo, por sua vez, foi voltado à incidência de herbivoria, com o propósito de responder à hipótese 3.

REFERÊNCIAS

BARRETTO, E. H. P.; CATHARINO, E. L. M. Atlantic Forest Hotspot: Why We Should Consider Mature Forests a Conservation Priority in the São Paulo Metropolitan Region, Southeastern Brazil. **Journal of Environmental Protection**, v. 13, n. 1, p. 69-83, 2022.

BAYEN, P.; LYKKE, A. M.; THIOMBIANO, A. Success of three soil restoration techniques on seedling survival and growth of three plant species in the Sahel of Burkina Faso (West Africa). **Journal of forestry research**, v. 27, p. 313-320, 2016.

CRUZ, C. B. M.; ALMEIDA, P. M.; AMARAL, F.; BARROS, R.; SOUZA, E. M.; VICENS, R. Mapping the Atlantic Forest: GEOBIA contributions in a multiscale approach. In: **GEOBIA 2018-From pixels to ecosystems and global sustainability**. 2018.

DOS SANTOS, G. D.; CORTES, L. C.; VASQUES, L. C.; DOMINGOS, J. D.; MILITÃO, F. T.; PEREIRA, Z. V. Can Organic Mulchings be an Alternative Method for Controlling Weed Competition in Ecosystem Restoration?. **Revista de Gestão - RGSA**, v. 19, n. 10, p. e013692, 2025.

ESHETE, A.; TESHOME, S.; EDASO, A.; YILMA, G.; FURO, G. Selection of Soil and Water Conservation Technologies and Native Tree Species for Rehabilitation of Degraded Arid Lands in Southeast Ethiopia. **International Journal of Forestry Research**, v. 2023, 2023.

FRANCISCO, B. S.; DUTRA, F. B.; VIVEIROS, E.; DE ALMEIDA, L. S.; SOUZA, M. F.; SOUZA FILHO, P. C.; DA SILVA, J. M. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Can mulch be effective in controlling exotic grasses and promoting natural regeneration in ecological restoration?. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 44, 2022.

ISSOUFOU, A. A.; SOUMANA, I.; MAMAN, G.; KONATE, S.; MAHAMANE, A. Dynamic relationship of traditional soil restoration practices and climate change adaptation in semi-arid Niger. **Heliyon**, v. 6, n. 1, 2020.

LEVERKUS, A. B.; GONZÁLEZ, A. L.; ANDIVIA, E.; CASTRO, J.; JIMÉNEZ, M. N.; NAVARRO, F. B. Seeding or planting to revegetate the world's degraded land: systematic review and experimentation to address methodological issues. **Restoration Ecology**, v. 29, n. 4, p. e13372, 2021.

MALHOTRA, N.; KELVIN H.; CHEN, K. H. C.; HUANG, J. C.; LAI, H. T.; UAPIPATANAKUL, B.; ROLDAN, M. J. M.; MACABEO, A. P.; GER, T. R.; HSIAO, C. D. Physiological effects of neonicotinoid insecticides on non-target aquatic animals—an updated review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 17, p. 9591, 2021.

MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. The Atlantic Forest. **History, Biodiversity, Threats**

and Opportunities of the Mega-Diverse Forest; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, p. 3-24, 2021.

REIS, D. L. R. S.; CARNEIRO, A. B.; CRUZ, V. D.; FERNANDES, E. H. M.; KNOECHELMANN, C. M.; SIQUEIRA, F. F. S. Potencial de plantas inseticidas no controle de formigas cortadeiras no Brasil. **Unisanta BioScience**, v. 12, n. 1, p. 17-39, 2023.

REIS, L. K.; GUERRA, A.; COLADO, M. L. Z.; BORGES, F. L. G.; OLIVEIRA, M. D. R.; GONDIM, E. X.; SINANI, T. R.F.; GUERIN, N.; GARCIA, L. C. Which spatial arrangement of green manure is able to reduce herbivory and invasion of exotic grasses in native species?. **Ecological Applications**, v. 29, n. 8, p. e02000, 2019.

SUN, Y.; WANG, C.; CHEN, H. Y.; RUAN, H. Response of plants to water stress: A meta-analysis. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 978, 2020.

TAMAGNONE, P.; CEA, L.; COMINO, E.; ROSSO, M. Rainwater harvesting techniques to face water scarcity in African drylands: Hydrological efficiency assessment. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2646, 2020.

Capítulo I: A técnica de meia-lua e a cobertura vegetal morta influenciam o estabelecimento inicial de mudas de espécies florestais nativas e a regulação da temperatura e umidade do solo?

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da técnica de meia-lua e da cobertura do solo com mamona (*Ricinus communis* L.) e palha de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) sobre a sobrevivência e o crescimento das plantas, bem como sobre a temperatura e a umidade do solo. Foram utilizadas mudas de seis espécies nativas da Mata Atlântica: aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). O experimento foi conduzido no Parque Natural Municipal de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, em delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos: T1 – meia-lua; T2 – coroamento; T3 – meia-lua + palha; T4 – coroamento + palha; T5 – meia-lua + mamona; T6 – coroamento + mamona; T7 – meia-lua + palha + mamona; T8 – coroamento + palha + mamona; e T9 – controle. A sobrevivência e o crescimento foram avaliados trimestralmente, e a temperatura e a umidade do solo, mensalmente. As análises estatísticas foram realizadas no software R, utilizando curvas de Kaplan–Meier com teste log-rank para a sobrevivência e a taxa de crescimento relativa (TCR) para o crescimento, seguidas de ANOVA (5%) e teste de Tukey. Para a temperatura e a umidade gravimétrica, aplicou-se o teste de Kruskal–Wallis (5%), seguido do teste post hoc de Dunn, com correção de Bonferroni. Houve diferença na sobrevivência entre as espécies ($p < 0,0001$), com menores taxas na meia-lua com mamona (T5), atribuídas aos efeitos decorrentes da fermentação e da atividade microbiana observados na cobertura com mamona. Observaram-se diferenças na TCR em altura e em diâmetro ($p < 0,05$), com maiores taxas para as plantas no tratamento meia-lua com mamona (T5) e maior crescimento de *E. contortisiliquum* e *J. spinosa*. A temperatura do solo apresentou diferença entre os tratamentos às 12 h ($p < 0,05$), com redução térmica nos tratamentos com cobertura. A umidade do solo também variou entre os tratamentos ($p < 0,05$) e foi maior na combinação da técnica de meia-lua com cobertura vegetal. O manejo em meia-lua com cobertura de mamona não se mostrou eficiente devido à baixa sobrevivência das mudas e elevada demanda de manejo, sendo o uso de palha uma alternativa mais recomendada.

Palavras-chave: Estresse hídrico; Mudanças Climáticas; Mata Atlântica.

Chapter I: Do the half-moon technique and soil mulching influence the initial establishment of native forest seedlings and the regulation of soil temperature and moisture?

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effects of the half-moon planting technique and soil mulching with castor bean residues (*Ricinus communis* L.) and grass straw (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) on plant survival and growth, as well as on soil temperature and moisture. Seedlings of six native Atlantic Forest species were used: aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.), and tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). The experiment was conducted at the Municipal Natural Park of Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil, in a

completely randomized design with nine treatments: T1 – half-moon; T2 – crowning; T3 – half-moon + straw mulching; T4 – crowning + straw mulching; T5 – half-moon + castor bean mulching; T6 – crowning + castor bean mulching; T7 – half-moon + straw + castor bean mulching; T8 – crowning + straw + castor bean mulching; and T9 – control. Survival and growth were evaluated quarterly, while soil temperature and moisture were assessed monthly. Statistical analyses were performed in R software using Kaplan–Meier survival curves with the log-rank test and relative growth rate (RGR) for growth, followed by ANOVA (5%) and Tukey’s test. Soil temperature and gravimetric moisture were analyzed using the Kruskal–Wallis test (5%) followed by Dunn’s post hoc test with Bonferroni correction. Survival differed among species ($p < 0.0001$), with lower rates in the half-moon with castor bean mulch (T5), attributed to the effects resulting from fermentation and microbial activity observed in the castor bean mulch. Differences in RGR for height and diameter were observed ($p < 0.05$), with higher rates in the half-moon + castor bean treatment (T5) and greater growth of *E. contortisiliquum* and *J. spinosa*. Soil temperature differed among treatments at 12:00 h ($p < 0.05$), with thermal reduction in mulched treatments. Soil moisture also varied among treatments ($p < 0.05$) and was higher in the combination of the half-moon technique with mulching. The half-moon technique with castor bean mulch was not efficient due to low seedling survival and high management demand, with straw mulch being a more recommended alternative.

Keywords: Water stress; Climate Change; Atlantic Forest.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica apresenta elevados níveis de endemismo, com mais de 6.000 espécies endêmicas entre as mais de 20.000 registradas. Entre as espécies arbóreas e arbustivas, cerca de 50% são endêmicas, e a fauna também apresenta elevado endemismo, incluindo mamíferos (109), aves (215), répteis (126) e anfíbios (504) (Marques; Grelle, 2021). Apesar dessa elevada biodiversidade, é um dos *hotspots* mais ameaçados do mundo devido ao intenso desmatamento, o que a torna uma área prioritária para ações de restauração (Cruz *et al.*, 2018).

Entretanto, os custos e os benefícios econômicos associados à restauração da Mata Atlântica ainda são pouco compreendidos (Schimetzka *et al.*, 2024). Nesse cenário, a degradação do solo destaca-se como uma das principais manifestações da degradação ambiental, caracterizada pela deterioração de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, decorrente tanto de fatores naturais quanto antropogênicos (Wang *et al.*, 2023).

Nesse sentido, a vegetação possui uma relação bidirecional com a qualidade do solo, de modo que seu declínio reduz a biodiversidade, a porosidade e a taxa de infiltração edáfica (Wang *et al.*, 2023). Além do desmatamento, práticas agropecuárias inadequadas, o uso excessivo de fertilizantes inorgânicos e o manejo hídrico deficiente estão entre as principais causas da degradação do solo (Bhattacharyya *et al.*, 2023). Como o solo possui extensão finita e constitui um recurso não renovável na escala de tempo humana, tais atividades aceleram sua

perda e contribuem para a redução dos serviços ecossistêmicos globais que ele fornece (Lal, 2015).

Diante disso, a qualidade do solo assume relevância internacional e está diretamente associada a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos na Cúpula das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, em 2015. Entre esses objetivos, destaca-se o ODS 13, “Ação contra a mudança climática”, uma vez que o solo constitui o maior reservatório terrestre de carbono, e seu manejo sustentável é essencial para a mitigação das mudanças climáticas (Wang *et al.*, 2023).

Além de seu papel no armazenamento de carbono, o solo é fundamental para o ciclo hidrológico terrestre, pois influencia a relação entre o escoamento superficial e a recarga de água subterrânea, que, por sua vez, pode ser afetada pela variabilidade climática (Owuor *et al.*, 2016). No entanto, a degradação do solo pode levar à formação de crostas superficiais, que reduzem sua permeabilidade (Kagambèga *et al.*, 2011). Portanto, em áreas degradadas, os projetos de restauração vegetal devem considerar técnicas para a remoção das camadas impermeáveis, de modo a aumentar a infiltração de água e reduzir o escoamento superficial, como a técnica de meia-lua.

A técnica de meia-lua consiste na escavação de estruturas semicirculares que funcionam como obstáculos mecânicos para desacelerar e coletar a água do escoamento superficial, além de favorecer a quebra das crostas (Bayen; Lykke; Thiombiano, 2016). Trata-se de uma prática tradicional de plantio, amplamente utilizada como estratégia de adaptação às mudanças climáticas em regiões semiáridas do norte da África, que, embora comum na agricultura, também tem demonstrado eficácia na restauração ecológica (Bayen *et al.*, 2020).

Além disso, essa técnica pode favorecer o acúmulo de matéria orgânica no solo, por meio do aumento da umidade, criar um microclima mais favorável à germinação de sementes e ao desenvolvimento de mudas e reduzir a erosão (Soumana *et al.*, 2016). Esse último aspecto é especialmente importante na região de estudo, que apresenta áreas críticas sujeitas a processos erosivos, decorrentes do histórico de remoção da cobertura vegetal para implantação de lavouras e, posteriormente, de pastagens artificiais (De Lima; Teixeira Guerra, 2019).

Entretanto, no Brasil, há uma grande diversidade de solos continentais, divididos em 13 classes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), muitos dos quais podem apresentar grande resistência quando secos (Embrapa, 2026). Essa diversidade de pedoambientes, aliada à escassez de pesquisas brasileiras sobre a técnica de meia-lua, reforça a necessidade de mais estudos sobre esta técnica.

As coberturas orgânicas também constituem uma prática tradicional para a mitigação das mudanças climáticas. O recobrimento do solo contribui para a regulação da temperatura e a retenção de água, além de reduzir a lixiviação de nitratos, melhorar as propriedades físicas do solo, aumentar a atividade biológica, promover o equilíbrio do ciclo do nitrogênio, fornecer matéria orgânica, suprimir espécies competidoras e reduzir a erosão (El-Beltagi *et al.*, 2022). Materiais como a mamona (*Ricinus communis* L.) (Maia *et al.*, 2018) e a palha de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) (Hirata *et al.*, 2019) podem ser utilizados. Contudo, ainda há lacunas na literatura, especialmente sobre a eficácia da cobertura morta de mamona no controle térmico e na retenção da umidade do solo.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a técnica de meia-lua e a cobertura vegetal morta de mamona e palha de capim-braquiária têm efeito sobre a sobrevivência e o crescimento inicial de mudas de seis espécies florestais da Mata Atlântica, bem como avaliar os efeitos dessas técnicas sobre a temperatura e a umidade do solo. Para isso, foram formuladas as seguintes hipóteses: (1) a meia-lua e a aplicação de cobertura vegetal morta afetam positivamente a sobrevivência e o crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas em campo; e (2) a meia-lua e a cobertura vegetal morta influenciam positivamente a umidade e a temperatura do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido entre maio de 2024 e abril de 2025, em uma área em processo de restauração no Parque Natural Municipal de Glória de Dourados (PNMGD), localizado no município de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, nas coordenadas geográficas 22°24'21,60"S e 54°13'10,20"W. O plantio foi organizado em sete linhas, com 18, 20, 29, 41, 45, 50 e 67 berços (covas de plantio) por linha, respectivamente. A distância entre as linhas de plantio variou para acompanhar as condições topográficas do terreno e contornar a presença de vegetação arbórea remanescente. Com base no espaçamento mínimo adotado de 2,5 × 2,5 m entre os berços, a área total ocupada pelo experimento foi estimada em 1.687,5 m² (0,17 ha) (Figura 1).

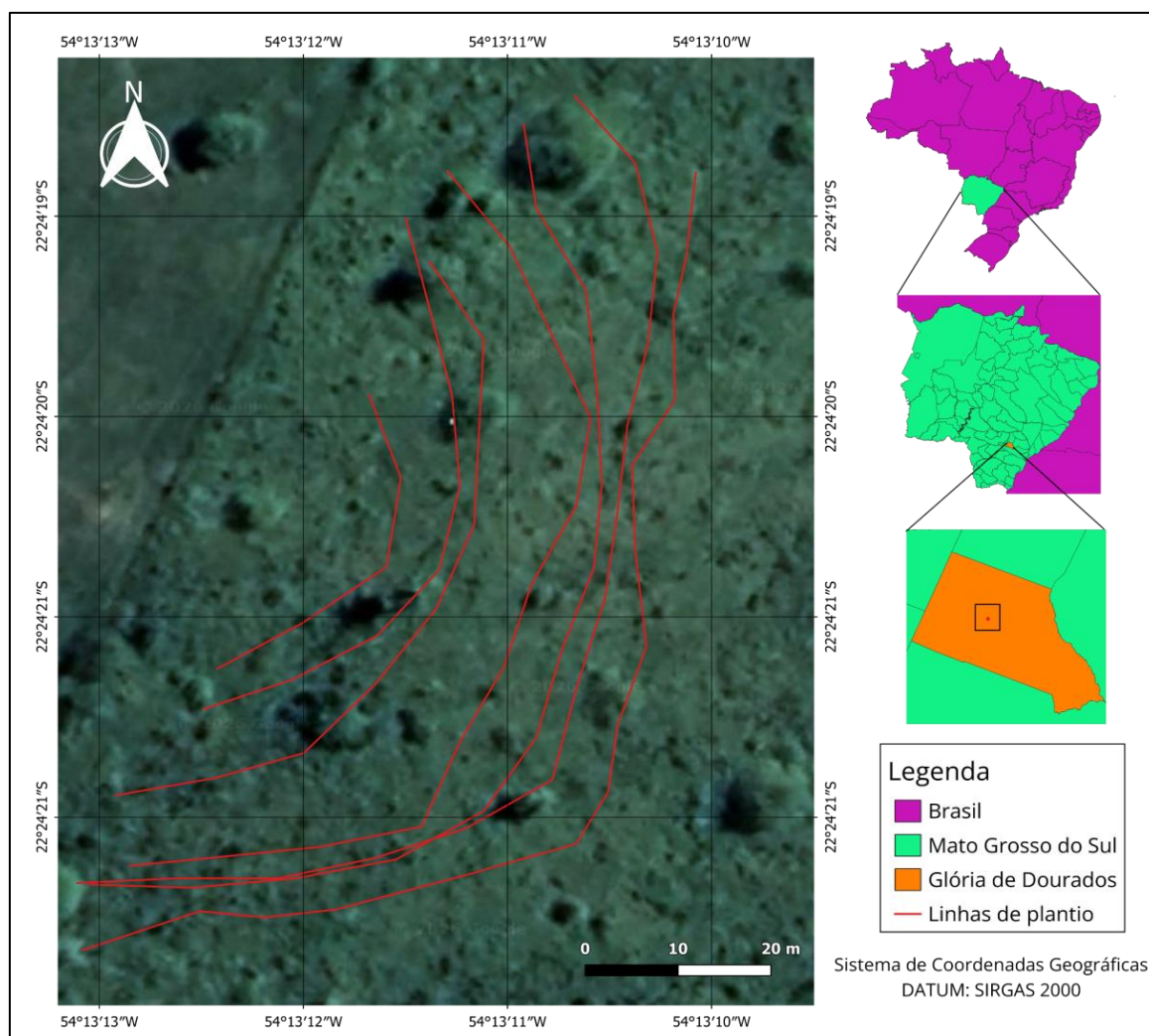


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Na imagem de satélite, é possível observar as sete linhas de plantio. Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2026).

A área de estudo está inserida na Mata Atlântica, em uma formação florestal classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012). Apesar de integrar uma unidade de conservação, o parque apresenta áreas que demandam recuperação ambiental. Atualmente, algumas regiões do parque sofrem processos de degradação associados às atividades agropecuárias desenvolvidas no entorno, com destaque para a presença da gramínea exótica *Urochloa decumbens*, que dificulta o processo de restauração. Além disso, a área experimental localiza-se a aproximadamente 400 m da zona urbana, o que intensifica as pressões antrópicas sobre o ecossistema.

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (subtropical úmido), caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (Da Silva; Gallo; Guimarães, 2022). Durante o período experimental, a temperatura média no mês mais frio foi de 19,6 °C (julho),

enquanto no mês mais quente foi de 27,2 °C (janeiro). As menores precipitações ocorreram entre os meses de maio e outubro, e as maiores entre novembro e abril (Figura 2). Devido à ausência de estação meteorológica no município, foram utilizados dados climáticos do Guia Clima (2025), provenientes da estação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), localizada no município de Ivinhema, MS, a aproximadamente 30 km da área experimental.

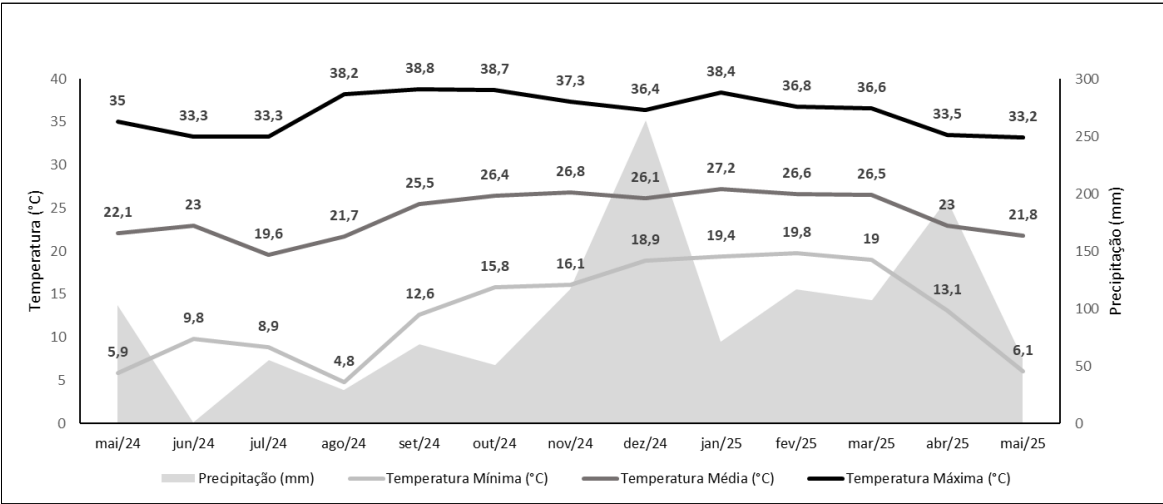


Figura 2. Registros meteorológicos da região de estudo durante o período experimental (maio/2024 a maio/2025). Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Guia Clima.

2.2. Delineamento experimental

O solo da área foi revolvido com arado de disco acoplado em um trator, duas semanas antes do início do experimento, com o objetivo de manejar as espécies vegetais competidoras e fornecer a palha para cobertura do solo. No momento da instalação, foram traçadas sete linhas de plantio com o auxílio de um tombador de terra sobre o solo exposto, a fim de facilitar a escavação manual das estruturas de meia-lua com enxadas.

Foram plantadas mudas de seis espécies florestais nativas: aroeira (*Astronium urundeuva* (M.Allemao) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A.DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) (Tabela 1). As mudas foram previamente cultivadas no viveiro do PNMGD.

Tabela 1. Características ecológicas das espécies utilizadas no experimento. Síndrome de dispersão (SD): Ane = anemocórica (pelo vento); Zoo = zoocórica (pela fauna). Classe sucessional (CS): Pio = pioneira; SeI = secundária inicial; SeT = secundária tardia. Fenologia foliar (FF): Per = perene; Dec = decídua; Sem = semidecídua.

Espécie	Nome popular	Família	SD	CS	FF	Ocorrência
<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	aroeira, aroeira-preta, uriunduba	Anacardiaceae	Ane	SeT	Dec	Desde formações abertas e secas até florestas úmidas e densas.
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril, timbaúva	Fabaceae	Zoo	Pio, SeI	Dec	Florestas primárias úmidas (menos frequente) e capoeiras (mais frequente).
<i>Genipa americana</i> L.	genipapo	Rubiaceae	Zoo	SeI	Sem	Formações florestais em áreas úmidas.
<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	jaracatiá	Caricaceae	Zoo	Pio, SeI	Dec	Matas primárias densas, clareiras e bordas de mata, preferencialmente em solos férteis.
<i>Sapindus saponaria</i> L.	saboneteira	Sapindaceae	Zoo	SeI	Per, Sem	Várzeas e florestas latifoliadas semidecíduas.
<i>Triplaris americana</i> L.	pau-formiga, formigueiro	Polygonaceae	Ane	SeI	Per	Matas de galeria em solos muito úmidos ou alagados.

Fonte: Almeida; Viani (2020) e Lorenzi (2002).

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), composto por nove tratamentos: T1 – meia-lua; T2 – coroamento; T3 – meia-lua + cobertura do solo com palha; T4 – coroamento + cobertura do solo com palha; T5 – meia-lua + cobertura do solo com mamona; T6 – coroamento + cobertura do solo com mamona; T7 – meia-lua + cobertura do solo com palha e mamona; T8 – coroamento + cobertura do solo com palha e mamona; T9 – tratamento controle. Cada tratamento incluiu cinco repetições (mudas) por espécie, o que resultou em um total de 270 indivíduos.

Os coroamentos apresentavam 2 m de diâmetro, enquanto as meias-luas mediam 2 m × 1 m, com aproximadamente 0,5 m de profundidade. O solo escavado foi utilizado para formar uma borda ao longo do arco da meia-lua. As mudas foram plantadas com espaçamento de 0,5 m entre os tratamentos (Figura 3).

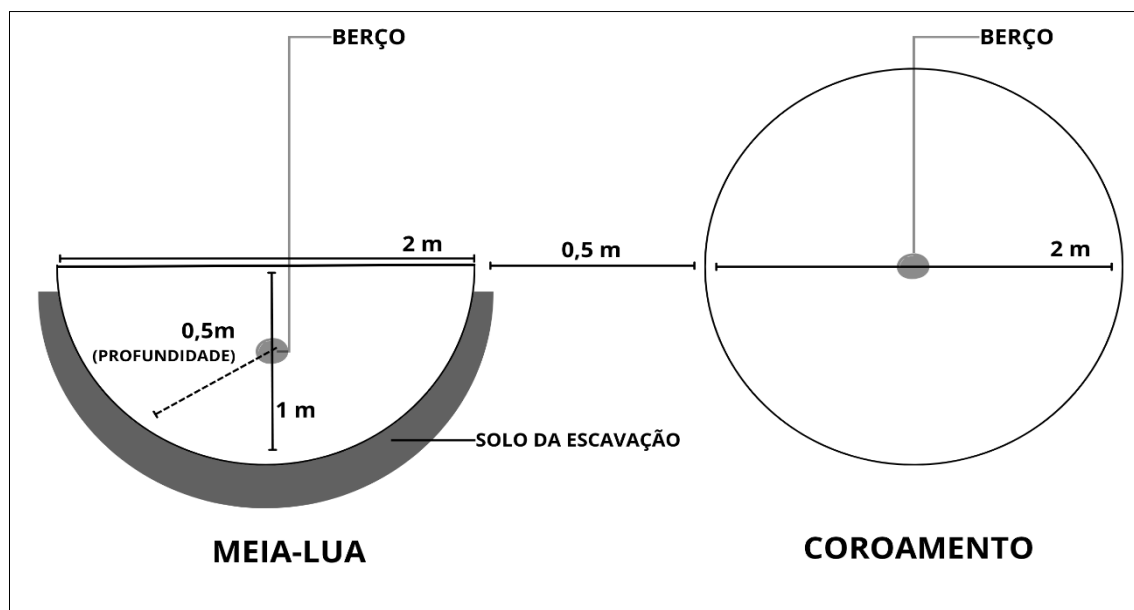


Figura 3. Dimensões da meia-lua e coroamento utilizadas no experimento.

Foi utilizada palha de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) como cobertura vegetal morta, proveniente do revolvimento do solo da área experimental, aplicada em camada de aproximadamente 30 cm de espessura e distribuída sobre uma área circular de cerca de 2 m de diâmetro ao redor da planta. Na cobertura com mamona (*Ricinus communis* L.), utilizou-se a parte aérea triturada da planta. Nos tratamentos com cobertura exclusiva de mamona (T5 e T6), foi aplicado um carrinho de mão por berço ($\sim 0,028 \text{ m}^3$). Já nos tratamentos que combinaram mamona e palha (T7 e T8), utilizou-se metade desse volume ($\sim 0,014 \text{ m}^3$) com mamona. O controle (T9) consistiu no plantio das mudas sem meia-lua, sem cobertura vegetal e sem manejo de espécies competidoras após a implantação, ao longo do período experimental.

Durante o período experimental, com exceção do controle (T9), realizaram-se roçadas periódicas para o controle da vegetação espontânea. Além disso, após seis meses de experimento, foi realizada a manutenção da meia-lua e da cobertura, com nova escavação e reaplicação de mamona e palha.

2.3. Análise das plantas

Os indivíduos foram avaliados ao longo de um ano quanto à sobrevivência e crescimento. A sobrevivência foi registrada trimestralmente (aos 0, 90, 180, 270 e 360 dias), por meio do registro de mortalidade das mudas. O crescimento também foi avaliado a cada três

meses, por meio da medição da altura, do nível do solo até a gema apical, com auxílio de uma trena (cm), e do diâmetro do caule, a 1 cm do solo, com paquímetro digital (mm). A estaca de suporte das mudas foi marcada com tinta na altura da superfície do solo para evitar erros nas medições provocados pelo acúmulo de sedimentos e eventual soterramento, especialmente nos tratamentos com meia-lua.

Para considerar as diferenças iniciais de tamanho entre os indivíduos na avaliação do crescimento, foi determinada a taxa de crescimento relativo (TCR). Além disso, em função da seleção de espécies pertencentes a diferentes grupos funcionais e estágios sucessionais, comparações diretas de crescimento baseadas em dados brutos podem não refletir adequadamente as diferenças intrínsecas entre as espécies. Nesse contexto, a TCR padroniza o crescimento em função do tamanho inicial das plantas e permite comparações mais adequadas entre espécies com distintos traços funcionais (Zhang *et al.*, 2022).

Assim, com base nos dados de crescimento das plantas obtidos na primeira (0 dias) e na última avaliação (360 dias), calculou-se a TCR em altura (cm) e diâmetro (mm), conforme Benincasa (2003), a partir das seguintes equações:

$$(a) TCR = (\ln A_i - \ln A_f) / \Delta t$$

$$(b) TCR = (\ln D_i - \ln D_f) / \Delta t$$

Em que:

TCR = taxa de crescimento relativo ($\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ou $\text{mm mm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$);

A_i = altura inicial do indivíduo (cm);

A_f = altura final do indivíduo (cm);

D_i = diâmetro inicial do indivíduo (mm);

D_f = diâmetro final do indivíduo (mm);

$\ln$ = logaritmo natural;

Δt = intervalo de tempo (360 dias).

2.4. Análise do solo

A temperatura e a umidade do solo foram avaliadas mensalmente ao longo de um ano. A temperatura do solo foi registrada com termômetro infravermelho na superfície do solo, em cinco pontos amostrais por tratamento, distribuídos nas linhas 1, 2, 4, 6 e 7. As medições foram realizadas às 7h, 12h e 17h, conforme a metodologia descrita por Lorenzetti *et al.* (2023), no

fuso horário local (GMT-4).

Para a análise da umidade do solo, foram coletadas amostras deformadas na profundidade de 0 a 20 cm, com o auxílio de um trado tipo sonda, entre 15h e 17h, evitando-se coletas com menos de 24 horas após a ocorrência de chuvas. Três pontos amostrais foram selecionados por tratamento, localizados nas linhas 1, 4 e 7. Em cada ponto, retiraram-se três amostras simples ao redor da muda, que foram homogeneizadas em balde para formar uma amostra composta por ponto. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos impermeáveis e transportadas em caixas térmicas até o laboratório.

A determinação da umidade gravimétrica foi realizada no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), de acordo com Claessen (1997).

Com isso, para cada amostra composta coletada em campo, foram retiradas três réplicas de aproximadamente 10 g. As amostras úmidas (solo + recipiente de massa conhecida) foram pesadas em balança semianalítica de precisão e, em seguida, colocadas em estufa a 105 °C, onde permaneceram até atingirem massa constante, o que geralmente ocorreu após 24 horas. Após a secagem, as amostras foram transferidas para um dessecador para resfriamento e, posteriormente, novamente pesadas (solo seco + recipiente).

Com base nas massas úmida e seca, calculou-se o teor de umidade gravimétrica (UG), a partir da seguinte equação:

$$UG = \frac{a - b}{b}$$

Em que:

UG = teor de umidade gravimétrica ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$);

a = massa da amostra úmida (g);

b = massa da amostra seca após secagem a 105 °C até peso constante (g).

2.5. Análise estatística

A análise estatística foi realizada no software R (R Core Team, 2023), versão 4.3.1 (script no Apêndice A). Para a avaliação da sobrevivência das mudas, foram construídas curvas de sobrevivência do tipo Kaplan–Meier, e o teste de log-rank foi aplicado para verificar diferenças significativas entre as curvas. As análises foram conduzidas com o auxílio dos

pacotes “survival” (Therneau, 2024) e “survminer” (Kassambara *et al.*, 2021).

Os dados da TCR foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro–Wilk) e de homogeneidade de variâncias (Levene), pressupostos necessários para a aplicação da análise de variância (ANOVA), com o auxílio dos pacotes “rstatix” (Kassambara, 2019) e “car” (Fox; Weisberg, 2019), respectivamente. Como os dados atenderam a esses pressupostos, foi realizada a ANOVA, adotando-se um nível de significância de 5%. Nos casos em que foram identificadas diferenças estatisticamente significativas, aplicou-se o teste post-hoc de Tukey para a comparação múltipla das médias, com o auxílio do pacote “agricolae” (De Mendiburu, 2023).

Em relação à temperatura e à umidade gravimétrica, devido à ausência de normalidade mesmo após diferentes transformações dos dados, optou-se pela utilização do teste não paramétrico de Kruskal–Wallis. Nos casos que foram observadas diferenças significativas, aplicou-se o teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p < 0,05$), por meio do pacote “rstatix” (Kassambara, 2019).

3. RESULTADOS

3.1. Análise das plantas

Análise da Sobrevivência

Foi observada diferença estatisticamente significativa ($p < 0,0001$) entre as curvas de probabilidade estimada de sobrevivência das espécies (Figura 4a). Ao final do experimento, *G. americana* ($n = 41$), *E. contortisiliquum* ($n = 41$) e *A. urundeuva* ($n = 40$) apresentaram elevadas probabilidades de sobrevivência, de 91,1% ($\pm 4,24\%$), 91,1% ($\pm 4,24\%$) e 88,9% ($\pm 4,68\%$), respectivamente (valores expressos como média $\pm$ erro padrão; mais detalhes no Apêndice B). Em contrapartida, *J. spinosa* apresentou a menor probabilidade de sobrevivência ao longo do período avaliado, com redução progressiva das taxas, que atingiram 35,6% ($\pm 7,14\%$) aos 360 dias ($n = 16$).

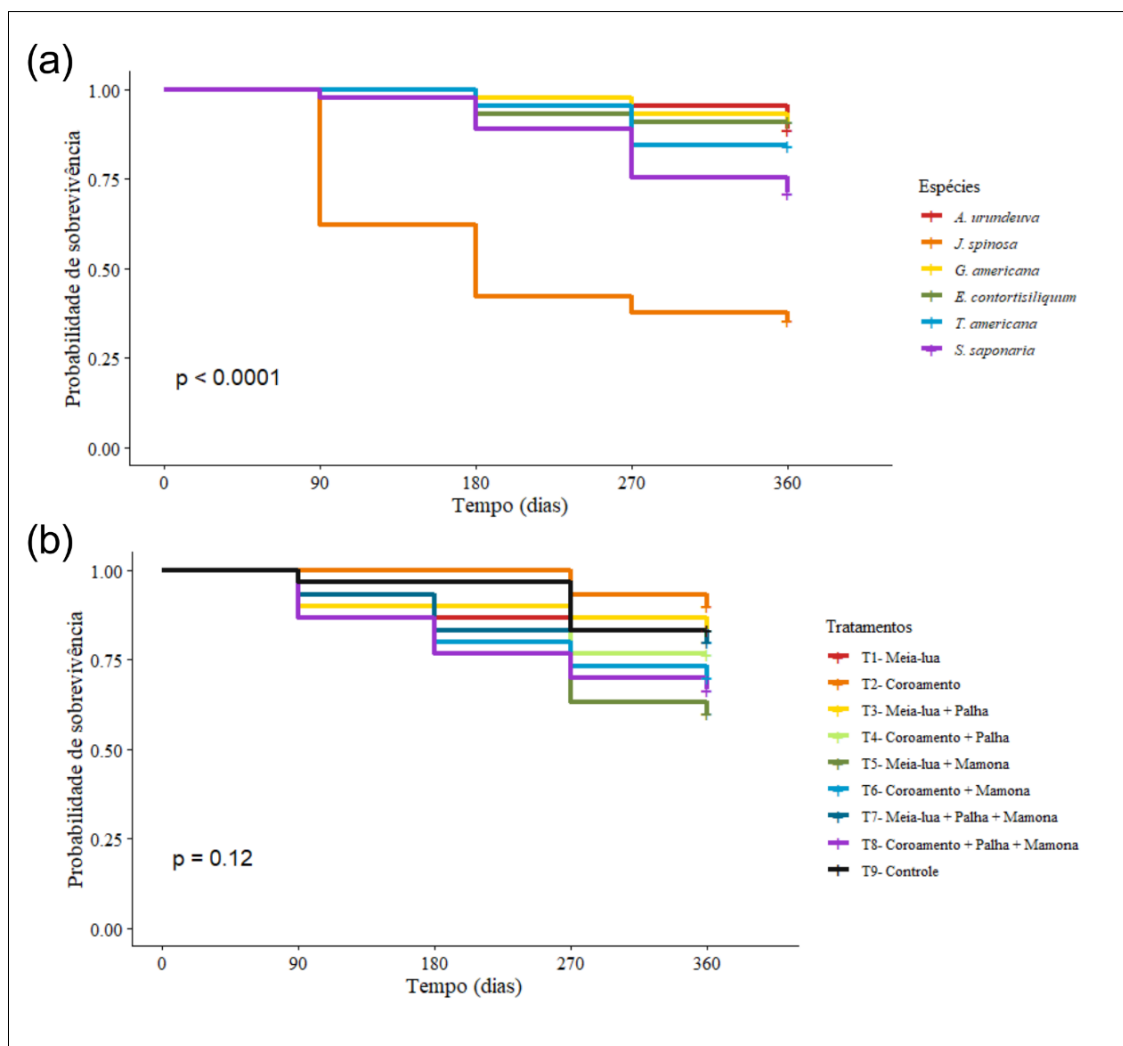


Figura 4. Curvas de probabilidade de sobrevivência obtidas pelo modelo de Kaplan–Meier, para as espécies (a) e para os diferentes tratamentos (b) ao longo do tempo (0, 90, 180, 270 e 360 dias), com diferença significativa entre as espécies ($p < 0,0001$).

Quando avaliada a probabilidade estimada de sobrevivência entre os tratamentos, o coroamento (T2) apresentou a maior taxa aos 360 dias após o plantio, com 90,0% ($\pm 5,48\%$) ($n = 27$). Em seguida, destacaram-se a meia-lua (T1), a meia-lua com palha (T3) e o controle (T9), todos com 83,3% ($\pm 6,80\%$) ($n = 25$) (Figura 4b). Em contraste, a meia-lua com mamona (T5) e o coroamento com palha e mamona (T8) apresentaram as menores probabilidades de sobrevivência, com 60,0% ($\pm 8,94\%$) ($n = 18$) e 66,7% ($\pm 8,61\%$) ($n = 20$), respectivamente. A comparação entre as curvas não indicou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($p = 0,12$).

A Figura 5 apresenta fotografias registradas nos primeiros meses do experimento para cada tratamento (T1 a T9), nas quais é possível observar a retenção de água da chuva na meia-lua (Figura 5a) e o crescimento de vegetação espontânea no tratamento controle (Figura 5i).

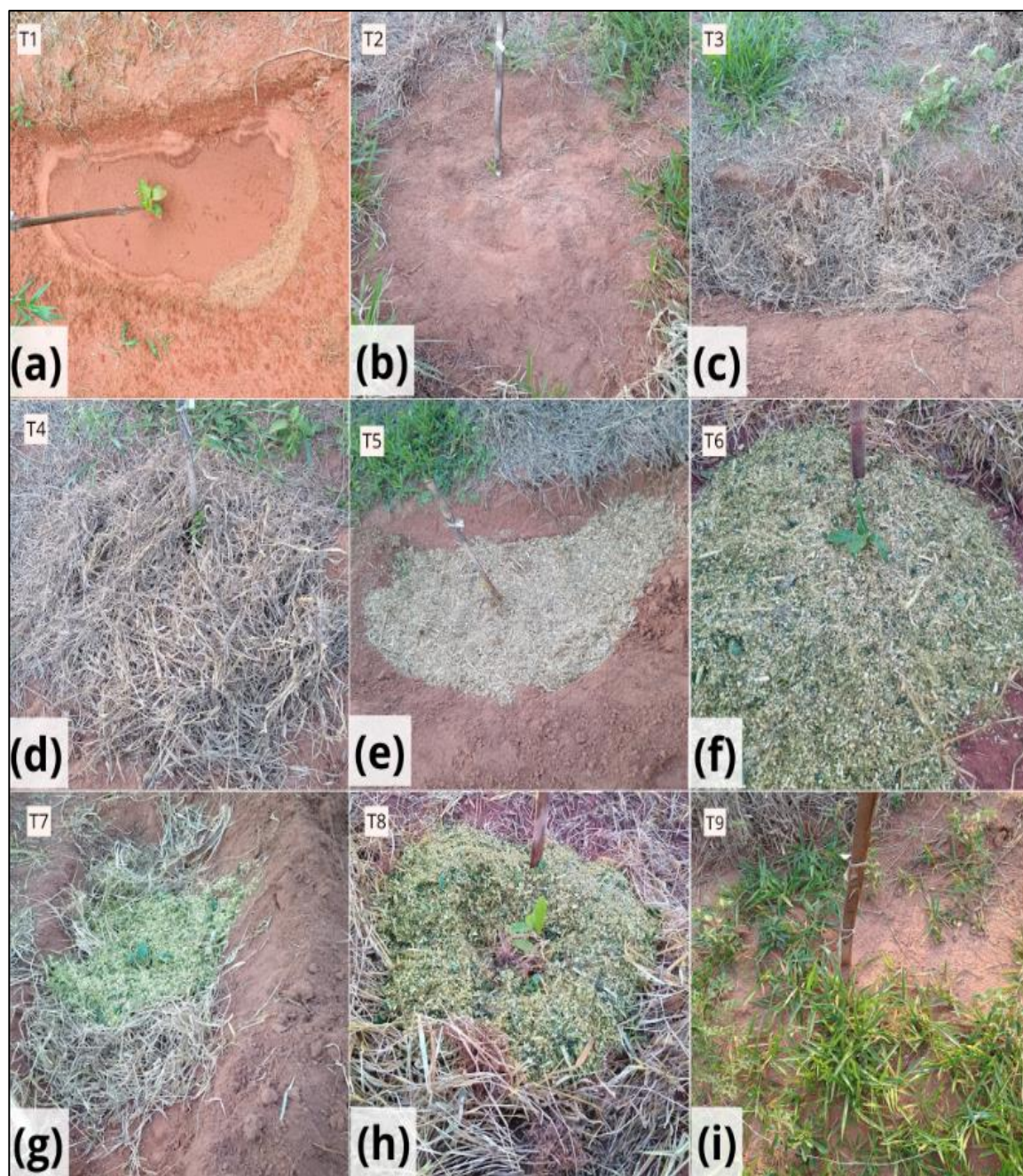


Figura 5. Registros fotográficos dos primeiros meses do experimento para cada tratamento: a) T1 – meia-lua; b) T2 – coroamento; c) T3 – meia-lua + palha; d) T4 – coroamento + palha; e) T5 – meia-lua + mamona; f) T6 – coroamento + mamona; g) T7 – meia-lua + palha + mamona; h) T8 – coroamento + palha + mamona; i) T9 – controle.

Análise do Crescimento

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para a taxa de crescimento relativo (TCR) em altura ($F = 7,06$; $p < 0,05$) e em diâmetro ($F = 4,66$; $p < 0,05$). O tratamento controle (T9) apresentou as menores taxas de crescimento, com médias de

0,0011 cm cm⁻¹ dia⁻¹ para altura e 0,0018 mm mm⁻¹ dia⁻¹ para diâmetro. Em contrapartida, os tratamentos meia-lua com cobertura de mamona (T5) e meia-lua com cobertura de palha e mamona (T7) apresentaram as maiores taxas de crescimento em altura, com médias de 0,0041 e 0,0038 cm cm⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Para o diâmetro, o tratamento T5 também apresentou o maior valor, com média de 0,0044 mm mm⁻¹ dia⁻¹ (Figura 6).

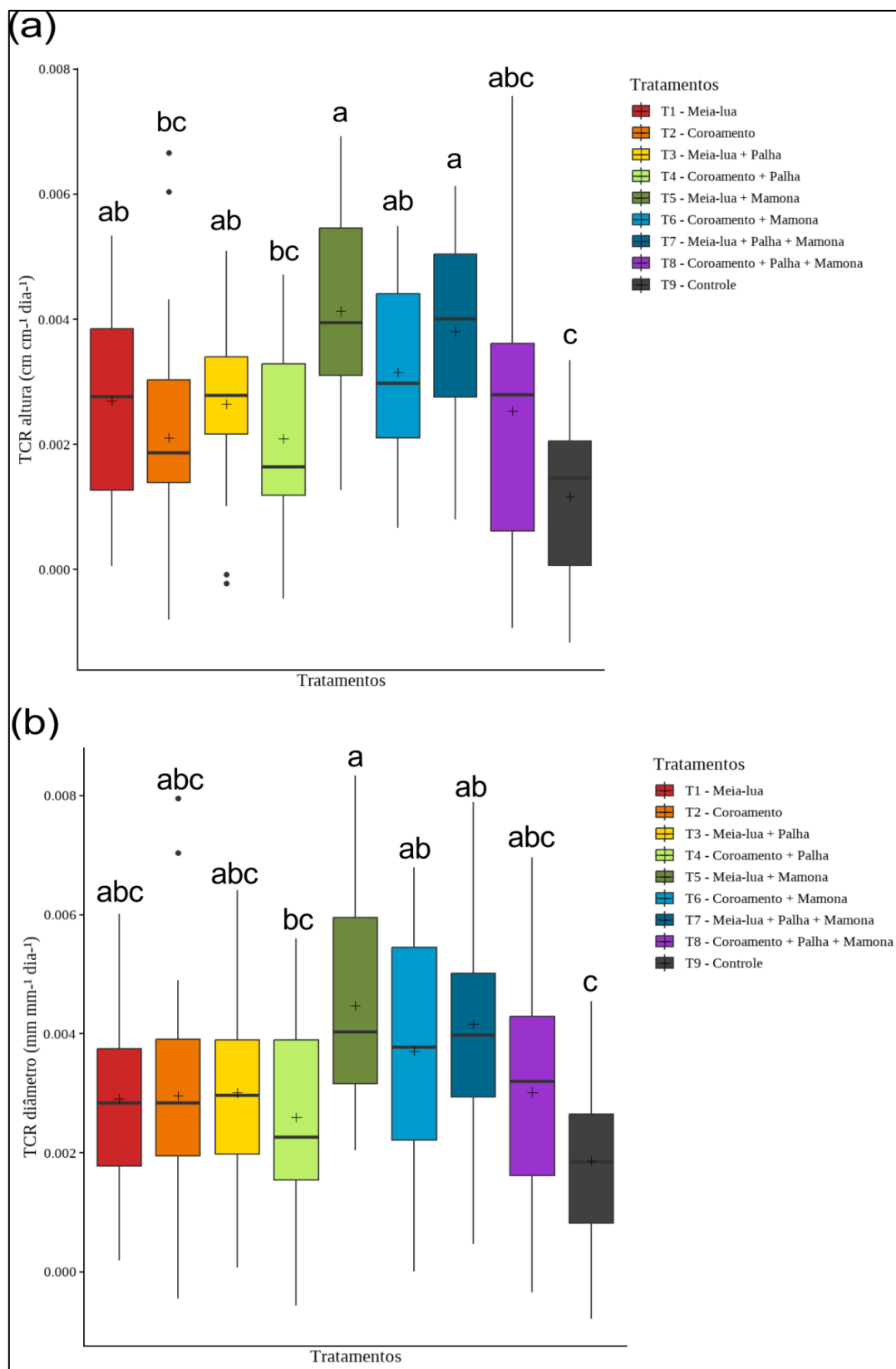


Figura 6. Taxa de crescimento relativo (TCR) em altura (cm cm⁻¹ dia⁻¹) (a) e em diâmetro (mm mm⁻¹ dia⁻¹) (b) de plantas de diferentes espécies submetidas aos tratamentos T1 a T9 em condições de campo. Em cada gráfico, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Os limites das caixas correspondem ao intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana (Q2), o símbolo “+” representa a média, as hastes indicam o valor mais extremo dentro de $1,5 \times$ o intervalo interquartil (IQR), e os pontos representam valores discrepantes (*outliers*).

Observou-se uma tendência de maior incremento em altura e diâmetro após 180 dias para a maioria dos tratamentos (Figuras 7a e 7b), o que coincidiu com o período de maior pluviosidade na região (Figura 2). Além disso, *E. contortisiliquum* e *J. spinosa* se destacaram por apresentarem os maiores crescimentos em altura e diâmetro (Figuras 7c e 7d).

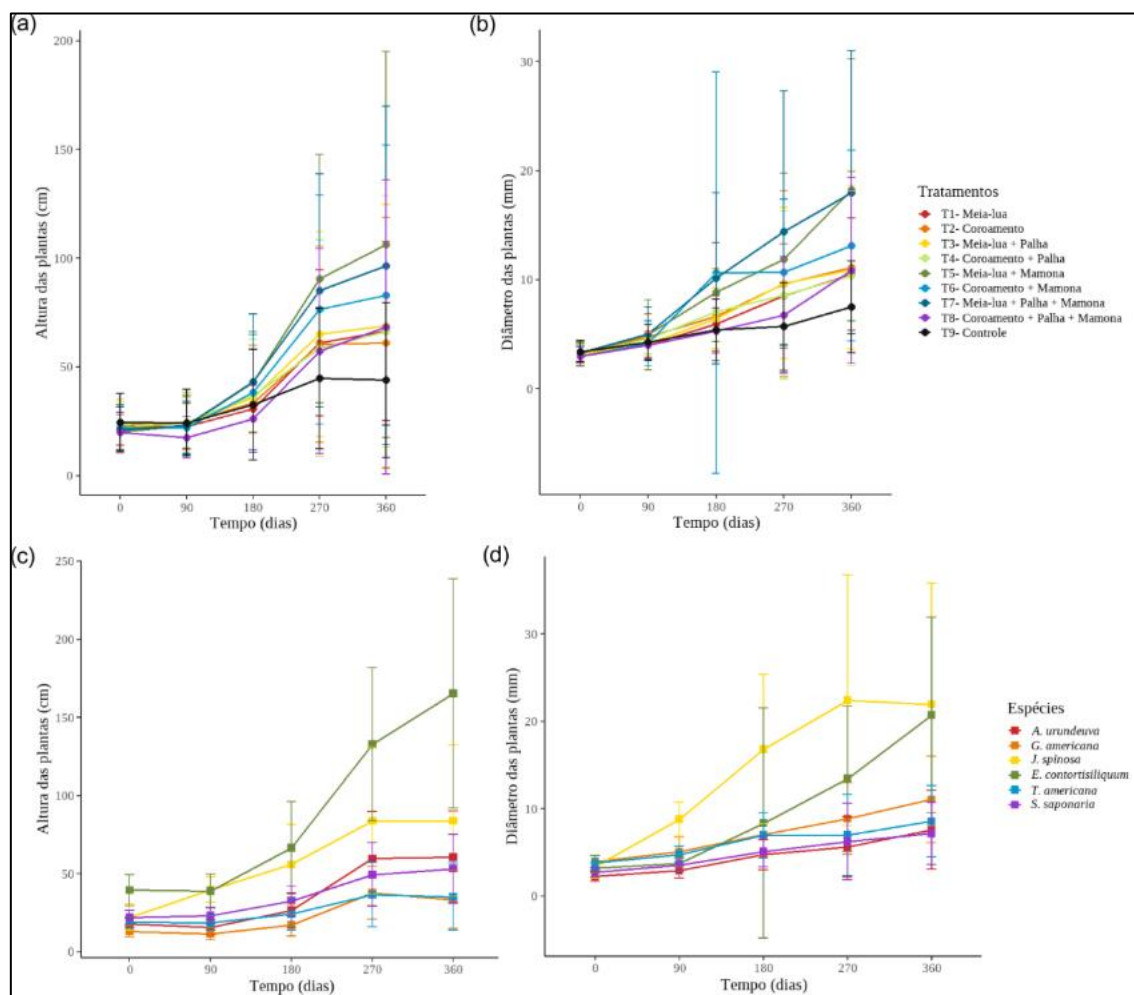


Figura 7. Altura (cm) e diâmetro (mm) médios das plantas por tratamento (a, b) e por espécie (c, d) ao longo das avaliações realizadas entre maio/24 e abril/25. Os círculos indicam os tratamentos, os quadrados as espécies e as barras representam o desvio-padrão.

3.2. Análise do solo

Temperatura

A Tabela 2 apresenta o resumo do teste de Kruskal–Wallis para a temperatura do solo registrada às 07 h, 12 h e 17 h. Foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos apenas às 12 h ($p < 0,05$). Nesse horário, os tratamentos controle (T9),

coroamento (T2) e meia-lua (T1) apresentaram as maiores médias de temperatura e diferiram dos demais tratamentos (Tabela 3), especialmente no período entre junho e setembro (Figura 8b). Destaca-se uma diferença superior a 10 °C entre os tratamentos T5 e T9 na temperatura média registrada às 12 h (Tabela 3).

Tabela 2. Resumo do teste de Kruskal–Wallis da temperatura do solo registrada às 07h, 12h e 17h, em diferentes tratamentos aplicados em condições de campo.

Variável	Qui-quadrado (χ^2)	Graus de liberdade (GL)	Valor-p
Temperatura às 7h	4,5318	8	0,8062
Temperatura às 12h	185	8	$< 2,2 \times 10^{-16}$
Temperatura às 17h	5,7534	8	0,6748

Tabela 3. Médias da temperatura do solo registradas às 07h, 12h e 17h, sob diferentes tratamentos em condições de campo. T1: Meia-lua; T2: Coroamento; T3: Meia-lua + Palha; T4: Coroamento + Palha; T5: Meia-lua + Mamona; T6: Coroamento + Mamona; T7: Meia-lua + Palha + Mamona; T8: Coroamento + Palha + Mamona; T9: Controle.

Horário	Médias de temperatura (°C)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
07h	21,71 ^a	22,46 ^a	22,50 ^a	22,49 ^a	22,98 ^a	22,90 ^a	23,32 ^a	23,09 ^a	22,10 ^a
12h	36,95 ^a	37,36 ^a	28,13 ^b	29,25 ^b	27,33 ^b	27,66 ^b	28,13 ^b	28,30 ^b	37,75 ^a
17h	24,91 ^a	24,36 ^a	24,14 ^a	24,70 ^a	24,68 ^a	25,06 ^a	24,94 ^a	24,96 ^a	24,53 ^a

Médias seguidas por letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p > 0,05$).

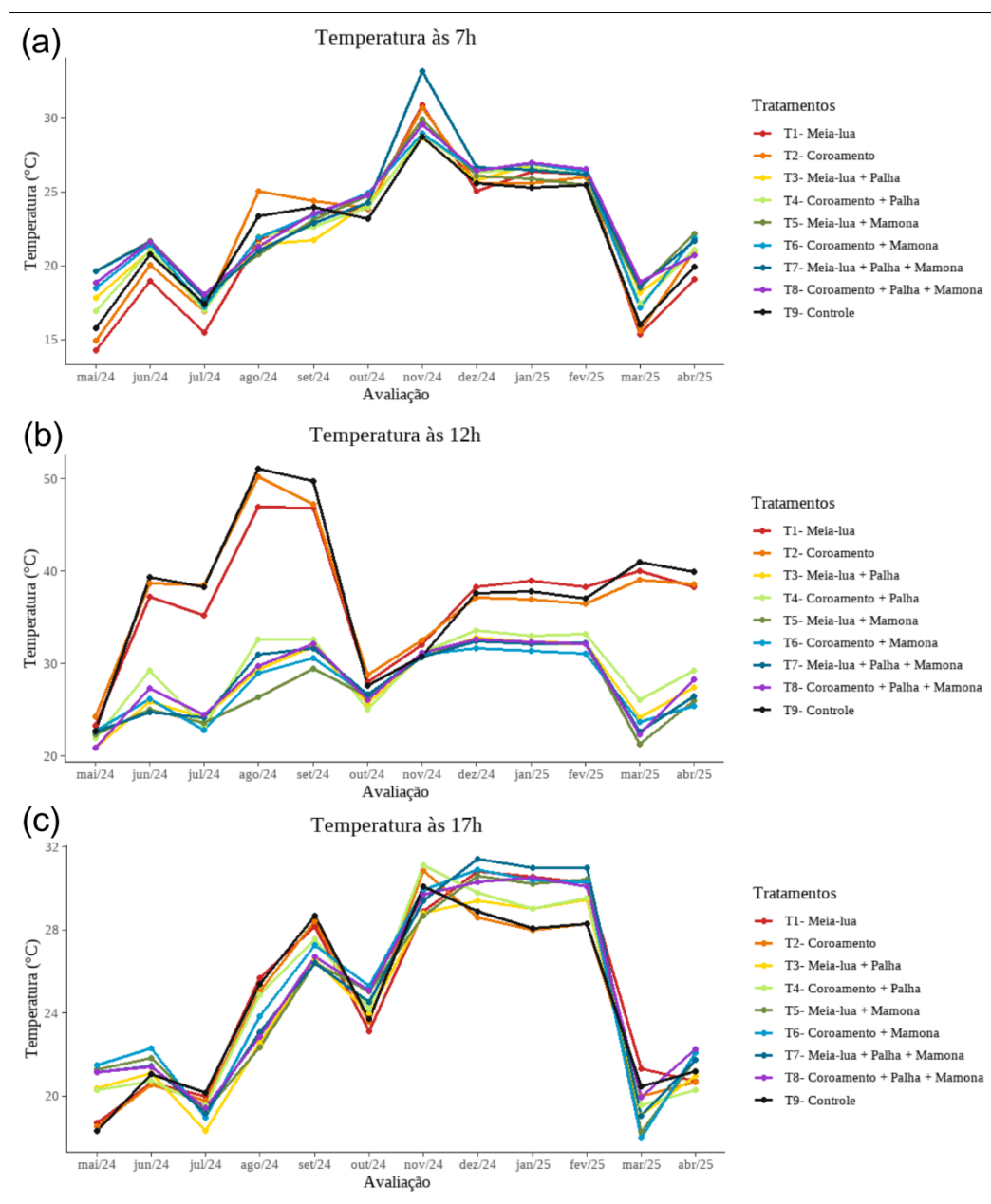


Figura 8. Médias de temperatura do solo por tratamento ao longo das avaliações, registradas às 7 horas (a), às 12 horas (b) e às 17 horas (c), entre maio/24 e abril/25.

Às 7 h, apesar da ausência de significância estatística, os tratamentos T1, T2 e T9 apresentaram tendência inversa à observada às 12 h, registrando as menores temperaturas do solo nesse horário, o que sugere maior perda de calor durante a noite. Ao considerar a variação térmica em um intervalo de 5 horas (das 7 h às 12 h), a amplitude térmica média no T9 foi superior a 15 °C, enquanto no T5 foi de apenas 4,35 °C (Tabela 3). Nesse contexto, os tratamentos sem cobertura vegetal morta apresentaram maior oscilação da temperatura do solo em comparação aos tratamentos com cobertura, o que indica menor estabilidade térmica ao longo do período experimental.

Nos meses em que foram registradas temperaturas mais elevadas no solo exposto às 12 h (junho-setembro/2024), observou-se maior amplitude nas diferenças térmicas entre os tratamentos com e sem cobertura vegetal morta (Figura 8b). Ao relacionar esses resultados aos dados meteorológicos, verificou-se que essa acentuada variação coincidiu com os períodos de menor precipitação (Figura 2).

Umidade Gravimétrica

A Tabela 4 apresenta o resumo do teste de Kruskal–Wallis para a umidade gravimétrica do solo ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), evidenciando diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 4. Resumo do teste de Kruskal-Wallis da umidade gravimétrica do solo ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), em diferentes tratamentos aplicados em condições de campo.

Variável	Qui-quadrado (χ^2)	Graus de liberdade (GL)	Valor-p
Umidade Gravimétrica	201,62	8	$< 2,2 \times 10^{-16}$

Os tratamentos que combinaram a técnica da meia-lua com algum tipo de cobertura, como meia-lua + palha + mamona (T7), meia-lua + palha (T3) e meia-lua + mamona (T5), apresentaram maior umidade gravimétrica (Figura 9). Em contraste, o controle (T9) e o coroamento (T2) registraram os menores valores, especialmente entre os meses de fevereiro e abril (Figura 10). Ressalta-se que o T7 apresentou teor médio total de umidade (8,1%), cerca de 1,7 vezes superior ao do T9 e 1,6 vezes superior ao do T2 (4,58% e 4,97%, respectivamente).

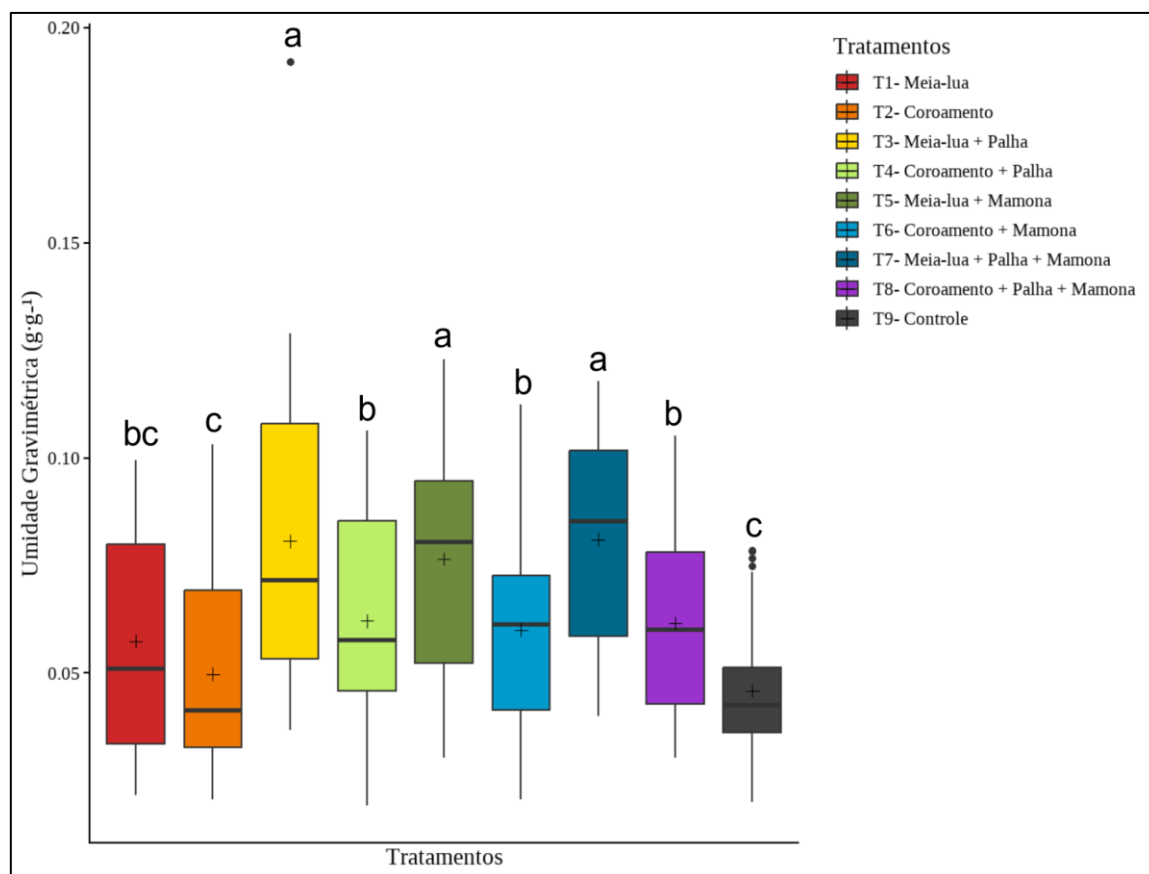


Figura 9. Diferenças na umidade gravimétrica do solo (g·g⁻¹) submetido a diferentes tratamentos em condições de campo. No gráfico, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p > 0,05$). Os limites das caixas correspondem ao intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana (Q2), o símbolo “+” representa a média, as hastes indicam o valor mais extremo dentro de $1,5 \times$ o intervalo interquartil (IQR), e os pontos representam valores discrepantes (*outliers*).

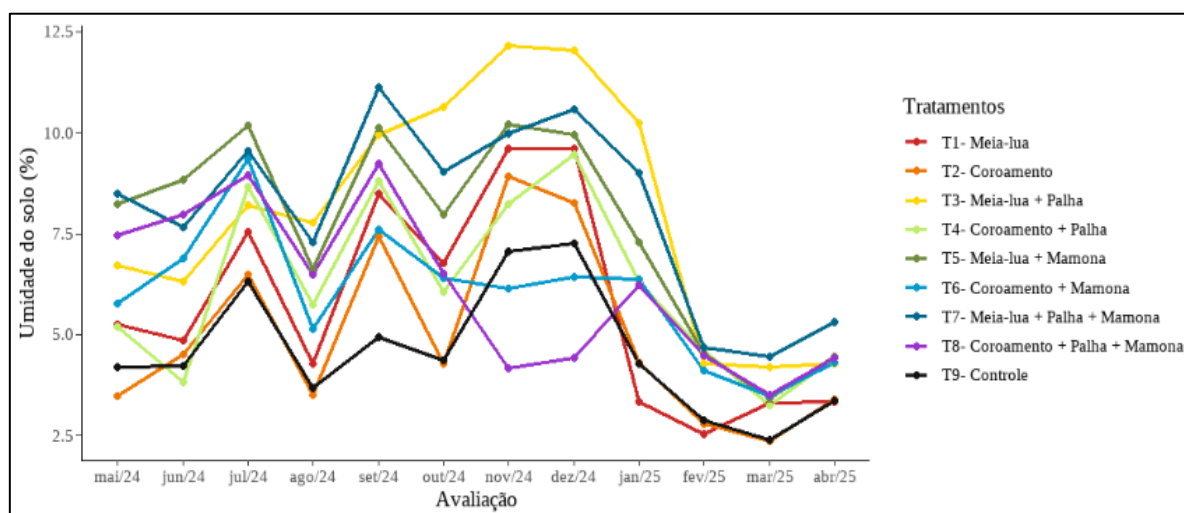


Figura 10. Médias da umidade gravimétrica do solo (%) por tratamento ao longo das avaliações, registradas entre maio de 2024 e abril de 2025.

4. DISCUSSÕES

4.1. Análise das plantas

Análise da Sobrevivência

A alta taxa de sobrevivência de *G. americana*, *E. contortisiliquum* e *A. urundeuva* indica o potencial dessas espécies para a restauração de áreas degradadas. Em contraste, a menor sobrevivência observada na combinação da meia-lua com cobertura de mamona sugere que as estratégias de manejo adotadas estiveram associadas a efeitos negativos sobre o desenvolvimento das mudas.

Embora alguns estudos tenham adotado menores profundidades para a construção de meias-luas, como entre 0,10 e 0,15 m (Bayen; Lykke; Thiombiano, 2016) e 0,25 m (Soumana *et al.*, 2016), no presente estudo, a profundidade de aproximadamente 0,5 m foi adotada como uma adaptação às condições edáficas locais, especialmente em função do soterramento observado na área. Durante a escavação das meias-luas, a camada superficial do solo foi removida e empregada na formação do arco, atuando como estrutura de retenção de água.

Considerando que a compactação do solo tende a aumentar com a profundidade (Sartor *et al.*, 2020), é possível que, mesmo com o revolvimento no berço de plantio, a zona de acúmulo de água tenha apresentado maior resistência mecânica. Essa condição pode ter influenciado o desenvolvimento do sistema radicular das mudas. Nesse sentido, solos com maior grau de compactação tendem a restringir o crescimento radicular devido ao impedimento físico à penetração das raízes (Da Silva, 2021).

Por outro lado, a fertilidade do solo tende a reduzir com a profundidade, uma vez que a maior concentração de matéria orgânica nos solos brasileiros se concentra nas camadas mais superficiais (Silva, 2023). Nessa camada, a matéria orgânica constitui a principal fonte de recursos para a biodiversidade edáfica, a qual apresenta forte associação positiva com a fertilidade do solo e a produtividade vegetal, especialmente nos primeiros 10 cm do solo (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2017). Assim, a remoção da camada superficial do solo para construção da barreira mecânica pode também ter contribuído para uma menor disponibilidade de nutrientes na zona de enraizamento.

No caso da cobertura com mamona, possíveis fatores incluem a própria composição química da planta, bem como condições observadas ao longo do experimento, como a fermentação da cobertura durante a decomposição da matéria orgânica e a presença de

microrganismos decompositores.

Embora a torta de mamona, um subproduto da extração do óleo, seja amplamente utilizada na agricultura como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio (Narimatsu *et al.*, 2024), a planta também contém compostos com potencial alelopático, capazes de inibir o crescimento de outras espécies vegetais (Parreno *et al.*, 2020). No presente estudo, a cobertura foi realizada com a parte aérea da mamona recém-coletada, sem passar por processos de secagem ou compostagem prévia, o que pode ter favorecido a liberação dessas substâncias alelopáticas, contribuindo para os efeitos negativos observados na sobrevivência das mudas.

Durante a decomposição, compostos gerados por metabolismo anaeróbico, como os ácidos fórmico, acético, propiônico e butírico, conferem à cobertura características fermentativas que podem prejudicar as mudas, principalmente por inibição da respiração (Camargo *et al.*, 2001). Nos primeiros dias após a aplicação da cobertura de mamona, observou-se fermentação, seguido por proliferação de fungos, o que gerou um apodrecimento da base do caule das plantas, especialmente na região em contato direto com a cobertura.

De acordo com Prem *et al.* (2020), a umidade presente na cobertura morta pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos. Por esse motivo, recomenda-se evitar o contato direto da cobertura com os caules das plantas, com uma distância mínima de 10 cm. No entanto, essa recomendação pode exigir maior esforço de manejo em áreas com declive, onde são mais frequentes os movimentos de massa que deslocam a cobertura, como observado no presente estudo.

Na área de estudo, formigas cortadeiras (gênero *Atta*) são predominantes e coletam folhas verdes, que são transportadas para os ninhos e utilizadas no cultivo de fungos simbióticos, os quais constituem a principal fonte de alimento da colônia. Estudos laboratoriais demonstram que folhas de *R. communis* aumentam a mortalidade de formigas do gênero *Atta* e reduzem o volume do jardim fúngico, podendo levar à sua extinção em poucas semanas (Hebling *et al.*, 1996). Dessa forma, o uso de material vegetal fresco foi adotado com base na estratégia de controle biológico da herbivoria discutida no Capítulo II.

Análise do Crescimento

Embora o tratamento com meia-lua e cobertura de mamona tenha apresentado a menor probabilidade de sobrevivência, destacou-se por proporcionar as maiores taxas de crescimento de altura e diâmetro. Esses resultados indicam que, embora a cobertura com mamona possa ter

gerado condições estressantes iniciais, como a fermentação, resultando na morte de indivíduos mais sensíveis, a posterior decomposição da biomassa pode ter favorecido a liberação de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio (Narimatsu *et al.*, 2024), estimulando o crescimento das mudas sobreviventes.

O crescimento mais acentuado das mudas durante o período chuvoso na região indica que a maior disponibilidade hídrica no solo provavelmente contribuiu para o melhor desempenho das plantas. Isso ocorre porque a água exerce papel central no funcionamento das plantas vasculares, atuando em processos fisiológicos essenciais e participando diretamente da fotólise nos cloroplastos, etapa fundamental da fotossíntese, o que repercute no crescimento vegetal (Bhatla; Kathpalia, 2023).

Além disso, o rápido crescimento observado em *E. contortisiliquum* pode ser atribuído ao seu caráter pioneiro e ao crescimento inicial acelerado, com capacidade de atingir mais de 4 m em dois anos, característica que a torna promissora para a restauração de áreas degradadas (Araújo; Paiva Sobrinho, 2011). Já *J. spinosa*, embora classificada como espécie tardia em parte da literatura, pode ser considerada uma espécie pioneira antrópica (Moraes *et al.*, 2006), ou seja, na regeneração artificial pode apresentar desenvolvimento acelerado semelhante ao das pioneiras, conforme o conceito proposto por Kageyama e Gandara (2000).

4.2. Análise do solo

Temperatura

As maiores médias de temperatura do solo ao meio-dia na ausência de cobertura vegetal indicam que a presença de cobertura, independentemente do material orgânico empregado, contribui para a redução da temperatura nos horários mais quentes. Isso ocorre porque coberturas orgânicas são eficazes no controle térmico e na retenção de umidade, além de favorecerem a atividade biológica do solo, equilibrar o ciclo do nitrogênio, fornecer matéria orgânica e reduzir a erosão (El-Beltagi *et al.*, 2022).

Por outro lado, as maiores temperaturas no período da manhã na presença de cobertura do solo indicam que, além de atenuar as altas temperaturas durante o dia, a cobertura também contribui para a conservação do calor durante a noite, o que pode ser benéfico ao desenvolvimento das mudas em períodos mais frios.

Em relação às oscilações de temperatura, os solos expostos, por serem mais secos,

aquecem e esfriam mais rapidamente, uma vez que as partículas sólidas do solo conduzem o calor de forma mais eficiente do que a água, o que resulta em maiores oscilações térmicas. Esse efeito é mais pronunciado nas camadas mais superficiais do solo, especialmente entre 0–5 cm e 5–10 cm, de modo que a amplitude das oscilações térmicas diminui com o aumento da profundidade do solo (Bulgakov *et al.*, 2022).

Com o passar do tempo, observou-se a decomposição natural do material orgânico, associada ao soterramento gradual da cobertura em decorrência do acúmulo de sedimentos e da movimentação do solo. Além disso, no tratamento controle, foi observado o crescimento espontâneo de espécies competidoras ao redor das mudas que, ao se desenvolverem, proporcionaram sombreamento sobre o solo. Entretanto, no presente estudo, esses efeitos não foram expressivos na avaliação da temperatura do solo.

A eficácia da redução da temperatura proporcionada pela cobertura vegetal nos períodos de maior aquecimento do solo ressalta a importância de seu uso como regulador térmico. Considerando que o aumento da temperatura do solo pode intensificar as emissões de CO₂ para a atmosfera, gás que contribui para alterações climáticas (Yang *et al.*, 2023), o uso de coberturas se configura como uma estratégia relevante de manejo em projetos de restauração nesse contexto.

Além disso, a cobertura do solo mostrou-se mais eficiente na regulação térmica durante períodos de menor disponibilidade hídrica, uma vez que a temperatura do solo é influenciada tanto pela absorção e reflexão da radiação solar, que variam com o teor de umidade do solo (Ribas *et al.*, 2015), quanto pelo elevado calor específico da água. Em solos mais úmidos, o maior calor específico exige maior quantidade de energia para promover variações de temperatura, resultando em menor amplitude térmica (Van Lier, 2020). Esse padrão reforça a importância de considerar a umidade do solo em estudos sobre temperatura, sendo sua dinâmica discutida a seguir.

Umidade Gravimétrica

O maior teor de umidade do solo nos tratamentos que combinaram a técnica da meia-lua com coberturas orgânicas sugere que essa associação é eficaz na conservação da água no solo. A meia-lua atua como um obstáculo mecânico que desacelera e retém o escoamento superficial, o que promove maior infiltração e, conseqüentemente, aumento da umidade armazenada no perfil do solo (Bayen; Lykke; Thiombiano, 2016). Além disso, essa técnica

contribui para a redução da erosão, processo que, quando acelerado, leva ao esgotamento do estoque de carbono orgânico do solo (Lal, 2015).

De forma semelhante, Bayen, Lykke e Thiombiano (2016) observaram maior teor de água no solo sob a técnica de meia-lua em comparação ao plantio convencional. Assim, como a umidade do solo também influencia a fertilidade, pois a água atua como importante meio de transporte para microrganismos e microfauna edáfica (Wang *et al.*, 2023), o uso da técnica de meia-lua pode ser recomendado em relação às técnicas convencionais de plantio.

De maneira complementar, a cobertura orgânica potencializa os efeitos da meia-lua ao exercer função protetora sobre a superfície do solo, pois atenua o impacto direto das gotas de chuva, reduz o escoamento superficial e os processos erosivos. Além disso, atua como barreira física que diminui a perda de água por evaporação, o que também contribui para a manutenção da umidade ao longo do perfil do solo (Souza *et al.*, 2018).

Apesar desses benefícios, as coberturas orgânicas também podem apresentar desvantagens, uma vez que, em geral, podem conter sementes viáveis capazes de germinar e se desenvolver (Prem *et al.*, 2020). De fato, observou-se que, em algumas unidades amostrais com cobertura do solo, tanto *R. communis* quanto *U. decumbens* se estabeleceram, o que demandou manejo, uma vez que se tratam de espécies exóticas invasoras.

No que se refere ao comportamento temporal da umidade do solo, espera-se que ela varie ao longo do ano e siga o regime pluviométrico da região. De fato, observou-se que o período de maior umidade coincidiu com os meses de maior precipitação.

5. CONCLUSÕES

O uso da técnica de meia-lua associada à cobertura vegetal promoveu melhorias nas condições microambientais do solo, com aumento da umidade, redução da temperatura nos horários mais quentes do dia (12 h) e menor amplitude térmica. Esses efeitos resultaram em maior crescimento inicial das mudas, especialmente na combinação com cobertura de mamona. No entanto, essa mesma combinação esteve associada à redução da sobrevivência, indicando que o aumento do crescimento não se traduziu em maior sobrevivência das mudas.

Dessa forma, embora o manejo em meia-lua associado à cobertura do solo com mamona apresente potencial, sua aplicação, nas condições avaliadas, não se mostrou eficiente devido à baixa sobrevivência das mudas. A cobertura com mamona não é indicada, em função da elevada demanda de manejo e da baixa eficiência observada. Ainda assim, são necessários estudos adicionais para avaliar ajustes no manejo, como a descompactação do solo na área de acúmulo

de água da meia-lua, o aumento do distanciamento da cobertura em relação ao caule e a preparação prévia do material orgânico. Por outro lado, o uso de cobertura com palha é recomendado, por já ocorrer comumente em ambientes degradados, apresentar maior eficiência em relação ao controle e não ter apresentado efeitos negativos adicionais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.; VIANI, R. A. G. **Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica (versão 2 – agosto 2020)**. Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, LASPEFUFSCar. 2020. Disponível em <https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Almeida-e-Viani2020especies-plantadas-na-restauracao-Mata-Atlantica.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2026.

ARAÚJO, A. P.; PAIVA SOBRINHO, S. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, p. 581-588, 2011.

BAYEN, P.; LYKKE, A. M.; MOUSSA, B. M.; BOGNOUNOU, F.; THIOMBIANO, A. Effects of three different planting techniques on soil water content, survival, and growth of senegalia seedlings on semi-arid degraded lands in Burkina Faso. **Tropical Conservation Science**, v. 13, p. 1940082920972081, 2020.

BAYEN, P.; LYKKE, A. M.; THIOMBIANO, A. Success of three soil restoration techniques on seedling survival and growth of three plant species in the Sahel of Burkina Faso (West Africa). **Journal of forestry research**, v. 27, n. 2, p. 313-320, 2016.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: Noções Básicas**. Funep, Jaboticabal, 2003, 41p.

BHATLA, S. C.; KATHPALIA, R. Concepts of plant water relations. In: BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapore: Springer Nature, 2023.

BHATTACHARYYA, R.; BHATIA, A.; GHOSH, B. N.; SANTRA, P.; MANDAL, D.; KUMAR, G.; SINGH, R. J.; MADHU, M.; GHOSH, A.; MANDAL, A. K.; PAUL, R.; DATTA, A.; SHARMA, P. C.; MANDAL, U. K.; JHA, P.; ANIL, K. S.; LALITHA, M.;

KUMAR, M.; PANWAR, N. R.; SARKAR, D.; PATRA, A. K.; KUNDU, S.; FULLEN, M. A.; POESEN, J.; DAS, B. S.; REDDY, N. N.; CHAUDHARI, S. K. Soil degradation and mitigation in agricultural lands in the Indian Anthropocene. **European Journal of Soil Science**, v. 74, n. 4, p. e13388, 2023.

BULGAKOV, V.; PASCUZZI, S.; ADAMCHUK, V.; GADZALO, J.; NADYKTO, V.; OLT, J.; NOWAK, J.; KAMINSKIY, V. Dynamics of temperature variation in soil under fallow tillage at different depths. **Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 450, 2022.

CAMARGO, F. A. D. O.; ZONTA, E.; SANTOS, G. D. A.; ROSSIELLO, R. O. P. Aspectos fisiológicos e caracterização da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, v. 31, p. 523-529, 2001.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo 2.ed.** rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 1997. 212p.

CRUZ, C. B. M.; ALMEIDA, P. M.; AMARAL, F.; BARROS, R.; SOUZA, E. M.; VICENS, R. Mapping the Atlantic Forest: GEOBIA contributions in a multiscale approach. In: **GEOBIA 2018-From pixels to ecosystems and global sustainability**. 2018.

DA SILVA, P. L. F. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente**, v. 3, n. 2, 2021.

DA SILVA, R. F.; GALLO, A. S.; GUIMARÃES, N. F. Avaliação de cultivares de cebola em sistema de produção de base agroecológica no município de Glória de Dourados, MS. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e525111235007-e525111235007, 2022.

DE LIMA, P. A.; TEIXEIRA GUERRA, A. J. Degradação do Solo em Municípios do Sul do Estado de Mato Grosso do Sul Decorrente da Implantação da Colônia Agrícola Nacional de Dourados-CAND. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, 2019.

DE MENDIBURU, F. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-7, 2023.

DELGADO-BAQUERIZO, M.; POWELL, J. R.; HAMONTS, K.; REITH, F.; MELE, P.; BROWN, M. V.; DENNIS, P. G.; FERRARI, B. C.; FITZGERALD, A.; YOUNG, A.; SINGH, B. K.; BISSETT, A. Circular linkages between soil biodiversity, fertility and plant productivity

are limited to topsoil at the continental scale. **New Phytologist**, v. 215, n. 3, p. 1186-1196, 2017.

EL-BELTAGI, H. S.; BASIT, A.; MOHAMED, H. I.; ALI, I.; ULLAH, S.; KAMEL, E. A. R.; SHALABY, T. A.; RAMADAN, K. M. A.; ALKHATEEB, A. A.; GHAZZAWY, H. S. Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture: A review. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1881, 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **Solos do Brasil**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2026.

FOX, J.; WEISBERG, S. An R companion to applied regression. Sage. **Thousand Oaks**, 2019.

GUIA CLIMA. Embrapa Agropecuária Oeste. Disponível em: <https://clima.cpao.embrapa.br/?lc=site/boletins/boletins>. Acesso em: 05 de junho de 2025.

HEBLING, M. J. A.; MAROTI, P. S.; BUENO, O. C.; DA SILVA, O. A.; PAGNOCCA, F. C. Toxic effects of leaves of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) to laboratory nests of *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 86, n. 3, p. 253-256, 1996.

HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; RÓS, A. B.; NARITA, N. Cauliflower cultivars associated with *Urochloa decumbens* straw mulch in integrated weed management. **Planta daninha**, v. 37, p. e019212770, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Malhas territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 21 de janeiro de 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA– IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

KAGAMBÈGA, F. W.; THIOMBIANO, A.; TRAORÉ, S.; ZOUGMORÉ, R.; BOUSSIM, J. I. Survival and growth responses of *Jatropha curcas* L. to three restoration techniques on degraded soils in Burkina Faso. **Annals of Forest Research**, v. 54, n. 2, p. 171-184, 2011.

KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. **Matas ciliares:**

conservação e recuperação, 2000.

KASSAMBARA, A. rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests. R package version 0.7.2., 2019

KASSAMBARA, A.; KOSINSKI, M.; BIECEK, P.; FABIAN, S. survminer: Drawing Survival Curves using 'ggplot2'. R package version 0.4. 9, 2021.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.

LORENZETTI, J. G.; RODRIGUES, M. A.; SOARES, A. P.; VIEIRA, C. R. Densidade de plantas e os efeitos nas características agrônômicas, temperatura e umidade do solo em consórcio milho-braquiária. **Nativa**, v. 11, n. 1, p. 101-107, 2023.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do brasil. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384p.

MAIA, S. D. O.; ANDRADE, J. R. D.; REIS, L. S.; ANDRADE, L. R. D.; GONÇALVES, A. C. D. M. Soil management and mulching for weed control in cowpea. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 453-460, 2018.

MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. The Atlantic Forest. **History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-Diverse Forest**; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, p. 3-24, 2021.

MORAES, L. F. D.; ASSUMPÇÃO, J. M.; LUCHIARI, C.; PEREIRA, T. S. Plantio de espécies arbóreas nativas para a restauração ecológica na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57, n. 3, p. 477-489, 2006.

NARIMATSU, K. C. P.; SANTOS, D. C. D. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEMOS, S. V.; RECCO, C. R. S. B.: JÚNIOR, H. P. Efeito das adubações orgânicas na produção de alface americana. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 10, p. 4976-4985, 2024.

OWUOR, S. O.; BUTTERBACH-BAHL, K.; GUZHA, A. C.; RUFINO, M. C.; PELSTER, D. E.; DÍAZ-PINÉS, E.; BREUER, L. Groundwater recharge rates and surface runoff response to land use and land cover changes in semi-arid environments. **Ecological Processes**, v. 5, n. 1, p.

16, 2016.

PARRENO, J.; CEMPRON, B.; BUCOG, N.; PEPITO, M.; ZAMORA, C. Allelopathic potential of Castor plant (*Ricinus communis* L.) aqueous extracts on germination on selected crop species. **International Research Journal of Science and Technology, Davao City**, v. 1, n. 2, p. 120-125, 2020.

PREM, M.; RANJAN, P.; SETH, N.; PATLE, G. T. Mulching techniques to conserve the soil water and advance the crop production—A Review. **Curr. World Environ**, v. 15, p. 10-30, 2020.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.

RIBAS, G. G.; STRECK, N. A.; SILVA, S. D. D.; ROCHA, T. S. D.; LANGNER, J. A. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 817-828, 2015.

SARTOR, L. R.; ROMÃO, J.; SILVA, V. P.; CASSOL, L. C.; BRUN, E. J. Resistência mecânica do solo à penetração em sistema silvipastoril após onze anos de implantação. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 231-241, 2020.

SCHIMETKA, L. R.; RUGGIERO, P. G. C.; CARVALHO, R. L.; BEHAGEL, J.; METZGER, J. P.; NASCIMENTO, N.; CHAVES, R. B.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; KRAINOVIC, P. M. Costs and benefits of restoration are still poorly quantified: evidence from a systematic literature review on the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, v. 32, n. 5, p. e14161, 2024.

SILVA, C. A. Matéria orgânica e a fertilidade do solo. In: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L.; ANDRADE, C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 788 p.

SOUMANA, I.; ABASSE, T.; WEBER, J. C.; LARWANOU, M.; ALI, M.; SAADOU, M. Restoring Plant Succession on Degraded Crusted Soils in Niger: a Case Study Using Half Moons, Tree Seedlings and Grass Seed. **International Journal of Recent Research and Applied Studies**, 2016.

SOUZA, T. E. M. D. S.; GONCALVES, E. P.; PEREIRA, D. S.; SANTOS, L. M. D.; MACHADO, L. S.; SOUZA, E. R. D. Reducing erosion in sorghum crops with mulching. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 730-736, 2018.

THERNEAU, T. A Package for Survival Analysis in R. R package version 3.5-8, 2024.

VAN LIER, Q. J. **Física do solo: baseada em processos**. Piracicaba: Edição do autor, 2020. 413 p.

WANG, J.; ZHEN, J.; HU, W.; CHEN, S.; LIZAGA, I.; ZERAATPISHEH, M.; YANG, X. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 11, n. 3, p. 429-454, 2023.

YANG, R. M.; HUANG, L. M.; ZHANG, X.; ZHU, C. M.; XU, L. Mapping the distribution, trends, and drivers of soil organic carbon in China from 1982 to 2019. **Geoderma**, v. 429, p. 116232, 2023.

ZHANG, C.; NIU, D.; ZHANG, L.; LI, X.; FU, H. Plant functional traits shape growth rate for xerophytic shrubs. **Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 205-214, 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Este apêndice apresenta o script desenvolvido em linguagem R, utilizado para a realização das análises estatísticas de sobrevivência e crescimento das plantas, bem como das variáveis ambientais de temperatura e umidade do solo.

```
# Autora: Gabrielli Duarte dos Santos
# Data:10 nov. 2025

# =====
# ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA
# =====

# Instalação dos pacotes necessários
install.packages("readxl")      # Carregar dados Excel
install.packages("ggplot2")     # Visualização gráfica
install.packages("survival")    # Análise de sobrevivência
install.packages("survminer")   # Gráfico de sobrevivência

# Carregar pacotes
library(readxl)
library(ggplot2)
library(survival)
library(survminer)

# Leitura dos dados
dados_sobr <- read_excel("dados.xlsx", sheet = 1)
head(dados_sobr)

# ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA ENTRE ESPÉCIES

# Ajustando os nomes científicos das espécies
dados_sobr$esp <- factor(
  dados_sobr$esp,
  levels = c("ARO", "JAR", "GEN", "ORE", "PAU", "SAB"),
  labels = c("A. urundeuva", "J. spinosa", "G. americana",
             "E. contortisiliquum", "T. americana", "S. saponaria")
)

# Ajuste do modelo de sobrevivência (Kaplan-Meier)
esp <- survival::survfit(Surv(ava, sobrev) ~ esp, data = dados_sobr)
summary(esp)

# Teste de Log-rank
survival::survdif(Surv(ava, sobrev) ~ esp, data = dados_sobr)

# GRÁFICO DE SOBREVIVÊNCIA POR ESPÉCIES

SO1 <- survminer::ggsurvplot(
  esp,
  legend = "right",
```

```

    legend.title = "Espécies",
    size = 1.5,
    pval = TRUE,
    conf.int = FALSE,
    legend.labs = c("A. urundeuva", "J. spinosa", "G. americana",
                    "E. contortisiliquum", "T. americana", "S. saponaria"),
    palette = c("firebrick3", "darkorange2", "gold1",
                "darkolivegreen4", "deepskyblue3", "darkorchid3"),
    xlim = c(0, 400)
  )

# Personalização do gráfico
S01$plot <- S01$plot +
  scale_x_continuous(breaks = c(0, 90, 180, 270, 360)) +
  labs(x = "Tempo (dias)", y = "Probabilidade de sobrevivência") +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    legend.text = element_text(size = 10, face = "italic"),
    legend.title = element_text(size = 12)
  )

S01

# ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA ENTRE TRATAMENTOS

trat <- survival::survfit(Surv(ava, sobrev) ~ trat, data = dados_sobr)
summary(trat)

# Teste de Log-rank
survival::survdif(Surv(ava, sobrev) ~ trat, data = dados_sobr)

# GRÁFICO DE SOBREVIVÊNCIA POR TRATAMENTOS

S02 <- survminer::ggsurvplot(
  trat,
  legend = "right",
  size = 1.5,
  pval = TRUE,
  conf.int = FALSE,
  legend.labs = c("T1 - Meia-lua", "T2 - Coroamento",
                  "T3 - Meia-lua + Palha", "T4 - Coroamento + Palha",
                  "T5 - Meia-lua + Mamona", "T6 - Coroamento + Mamona",
                  "T7 - Meia-lua + Palha + Mamona",
                  "T8 - Coroamento + Palha + Mamona",
                  "T9 - Controle"),
  palette = c("firebrick3", "darkorange2", "gold1",
              "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3",
              "deepskyblue4", "darkorchid3", "gray7"),
  xlim = c(0, 400)
)

# Personalização do gráfico
S02$plot <- S02$plot +
  scale_x_continuous(breaks = c(0, 90, 180, 270, 360)) +
  labs(x = "Tempo (dias)", y = "Probabilidade de sobrevivência") +
  guides(color = guide_legend(title = "Tratamentos")) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    legend.text = element_text(size = 10),
    legend.title = element_text(size = 12)
  )

```

S02

```
# Observação: imagens dos gráficos foram salvas com dimensões de 900 x 400 px.
```

```
# CITAÇÕES
```

```
citation()          # Citar a versão do R utilizada
citation("survival") # Citar o pacote survival
citation("survminer") # Citar o pacote survminer
```

```
# =====
```

```
# TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR)
```

```
# =====
```

```
# Instalação dos pacotes necessários
```

```
install.packages("dplyr")      # Manipulação e transformação de dados
install.packages("agricolae")  # Teste de Tukey
install.packages("rstatix")    # Testes de normalidade
install.packages("car")        # Teste de homogeneidade de variâncias
install.packages("dlookr")     # Avaliação da distribuição dos dados
```

```
# Carregar pacotes
```

```
library(dplyr)
library(agricolae)
library(rstatix)
library(car)
library(dlookr)
library(ggplot2)
```

```
# Leitura de dados
```

```
dados_TCR <- read_excel("dados.xlsx", sheet = 2)
head(dados_TCR)
```

```
# 1. VERIFICAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS
```

```
# 1.1. Normalidade dos resíduos por tratamento
```

```
dados_TCR %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(TCR_alt) # Altura
dados_TCR %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(TCR_dia) # Diâmetro
```

```
# 1.2. Homogeneidade das variâncias (teste de Levene)
```

```
leveneTest(TCR_alt ~ trat, data = dados_TCR, center = mean) # Altura
leveneTest(TCR_dia ~ trat, data = dados_TCR, center = mean)
# Diâmetro
```

```
# 1.3. Distribuição dos dados (avaliação gráfica)
```

```
alt <- data.frame(dados_TCR$trat, dados_TCR$TCR_alt)
plot_normality(alt)
```

```
dia <- data.frame(dados_TCR$trat, dados_TCR$TCR_dia)
plot_normality(dia)
```

```
# 2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)
```

```
# 2.1. TCR - Altura
```

```
aov.TCR_alt <- aov(TCR_alt ~ trat, data = dados_TCR)
summary(aov.TCR_alt)
```

```
# 2.2. TCR - Diâmetro
```

```

aov.TCR_dia <- aov(TCR_dia ~ trat, data = dados_TCR)
summary(aov.TCR_dia)

# 3. ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

# 3.1. TCR - Altura
media.TCR_alt <- mean(dados_TCR$TCR_alt)
DP.TCR_alt <- sd(dados_TCR$TCR_alt)
CV.TCR_alt <- (DP.TCR_alt / media.TCR_alt) * 100

cat("Média TCR (altura):", round(media.TCR_alt, 4), "\n")
cat("Desvio padrão TCR (altura):", round(DP.TCR_alt, 4), "\n")
cat("Coeficiente de variação (%):", round(CV.TCR_alt, 2), "\n")

# 3.2. TCR - Diâmetro
media.TCR_dia <- mean(dados_TCR$TCR_dia)
DP.TCR_dia <- sd(dados_TCR$TCR_dia)
CV.TCR_dia <- (DP.TCR_dia / media.TCR_dia) * 100

cat("Média TCR (diâmetro):", round(media.TCR_dia, 4), "\n")
cat("Desvio padrão TCR (diâmetro):", round(DP.TCR_dia, 4), "\n")
cat("Coeficiente de variação (%):", round(CV.TCR_dia, 2), "\n")

# 3.3. Médias por tratamento
Med.TCR_alt <- tapply(dados_TCR$TCR_alt, dados_TCR$trat, mean)
Med.TCR_dia <- tapply(dados_TCR$TCR_dia, dados_TCR$trat, mean)
print(Med.TCR_alt)
print(Med.TCR_dia)

# 4. TESTE DE TUKEY

# 4.1. Tukey para TCR - Altura
tukey_alt <- HSD.test(aov.TCR_alt, "trat", group = TRUE)
print(tukey_alt)

# 4.2. Tukey para TCR - Diâmetro
tukey_dia <- HSD.test(aov.TCR_dia, "trat", group = TRUE)
print(tukey_dia)

# 5. GRÁFICOS

# 5.1. Nomes completos dos tratamentos
nomes_trat <- c(
  "T1 - Meia-lua",
  "T2 - Coroamento",
  "T3 - Meia-lua + Palha",
  "T4 - Coroamento + Palha",
  "T5 - Meia-lua + Mamona",
  "T6 - Coroamento + Mamona",
  "T7 - Meia-lua + Palha + Mamona",
  "T8 - Coroamento + Palha + Mamona",
  "T9 - Controle"
)

# 5.2. Paleta de cores
cores <- c(
  "firebrick3", "darkorange2", "gold1",
  "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3",
  "deepskyblue4", "darkorchid3", "gray25"
)

```

```

# 5.3. Gráfico - TCR altura
Graf.TCR_alt <- ggplot(dados_TCR, aes(x = trat, y = TCR_alt, fill =
trat)) +
  geom_boxplot() +
  stat_summary(
    fun = mean,
    geom = "point",
    shape = 3,
    size = 3,
    color = "black"
  ) +
  scale_fill_manual(values = cores, labels = nomes_trat, name =
"Tratamentos") +
  labs(x = "Tratamentos", y = "TCR altura (cm cm-1 dia-1)") +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    axis.text.x = element_blank(),
    axis.ticks.x = element_blank(),
    legend.position = "right",
    legend.justification = c(0,1),
    legend.key.size = unit(0.9, "cm"),
    plot.margin = margin(10, 50, 10, 10)
  )

Graf.TCR_alt
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1400 x 1000 px.

# 5.4. Gráfico - TCR diâmetro
Graf.TCR_dia <- ggplot(dados_TCR, aes(x = trat, y = TCR_dia, fill =
trat)) + geom_boxplot() +
  stat_summary(
    fun = mean,
    geom = "point",
    shape = 3,
    size = 3,
    color = "black"
  ) +
  scale_fill_manual(
    values = cores,
    labels = nomes_trat,
    name = "Tratamentos"
  ) +
  labs(x = "Tratamentos", y = "TCR diâmetro (mm mm-1 dia-1)") +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    axis.text.x = element_blank(),
    axis.ticks.x = element_blank(),
    legend.position = "right",
    legend.justification = c(0,1),
    legend.key.size = unit(0.9, "cm"),
    plot.margin = margin(10, 50, 10, 10)
  )

Graf.TCR_dia
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1400 x 1000 px.

# 6. CITAÇÕES DOS PACOTES

citation("agricolae")

```

```

citation("rstatix")
citation("car")

# =====
# CRESCIMENTO EM RELAÇÃO AO TEMPO
# =====

# Leitura dos dados
dados_cresc <- read_excel("dados.xlsx", sheet = 3)
View(dados_cresc)

# Transformação das variáveis
dados_cresc$ID <- as.factor(dados_cresc$ID)
dados_cresc$trat <- as.factor(dados_cresc$trat)
dados_cresc$esp <- as.factor(dados_cresc$esp)
dados_cresc$ava <- as.factor(dados_cresc$ava)
dados_cresc$alt <- as.numeric(dados_cresc$alt)
dados_cresc$dia <- as.numeric(dados_cresc$dia)
str(dados_cresc)

# Nomes completos dos tratamentos
nomes_trat <- c(
  "T1 - Meia-lua",
  "T2 - Coroamento",
  "T3 - Meia-lua + Palha",
  "T4 - Coroamento + Palha",
  "T5 - Meia-lua + Mamona",
  "T6 - Coroamento + Mamona",
  "T7 - Meia-lua + Palha + Mamona",
  "T8 - Coroamento + Palha + Mamona",
  "T9 - Controle"
)

dados_cresc$trat <- factor(
  dados_cresc$trat,
  levels = paste0("T", 1:9),
  labels = nomes_trat
)

# 1) TRATAMENTOS EM RELAÇÃO AO TEMPO

# Paleta de cores para os gráficos
cores <- c(
  "firebrick3", "darkorange2", "gold1",
  "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3",
  "deepskyblue4", "darkorchid3", "gray7"
)

# 1.1) Altura
dados_alt <- dados_cresc %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(
    media_alt = mean(alt, na.rm = TRUE),
    sd_alt = sd(alt, na.rm = TRUE),
    .groups = "drop"
  )

dias <- c("0", "90", "180", "270", "360")

cresc_alt <- ggplot(dados_alt, aes(x = ava, y = media_alt, color = trat,
group = trat)) +

```

```

geom_line(size = 1) +
geom_point(size = 4) +
geom_errorbar(aes(ymin = media_alt - sd_alt, ymax = media_alt +
sd_alt),
              width = 0.12, size = 0.9) +
scale_color_manual(values = cores) +
scale_x_discrete(labels = dias) +
labs(x = "Tempo (dias)", y = "Altura das plantas (cm)", color =
"Tratamentos") +
theme_classic(base_size = 20) +
theme(
  text = element_text(family = "serif"),
  legend.position = "right",
  axis.line = element_line(color = "black"),
  panel.grid = element_blank()
)

cresc_alt
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1000 x 800 px.

# 1.2) Diâmetro
dados_dia <- dados_cresc %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(
    media_dia = mean(dia, na.rm = TRUE),
    sd_dia = sd(dia, na.rm = TRUE),
    .groups = "drop"
  )

cresc_dia <- ggplot(dados_dia, aes(x = ava, y = media_dia, color = trat,
group = trat)) +
  geom_line(size = 1) +
  geom_point(size = 4) +
  geom_errorbar(aes(ymin = media_dia - sd_dia, ymax = media_dia +
sd_dia),
              width = 0.12, size = 0.9) +
scale_color_manual(values = cores) +
scale_x_discrete(labels = dias) +
labs(x = "Tempo (dias)", y = "Diâmetro das plantas (mm)", color =
"Tratamentos") +
theme_classic(base_size = 20) +
theme(
  text = element_text(family = "serif"),
  legend.position = "right",
  axis.line = element_line(color = "black"),
  panel.grid = element_blank()
)

cresc_dia
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1000 x 800 px.

# 2) ESPÉCIES EM RELAÇÃO AO TEMPO

# Paleta de cores para os gráficos
cores <- c(
  "firebrick3", "darkorange2", "gold1",
  "darkolivegreen4", "deepskyblue3", "darkorchid3"
)

# 2.1) Altura
dados_alt <- dados_cresc %>%

```

```

group_by(esp, ava) %>%
summarise(
  media_alt = mean(alt, na.rm = TRUE),
  sd_alt = sd(alt, na.rm = TRUE),
  .groups = "drop"
)

nomes_esp <- c(
  ARO = expression(italic("A. urundeuva")),
  JAR = expression(italic("J. spinosa")),
  GEN = expression(italic("G. americana")),
  ORE = expression(italic("E. contortisiliquum")),
  PAU = expression(italic("T. americana")),
  SAB = expression(italic("S. saponaria"))
)

cresc_alt <- ggplot(dados_alt, aes(x = ava, y = media_alt, color = esp,
group = esp)) +
  geom_line(size = 1) +
  geom_point(size = 4, shape = 15) +
  geom_errorbar(aes(ymin = media_alt - sd_alt, ymax = media_alt +
sd_alt),
                width = 0.12, size = 0.9) +
  scale_color_manual(values = cores, labels = nomes_esp) +
  scale_x_discrete(labels = dias) +
  labs(x = "Tempo (dias)", y = "Altura das plantas (cm)", color =
"Espécies") +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )

cresc_alt
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1000 x 800 px.

# 2.2) Diâmetro
dados_dia <- dados_cresc %>%
  group_by(esp, ava) %>%
  summarise(
    media_dia = mean(dia, na.rm = TRUE),
    sd_dia = sd(dia, na.rm = TRUE),
    .groups = "drop"
  )

cresc_dia <- ggplot(dados_dia, aes(x = ava, y = media_dia, color = esp,
group = esp)) +
  geom_line(size = 1) +
  geom_point(size = 4, shape = 15) +
  geom_errorbar(aes(ymin = media_dia - sd_dia, ymax = media_dia +
sd_dia),
                width = 0.12, size = 0.9) +
  scale_color_manual(values = cores, labels = nomes_esp) +
  scale_x_discrete(labels = dias) +
  labs(x = "Tempo (dias)", y = "Diâmetro das plantas (mm)", color =
"Espécies") +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(

```

```

    text = element_text(family = "serif"),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )

cresc_dia
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1000 x 800 px.

# =====
# TEMPERATURA DO SOLO
# =====

# Carregar pacotes
library(readxl)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(rstatix)
library(car)
library(multcompView)

# Leitura dos dados
dados_temp <- read_excel("dados.xlsx", sheet = 4)
head(dados_temp)

# 1. VERIFICAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS

# Normalidade (teste de Shapiro-Wilk por tratamento)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(manha) # manhã
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(meio) # meio-dia
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(tarde) # tarde

# Homogeneidade de variâncias (teste de Levene)
leveneTest(manha ~ trat, data = dados_temp, center = mean)
leveneTest(meio ~ trat, data = dados_temp, center = mean)
leveneTest(tarde ~ trat, data = dados_temp, center = mean)

# Observação da distribuição dos dados (visual)
plot_normality(dados_temp %>% select(trat, manha))
plot_normality(dados_temp %>% select(trat, meio))
plot_normality(dados_temp %>% select(trat, tarde))

# 2. TESTE DE TRANSFORMAÇÕES

# Transformações para "manhã"
dados_temp <- dados_temp %>%
  mutate(
    log_manha = log(manha + 1),
    sqrt_manha = sqrt(manha + 0.5),
    inv_manha = 1 / (manha + 1)
  )

# Normalidade das transformações
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(log_manha)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(sqrt_manha)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(inv_manha)

# Transformações para "meio"
dados_temp <- dados_temp %>%
  mutate(
    log_meio = log(meio + 1),

```

```

    sqrt_meio = sqrt(meio + 0.5),
    inv_meio = 1 / (meio + 1)
  )

dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(log_meio)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(sqrt_meio)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(inv_meio)

# Transformações para "tarde"
dados_temp <- dados_temp %>%
  mutate(
    log_tarde = log(tarde + 1),
    sqrt_tarde = sqrt(tarde + 0.5),
    inv_tarde = 1 / (tarde + 1)
  )

dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(log_tarde)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(sqrt_tarde)
dados_temp %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(inv_tarde)

# 3. TESTE DE KRUSKAL-WALLIS E POST-HOC DE DUNN-BONFERRONI

# Kruskal-Wallis
kruskal.test(manha ~ trat, data = dados_temp)
kruskal.test(meio ~ trat, data = dados_temp)
kruskal.test(tarde ~ trat, data = dados_temp)

# Post-hoc Dunn com correção de Bonferroni
ph <- dunn_test(meio ~ trat, data = dados_temp, p.adjust.method =
"bonferroni")

# Obtenção das letras de agrupamento
meio <- as.data.frame(ph)
meio <- meio %>% arrange(-statistic)
comp.meio <- meio$p.adj <= 0.05
names(comp.meio) <- paste0(meio$group2, "-", meio$group1)
comp.meio <- multcompLetters(comp.meio)
comp.meio

# Médias por tratamento
Media_manha <- tapply(dados_temp$manha, dados_temp$trat, mean)
Media_meio <- tapply(dados_temp$meio, dados_temp$trat, mean)
Media_tarde <- tapply(dados_temp$tarde, dados_temp$trat, mean)

print(Media_manha)
print(Media_meio)
print(Media_tarde)

# 4. GRÁFICOS DE TEMPERATURA AO LONGO DO TEMPO

# Nomes completos dos tratamentos
nomes_trat <- c(
  "T1 - Meia-lua", "T2 - Coroamento",
  "T3 - Meia-lua + Palha", "T4 - Coroamento + Palha",
  "T5 - Meia-lua + Mamona", "T6 - Coroamento + Mamona",
  "T7 - Meia-lua + Palha + Mamona",
  "T8 - Coroamento + Palha + Mamona",
  "T9 - Controle"
)

# Cores dos tratamentos

```

```

cores_trat <- c("firebrick3", "darkorange2", "gold1",
               "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3",
               "deepskyblue4", "darkorchid3", "gray7")

# Eixo x (meses)
meses <- c("mai/24", "jun/24", "jul/24", "ago/24", "set/24", "out/24",
          "nov/24", "dez/24", "jan/25", "fev/25", "mar/25", "abr/25",
          "mai/25")

# Temperatura às 7h

dados_temp_resumo <- dados_temp %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(media_manha = mean(manha, na.rm = TRUE), .groups = "drop")
%>%
  mutate(trat = factor(trat, levels = paste0("T", 1:9), labels =
nomes_trat))

ggplot(dados_temp_resumo, aes(x = ava, y = media_manha, color = trat,
group = trat)) +
  geom_line(size = 1.2) +
  geom_point(size = 2) +
  scale_color_manual(values = cores_trat) +
  scale_x_continuous(breaks = 1:12, labels = meses[1:12]) +
  labs(x = "Avaliação", y = "Temperatura (°C)", color = "Tratamentos",
       title = "Temperatura às 7h") +
  theme_classic(base_size = 14) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    plot.title = element_text(size = 18, hjust = 0.5),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )

# Temperatura às 12h

dados_temp_resumo <- dados_temp %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(media_meio = mean(meio, na.rm = TRUE), .groups = "drop") %>%
  mutate(trat = factor(trat, levels = paste0("T", 1:9), labels =
nomes_trat))

ggplot(dados_temp_resumo, aes(x = ava, y = media_meio, color = trat,
group = trat)) +
  geom_line(size = 1.2) +
  geom_point(size = 2) +
  scale_color_manual(values = cores_trat) +
  scale_x_continuous(breaks = 1:12, labels = meses[1:12]) +
  labs(x = "Avaliação", y = "Temperatura (°C)", color = "Tratamentos",
       title = "Temperatura às 12h") +
  theme_classic(base_size = 14) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    plot.title = element_text(size = 18, hjust = 0.5),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )

```

```

# Temperatura às 17h

dados_temp_resumo <- dados_temp %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(media_tarde = mean(tarde, na.rm = TRUE), .groups = "drop")
%>%
  mutate(trat = factor(trat, levels = paste0("T", 1:9), labels =
nomes_trat))

ggplot(dados_temp_resumo, aes(x = ava, y = media_tarde, color = trat,
group = trat)) +
  geom_line(size = 1.2) +
  geom_point(size = 2) +
  scale_color_manual(values = cores_trat) +
  scale_x_continuous(breaks = 1:12, labels = meses[1:12]) +
  labs(x = "Avaliação", y = "Temperatura (°C)", color = "Tratamentos",
       title = "Temperatura às 17h") +
  theme_classic(base_size = 14) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    plot.title = element_text(size = 18, hjust = 0.5),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )

# Observação: gráficos exportados com dimensões de 1000 x 400 px.

# =====
# UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO
# =====

# Carregamento dos pacotes
library(readxl)
library(dplyr)
library(rstatix)
library(car)
library(ggplot2)
library(multcompView)

# Leitura dos dados
dados_ug <- read_excel("dados.xlsx", sheet = 5)
View(dados_ug)

# VERIFICAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS

# Teste de normalidade (Shapiro-Wilk por tratamento)
dados_ug %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(UG)

# Teste de homogeneidade de variâncias (Levene)
leveneTest(UG ~ trat, data = dados_ug, center = mean)

# Avaliação visual da distribuição
ug <- data.frame(dados_ug$trat, dados_ug$UG)
plot_normality(ug)

# Testes de transformações
dados_ug <- dados_ug %>%
  mutate(

```

```

    log_ug = log(UG + 1),
    sqrt_ug = sqrt(UG + 0.5),
    inv_ug = 1 / (UG + 1)
  )

# Normalidade das transformações
dados_ug %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(log_ug)
dados_ug %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(sqrt_ug)
dados_ug %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(inv_ug)

# KRUSKAL-WALLIS
kruskal.test(UG ~ trat, data = dados_ug)

# POST-HOC DUNN-BONFERRONI
ph <- dunn_test(UG ~ trat, data = dados_ug, p.adjust.method =
"bonferroni")

# Obtenção das letras de agrupamento
ug <- as.data.frame(ph)
ug <- ug %>% arrange(-statistic)
comp.ug <- ug$p.adj <= 0.05
names(comp.ug) <- paste0(ug$group2, "-", ug$group1)
comp.ug <- multcompLetters(comp.ug)
comp.ug

# MÉDIAS POR TRATAMENTO EM PORCENTAGEM
media_ug <- tapply(dados_ug$UG, dados_ug$trat, function(x) mean(x, na.rm
= TRUE) * 100)
print(media_ug)

# Média por avaliação e tratamento em porcentagem
dados_ug_resumo <- dados_ug %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(media_ug = mean(UG, na.rm = TRUE) * 100, .groups = "drop")
dados_ug_resumo

# GRÁFICOS

# Identificação dos tratamentos
nomes_trat <- c(
  "T1- Meia-lua", "T2- Coroamento",
  "T3- Meia-lua + Palha", "T4- Coroamento + Palha",
  "T5- Meia-lua + Mamona", "T6- Coroamento + Mamona",
  "T7- Meia-lua + Palha + Mamona",
  "T8- Coroamento + Palha + Mamona",
  "T9- Controle"
)

# Cores dos tratamentos
cores_trat <- c(
  "firebrick3", "darkorange2", "gold1",
  "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3",
  "deepskyblue4", "darkorchid3", "gray25"
)

# Aplicar nomes e ordem dos tratamentos
dados_ug_resumo$trat <- factor(
  dados_ug_resumo$trat,
  levels = paste0("T", 1:9),
  labels = nomes_trat
)

```

```

# Rótulos do eixo x (meses)
meses <- c("mai/24", "jun/24", "jul/24", "ago/24", "set/24", "out/24",
          "nov/24", "dez/24", "jan/25", "fev/25", "mar/25", "abr/25")

# Gráfico de linha (variação temporal)
ggplot(dados_ug_resumo, aes(x = ava, y = media_ug, color = trat, group =
trat)) +
  geom_line(size = 1.2) +
  geom_point(size = 2) +
  scale_color_manual(values = cores_trat) +
  scale_x_continuous(breaks = 1:12, labels = meses[1:12]) +
  labs(
    x = "Avaliação",
    y = "Umidade do solo (%)",
    color = "Tratamentos"
  ) +
  theme_classic(base_size = 14) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1000 x 400 px.

# Gráfico boxplot
UG <- ggplot(dados_ug, aes(x = trat, y = UG, fill = trat)) +
  geom_boxplot() +
  stat_summary(
    fun = mean,
    geom = "point",
    shape = 3,
    size = 3,
    color = "black"
  ) +
  scale_fill_manual(values = cores_trat, labels = nomes_trat, name =
"Tratamentos") +
  labs(
    x = "Tratamentos",
    y = "Umidade Gravimétrica (g·g-1)"
  ) +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    axis.text.x = element_blank(),
    axis.ticks.x = element_blank(),
    legend.position = "right",
    legend.justification = c(0, 1),
    legend.key.size = unit(0.9, "cm"),
    plot.margin = margin(10, 50, 10, 10)
  )
)
UG
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1400 x 1000 px.

```

APÊNDICE B

A tabela apresentada neste apêndice reúne os resultados das análises de sobrevivência obtidos por meio do estimador de Kaplan–Meier. Para cada espécie e tratamento, são apresentadas as estimativas da probabilidade de sobrevivência ao longo do tempo (90, 180, 270 e 360 dias), acompanhadas de seus respectivos erros padrão, bem como o número de indivíduos remanescentes ao final do experimento (NF), com base em totais iniciais de 45 indivíduos por espécie e 30 por tratamento. Para os tempos em que não houve ocorrência de eventos (mortalidade), os valores de sobrevivência foram mantidos constantes a partir da última estimativa disponível.

	Tempo (dias)				NF
	90	180	270	360	
Espécies					
<i>A. urundeuva</i>	100%	97,8% (± 2,20%)	95,6% (± 3,07%)	88,9% (± 4,68%)	40
<i>E. contortisiliquum</i>	97,8% (± 2,20%)	93,3% (± 3,72%)	91,1% (± 4,24%)	91,1% (± 4,24%)	41
<i>G. americana</i>	100%	97,8% (± 2,20%)	93,3% (± 3,72%)	91,1% (± 4,24%)	41
<i>J. spinosa</i>	62,2% (± 7,23%)	42,2% (± 7,36%)	37,8% (± 7,23%)	35,6% (± 7,14%)	16
<i>S. saponaria</i>	97,8% (± 2,20%)	88,9% (± 4,68%)	75,6% (± 6,41%)	71,1% (± 6,76%)	32
<i>T. americana</i>	100%	95,6% (± 3,07%)	84,4% (± 5,40%)	84,4% (± 5,40%)	38
Tratamentos					
T1	90,0% (± 5,48%)	86,7% (± 6,21%)	86,7% (± 6,21%)	83,3% (± 6,80%)	25
T2	100%	100%	93,3% (± 4,55%)	90,0% (± 5,48%)	27
T3	90,0% (± 5,48%)	90,0% (± 5,48%)	86,7% (± 6,21%)	83,3% (± 6,80%)	25
T4	93,3% (± 4,55%)	83,3% (± 6,80%)	76,7% (± 7,72%)	76,7% (± 7,72%)	23
T5	93,3% (± 4,55%)	76,7% (± 7,72%)	63,3% (± 8,80%)	60,0% (± 8,94%)	18
T6	93,3% (± 4,55%)	80,0% (± 7,30%)	73,3% (± 8,07%)	70,0% (± 8,37%)	21
T7	93,3% (± 4,55%)	83,3% (± 6,80%)	83,3% (± 6,80%)	80,0% (± 7,30%)	24
T8	86,7% (± 6,21%)	76,7% (± 7,72%)	70,0% (± 8,37%)	66,7% (± 8,61%)	20
T9	96,7% (± 3,28%)	96,7% (± 3,28%)	83,3% (± 6,80%)	83,3% (± 6,80%)	25

Espécies: *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl., *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Genipa americana* L., *Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC., *Sapindus saponaria* L., *Triplaris americana* L.

Tratamentos: T1 – Meia-lua; T2 – Coroamento; T3 – Meia-lua + Palha; T4 – Coroamento + Palha; T5 – Meia-lua + Mamona; T6 – Coroamento + Mamona; T7 – Meia-lua + Palha + Mamona; T8 – Coroamento + Palha + Mamona; T9 – Controle.

NF: número de indivíduos remanescentes ao final do experimento (360 dias).

Capítulo II: Efeito da técnica de meia-lua e da cobertura morta de *Ricinus communis* e *Urochloa decumbens* sobre a herbivoria em mudas arbóreas da Mata Atlântica

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar se a técnica de meia-lua e a cobertura vegetal morta de mamona (*Ricinus communis* L.) e palha de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) exercem efeito sobre a incidência de herbivoria em mudas de seis espécies arbóreas da Mata Atlântica: aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). O experimento foi conduzido no Parque Natural Municipal de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, em delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos: T1 – meia-lua; T2 – coroamento; T3 – meia-lua + palha; T4 – coroamento + palha; T5 – meia-lua + mamona; T6 – coroamento + mamona; T7 – meia-lua + palha + mamona; T8 – coroamento + palha + mamona; e T9 – controle. As coberturas foram aplicadas em área circular de 2 m de diâmetro ao redor das mudas, com aproximadamente 30 cm de palha e um carrinho de mão (~0,028 m³) ou meio carrinho (~0,014 m³) da parte aérea triturada de mamona. A incidência de herbivoria foi monitorada a cada 15 dias durante um ano e calculada como a proporção de folhas atacadas por herbívoros mastigadores em relação ao total de folhas avaliadas. As análises estatísticas foram realizadas no software R, utilizando o teste de Kruskal–Wallis (5%), seguido do pós-hoc de Dunn–Bonferroni. A herbivoria variou entre espécies ($p < 0,05$), sendo menor em *J. spinosa* e *A. urundeuva*, que apresentam mecanismos de defesa, como produção abundante de látex e lectinas com atividade inseticida, respectivamente. As maiores taxas observadas nos tratamentos com combinação de coberturas (T8 e T7) indicam que a cobertura vegetal favoreceu a formação de microambientes propícios aos herbívoros e o desenvolvimento de plantas mais vigorosas, potencialmente mais atrativas. As coberturas com mamona não diferiram do controle, o que levou à rejeição da hipótese de efeito significativo na redução da herbivoria; assim, seu uso não é recomendado para essa finalidade.

Palavras-chave: Relações ecológicas; Controle Alternativo; Restauração Ecológica.

Chapter II: Effects of the half-moon technique and mulching with *Ricinus communis* and *Urochloa decumbens* on herbivory in tropical tree seedlings from the Atlantic Forest

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate whether the half-moon technique and mulch cover using castor bean residues (*Ricinus communis* L.) and signal grass straw (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster) affect the incidence of herbivory in seedlings of six Atlantic Forest tree species: aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A. DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.), and tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). The experiment was conducted at the Parque Natural Municipal de Glória de Dourados, Brazil, in a completely randomized design with nine treatments: T1 – Half-moon; T2 – Crowning; T3 –

Half-moon + Straw mulching; T4 – Crowning + Straw mulching; T5 – Half-moon + Castor bean mulching; T6 – Crowning + Castor bean mulching; T7 – Half-moon + Straw + Castor bean mulching; T8 – Crowning + Straw + Castor bean mulching; and T9 – Control. Mulches were applied in a circular area 2 m in diameter around the seedlings, using approximately 30 cm of straw and one wheelbarrow ($\sim 0.028 \text{ m}^3$) or half a wheelbarrow ($\sim 0.014 \text{ m}^3$) of shredded castor bean aerial biomass. Herbivory incidence was monitored every 15 days for one year and calculated as the proportion of leaves attacked by chewing herbivores relative to the total number of leaves evaluated. Statistical analyses were performed in R software using the Kruskal–Wallis test (5%), followed by Dunn–Bonferroni post hoc comparisons. Herbivory varied among species ($p < 0.05$), being lower in *J. spinosa* and *A. urundeuva*, which present defense mechanisms such as abundant latex production and lectins with insecticidal activity, respectively. The higher rates observed in treatments combining different mulching types (T8 and T7) suggest that mulching favored the formation of microenvironments conducive to herbivores, as well as the development of more vigorous and potentially more attractive plants. Castor bean mulches did not differ from the control, leading to the rejection of the study hypothesis that castor bean mulch would significantly reduce herbivory incidence; therefore, its use is not recommended for this purpose.

Keywords: Ecological Relationships; Alternative Control; Ecological Restoration.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é reconhecida como um *hotspot* global de biodiversidade por abrigar elevado número de espécies endêmicas e apresentar alto grau de ameaça. Das mais de 20.000 espécies registradas, pelo menos 6.000 são endêmicas. Entre as espécies arbóreas e arbustivas, das quase 7.000 ocorrentes, cerca de 50% são endêmicas. Além disso, a fauna também apresenta elevado endemismo, incluindo mamíferos (109), aves (215), répteis (126) e anfíbios (504) (Marques; Grelle, 2021). Atualmente, restam apenas cerca de 12,5% de sua cobertura florestal original, em decorrência de um longo histórico de desmatamento (Barretto; Catharino, 2022), com perda estimada de mais de 186 mil hectares de floresta madura apenas entre 2010 e 2020 (Amaral *et al.*, 2025).

Nesse contexto, esse processo de degradação pode alterar interações ecológicas, entre as quais se destaca a herbivoria, entendida como os danos foliares causados por vertebrados, invertebrados e patógenos às plantas (Coley; Barone, 1996). Em áreas de conversão da vegetação nativa, o declínio de predadores naturais pode favorecer o aumento das populações de herbívoros (Reis *et al.*, 2019). Além disso, em cenários de mudanças climáticas, temperaturas elevadas, maiores concentrações de CO_2 e estresse hídrico podem intensificar o consumo foliar (Hamann *et al.*, 2021).

Dessa forma, a herbivoria atua como um filtro biótico relevante em projetos de restauração vegetal. Devido aos seus efeitos negativos sobre a abundância e diversidade de

plantas, especialmente em plantios de recuperação, recomenda-se a introdução de predadores ou a exclusão temporária de herbívoros-alvo (Xu *et al.*, 2023). Entretanto, o uso intensivo de inseticidas químicos gera preocupações quanto à contaminação de recursos hídricos, aos impactos sobre organismos não alvo e à intoxicação de trabalhadores (Malhotra *et al.*, 2021).

A restauração de ecossistemas, portanto, deve ser norteada por princípios de sustentabilidade (Gann *et al.*, 2019), o que exige alternativas seguras para o controle biológico, como os inseticidas ecológicos. Esses produtos derivam de metabólitos secundários, compostos botânicos relacionados aos mecanismos de defesa vegetal, que apresentam rápida degradação no ambiente e baixa toxicidade (Pavela; Kovaříková; Novák, 2025). Entre as espécies com potencial inseticida, destaca-se a mamona, *Ricinus communis* L.

Ricinus communis (Euphorbiaceae) é um arbusto perene nativo da Índia, África Oriental, do sudeste da bacia do Mediterrâneo e de outras regiões tropicais, considerado altamente tóxico devido à presença da proteína ricina (Akbar, 2020), uma fitotoxina capaz de inativar os ribossomos (Grela *et al.*, 2019). Em função dessa toxicidade, a espécie é utilizada no controle de formigas cortadeiras (*Atta sexdens rubropilosa*), por meio de óleo essencial e extrato alcoólico (Reis *et al.*, 2023).

Embora o potencial inseticida de compostos vegetais esteja bem documentado, os experimentos de campo com inseticidas ecológicos permanecem relativamente escassos em comparação aos estudos laboratoriais, em razão da maior complexidade e variabilidade das condições naturais (Pavela; Kovaříková; Novák, 2025). Esse cenário evidencia a necessidade de ampliar pesquisas em campo e de desenvolver abordagens simplificadas de aplicação, o que justifica a investigação do uso de coberturas do solo como estratégia de manejo da herbivoria.

Nesse contexto, espécies já utilizadas como cobertura do solo merecem atenção, como o capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster, Poaceae). Trata-se de uma gramínea africana exótica invasora, comum em áreas degradadas, com rápido crescimento e alta tolerância à herbivoria (Ferreira *et al.*, 2016). Essa tolerância, sob competição, favorece o deslocamento da pressão de herbivoria para plantas nativas coexistentes (Pires *et al.*, 2012). A palha dessa espécie, obtida durante sua remoção em áreas em restauração, tem sido investigada como alternativa ao uso de herbicidas na cobertura do solo (Dos Santos *et al.*, 2025; Francisco *et al.*, 2022). Contudo, ainda existem lacunas quanto aos efeitos de seu uso sobre a herbivoria.

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a cobertura morta de *Ricinus communis* e a palha de *Urochloa decumbens* influenciam a incidência de herbivoria em mudas de seis espécies arbóreas da Mata Atlântica. Hipotetiza-se que a cobertura morta de *R.*

communis reduz a herbivoria nas plantas devido ao seu potencial inseticida previamente documentado. Para *U. decumbens*, em função da ausência de estudos prévios envolvendo seu material seco, não foi estabelecida uma hipótese direcional quanto ao seu efeito sobre a herbivoria, sendo sua inclusão motivada por sua ampla ocorrência em áreas degradadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido entre maio de 2024 e abril de 2025, em uma área em processo de restauração situada no Parque Natural Municipal de Glória de Dourados (PNMGD) (22°24'21,60"S; 54°13'10,20"W), no município de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. Foram traçadas sete linhas de plantio, com 18, 20, 29, 41, 45, 50 e 67 berços (covas de plantio) por linha, respectivamente. A distância entre as linhas variou para acompanhar as condições topográficas do terreno e contornar a presença de vegetação arbórea remanescente. Com base no espaçamento mínimo adotado de $2,5 \times 2,5$ m entre os berços, a área total ocupada pelo experimento foi estimada em 1.687,5 m² (0,17 ha) (Figura 1).

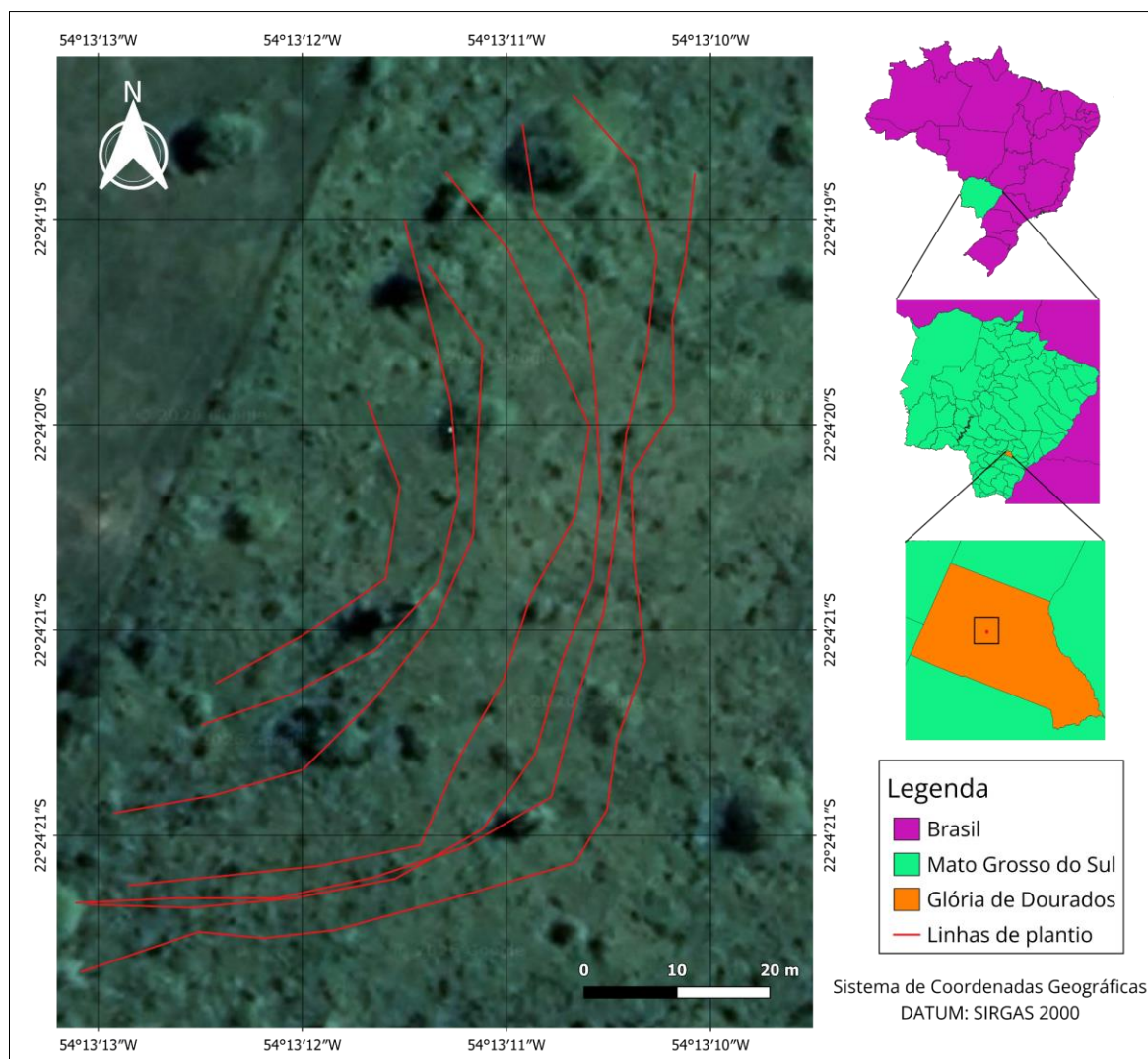


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Glória de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. Na imagem de satélite, é possível observar as sete linhas de plantio. Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2026).

A área experimental está inserida na Mata Atlântica, em uma faixa de Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012), e localiza-se em um mosaico paisagístico composto por três elementos principais: (1) uma pastagem situada a aproximadamente 10 m; (2) um fragmento florestal pertencente ao parque, que circunda um pequeno córrego, a cerca de 50 m; e (3) uma área urbana residencial, a aproximadamente 400 m. Destaca-se, ainda, a elevada presença da gramínea exótica *Urochloa decumbens* na área. Essa configuração espacial favorece a influência simultânea de componentes naturais e antrópicos sobre o entorno da área de estudo.

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (subtropical úmido), caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (Da Silva; Gallo; Guimarães, 2022). Durante o período experimental, a temperatura média registrada no mês mais frio foi de 19,6

°C (julho), enquanto no mês mais quente atingiu 27,2 °C (janeiro). Os menores volumes de precipitação concentraram-se entre os meses de maio e outubro, enquanto os maiores ocorreram entre novembro e abril (Guia Clima, 2025) (Figura 2).

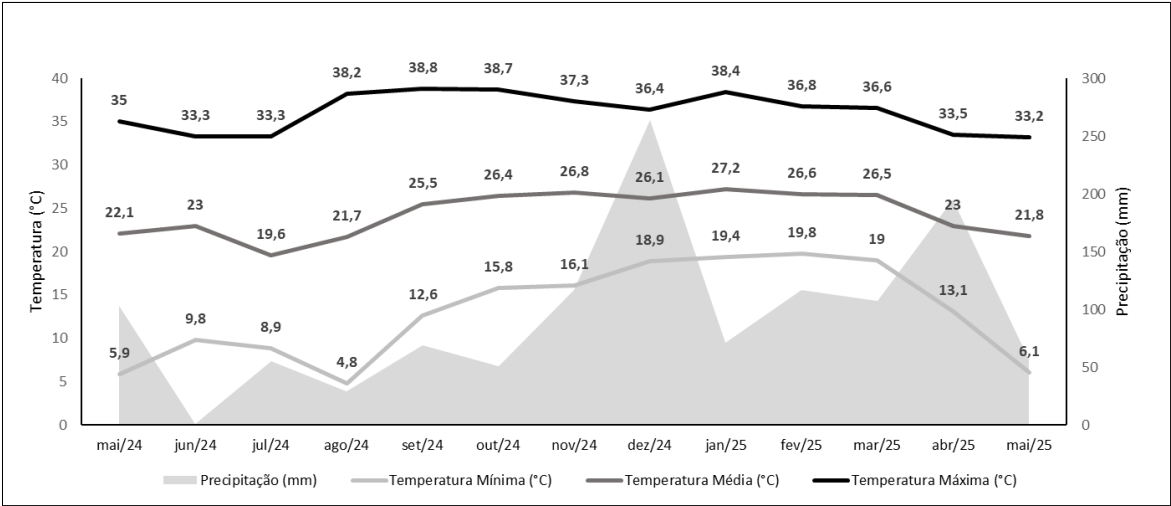


Figura 2. Registros meteorológicos da região de estudo durante o período experimental (maio/2024 a maio/2025). Fonte: Elaborado com base em dados fornecidos pelo Guia Clima.

2.2. Delineamento experimental

Foram plantadas mudas de seis espécies florestais nativas: aroeira (*Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.), jenipapo (*Genipa americana* L.), jaracatiá (*Jacaratia spinosa* (Aubl.) A.DC.), pau-formiga (*Triplaris americana* L.), saboneteira (*Sapindus saponaria* L.) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong), cultivadas previamente no viveiro do PNMGD (Tabela 1).

As mudas foram submetidas a dois tipos de manejo dos berços de plantio: (1) coroamento circular, com 2 m de diâmetro, e (2) meia-lua, com dimensões de 2 m × 1 m e aproximadamente 0,5 m de profundidade. O espaçamento entre os tratamentos foi de 0,5 m (Figura 3). Além disso, aplicaram-se três tipos de cobertura morta: (1) palha, (2) mamona e (3) palha + mamona.

Tabela 1. Características ecológicas das espécies utilizadas no experimento. Síndrome de dispersão (SD): Ane = anemocórica (pelo vento); Zoo = zoocórica (pela fauna). Classe sucessional (CS): Pio = pioneira; SeI = secundária inicial; SeT = secundária tardia. Fenologia foliar (FF): Per = perene; Dec = decídua; Sem = semidecídua.

Espécie	Nome popular	Família	SD	CS	FF	Ocorrência
<i>Astronium urundeuva</i> (M.Allemão) Engl.	aroeira, aroeira-preta, uriunduba	Anacardiaceae	Ane	SeT	Dec	Desde formações abertas e secas até florestas úmidas e densas.
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	tamboril, timbaúva	Fabaceae	Zoo	Pio, SeI	Dec	Florestas primárias úmidas (menos frequente) e capoeiras (mais frequente).
<i>Genipa americana</i> L.	genipapo	Rubiaceae	Zoo	SeI	Sem	Formações florestais em áreas úmidas.
<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	jaracatiá	Caricaceae	Zoo	Pio, SeI	Dec	Matas primárias densas, clareiras e bordas de mata, preferencialmente em solos férteis.
<i>Sapindus saponaria</i> L.	saboneteira	Sapindaceae	Zoo	SeI	Per, Sem	Várzeas e florestas latifoliadas semidecíduas.
<i>Triplaris americana</i> L.	pau-formiga, formigueiro	Polygonaceae	Ane	SeI	Per	Matas ciliares em solos muito úmidos ou alagados.

Fonte: Almeida; Viani (2020) e Lorenzi (2002).

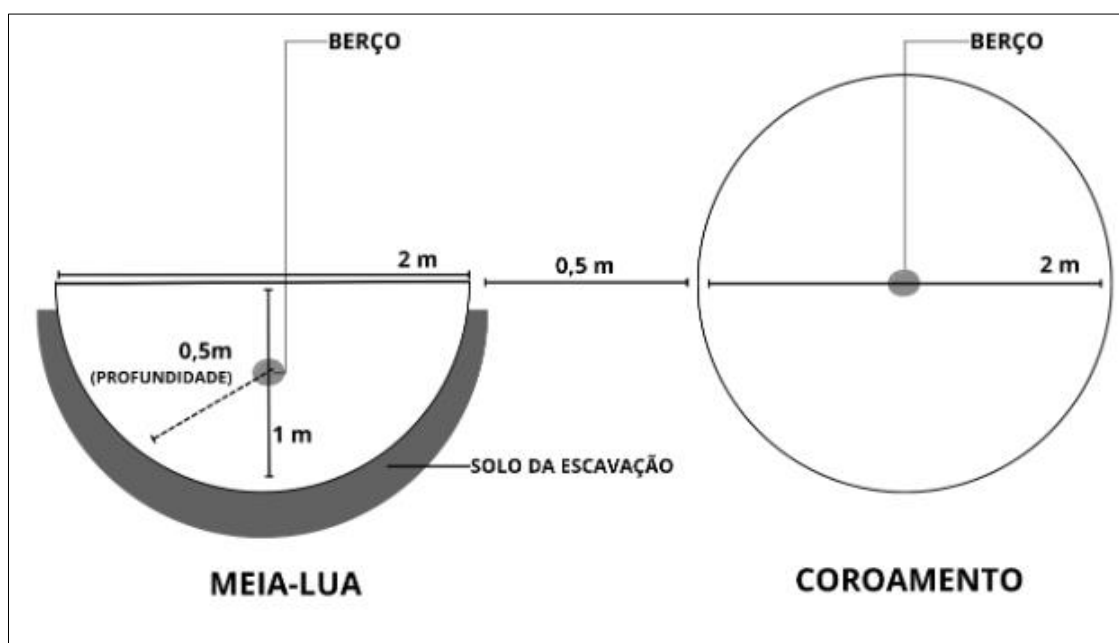


Figura 3. Dimensões da meia-lua e coroamento utilizadas no experimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), composto pelos

seguintes tratamentos: T1 – Meia-lua; T2 – Coroamento; T3 – Meia-lua + palha; T4 – Coroamento + palha; T5 – Meia-lua + mamona; T6 – Coroamento + mamona; T7 – Meia-lua + palha + mamona; T8 – Coroamento + palha + mamona; e T9 – Tratamento controle, com cinco repetições por espécie, o que totalizou 270 indivíduos. O tratamento controle (T9) consistiu no plantio das mudas sem a construção de meia-lua, sem cobertura vegetal e sem manejo de espécies competidoras após a implantação, ao longo de todo o período experimental.

A escavação das meias-luas foi realizada manualmente com enxadas, ao longo de linhas previamente abertas por um tombador de terra. A palha utilizada foi proveniente do capim-braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster), obtida a partir do revolvimento do solo da área experimental com arado de disco acoplado a um trator, realizado duas semanas antes do início do experimento, e aplicada em camada de aproximadamente 30 cm de espessura. A cobertura com mamona (*Ricinus communis* L.) foi composta pela parte aérea triturada da planta. Nos tratamentos exclusivos com mamona, aplicou-se um carrinho de mão por berço ($\sim 0,028 \text{ m}^3$), enquanto nos tratamentos com palha + mamona utilizou-se metade desse volume ($\sim 0,014 \text{ m}^3$) de mamona. Após seis meses de experimento, foi realizada a manutenção, com nova escavação da meia-lua e reaplicação da cobertura do solo.

Não foram aplicados insumos destinados ao controle de herbivoria, de espécies competidoras ou à melhoria da fertilidade do solo. Além disso, não foi realizada irrigação durante o período experimental.

2.3. Coleta de dados

A herbivoria foi avaliada por meio de inspeção visual das mudas plantadas a cada 15 dias, entre maio de 2024 e abril de 2025, totalizando 24 avaliações. A primeira avaliação foi realizada durante a implementação do experimento, com mudas recém-plantadas, provenientes de viveiro e apresentando baixa incidência inicial de herbivoria. Em cada avaliação, registraram-se o número de folhas com perda de área foliar decorrente de herbivoria e o número total de folhas por indivíduo.

Embora não tenha sido definido um grupo focal de herbívoros, foram consideradas apenas as marcas deixadas por herbívoros mastigadores (removem porções do tecido foliar), sendo excluídas da análise folhas com danos provocados por minadores (alimentam-se de tecidos fotossintéticos e epidérmicos, formando galerias) e por raspadores (consomem os tecidos mais superficiais da lâmina foliar) (Matilde da Silva; Torres Boeger; Melo Júnior,

2023).

Essa abordagem se justifica por três fatores principais: (i) em plantas lenhosas, a maior perda de área foliar é atribuída aos herbívoros mastigadores, enquanto minadores e galhadores representam apenas 1,0% e 0,3% da área afetada, respectivamente (Kozlov *et al.*, 2015); (ii) nem todos os herbívoros produzem evidências visíveis de consumo comparáveis às deixadas por mastigadores de folhas, o que contribui para que essa guilda seja amplamente estudada (Coley; Barone, 1996); e (iii) a predominância de formigas cortadeiras na área de estudo.

A incidência de herbivoria (frequência de folhas atacadas) foi calculada, para cada indivíduo em cada avaliação, como a razão entre o número de folhas atacadas por herbívoros mastigadores e o número total de folhas avaliadas, conforme descrito por Gomes e Cornelissen (2025). A marcação individual das folhas não foi adotada, pois poderia influenciar a abscisão foliar e as interações com herbívoros, além de apresentar baixa viabilidade operacional em campo. Assim, folhas que permaneceram entre avaliações sucessivas puderam ser novamente registradas no cálculo da incidência de herbivoria.

Indivíduos que não apresentavam folhas no momento da avaliação foram desconsiderados, a fim de evitar distorções nos resultados. Para espécies com folhas compostas, como *Astronium urundeuva* e *Enterolobium contortisiliquum*, adotou-se a folha inteira como unidade de análise, não sendo contabilizados os folíolos individualmente.

Além disso, foram realizados registros fotográficos ocasionais apenas para fins documentais, motivo pelo qual não foi adotado um protocolo padronizado de amostragem.

2.4. Análise estatística

A análise estatística foi realizada no software R (R Core Team, 2023), versão 4.3.1 (script no Apêndice A). A incidência de herbivoria, avaliada por espécie e por tratamento, foi inicialmente submetida à verificação dos pressupostos de normalidade, utilizando o teste de Shapiro–Wilk, e de homogeneidade de variâncias, por meio do teste de Levene, com o auxílio dos pacotes “rstatix” (Kassambara, 2019) e “car” (Fox; Weisberg, 2019), respectivamente.

Como os dados não apresentaram normalidade, mesmo após a aplicação de diferentes transformações, optou-se pelo uso do teste não paramétrico de Kruskal–Wallis. Para evitar pseudorrepetição decorrente das avaliações sucessivas ao longo do tempo, a incidência de herbivoria foi previamente agregada por indivíduo, utilizando-se a proporção acumulada ao longo do período experimental. Nos casos em que foram observadas diferenças significativas,

aplicou-se o teste post hoc de Dunn, com correção de Bonferroni ($p < 0,05$), também por meio do pacote “rstatix” (Kassambara, 2019).

3. RESULTADOS

Durante todo o período do estudo, foram obtidos 73.410 registros de folhas. Desse conjunto, 24.629 registros apresentaram sinais de herbivoria atribuídos à guilda de mastigadores. Conforme apresentado na Tabela 2, a incidência de herbivoria variou significativamente entre as espécies ($p < 0,05$).

Tabela 2. Resumo do teste de Kruskal–Wallis para a incidência de herbivoria, com comparação entre espécies e entre tratamentos.

Variável	Qui-quadrado (χ^2)	Graus de liberdade (GL)	Valor-p
Espécie	187,91	5	$< 2,2 \times 10^{-16}$
Tratamento	2,961	8	0,9368

Genipa americana apresentou a maior incidência média de herbivoria (0,73). Por outro lado, *Jacaratia spinosa* e *Astronium urundeuva* registraram as menores incidências médias (0,07 e 0,14, respectivamente), embora tenham apresentado alguns valores extremos (*outliers*) elevados, indicando níveis mais intensos de herbivoria em determinados indivíduos (Figura 4a).

Entre os tratamentos, o coroamento com cobertura de palha e mamona (T8) e a meia-lua com cobertura de palha e mamona (T7) destacaram-se por apresentar as maiores incidências médias de herbivoria (0,37 e 0,34, respectivamente). Em contraste, o tratamento meia-lua com cobertura de mamona (T5) apresentou a menor incidência média de herbivoria (0,27) (Figura 4b).

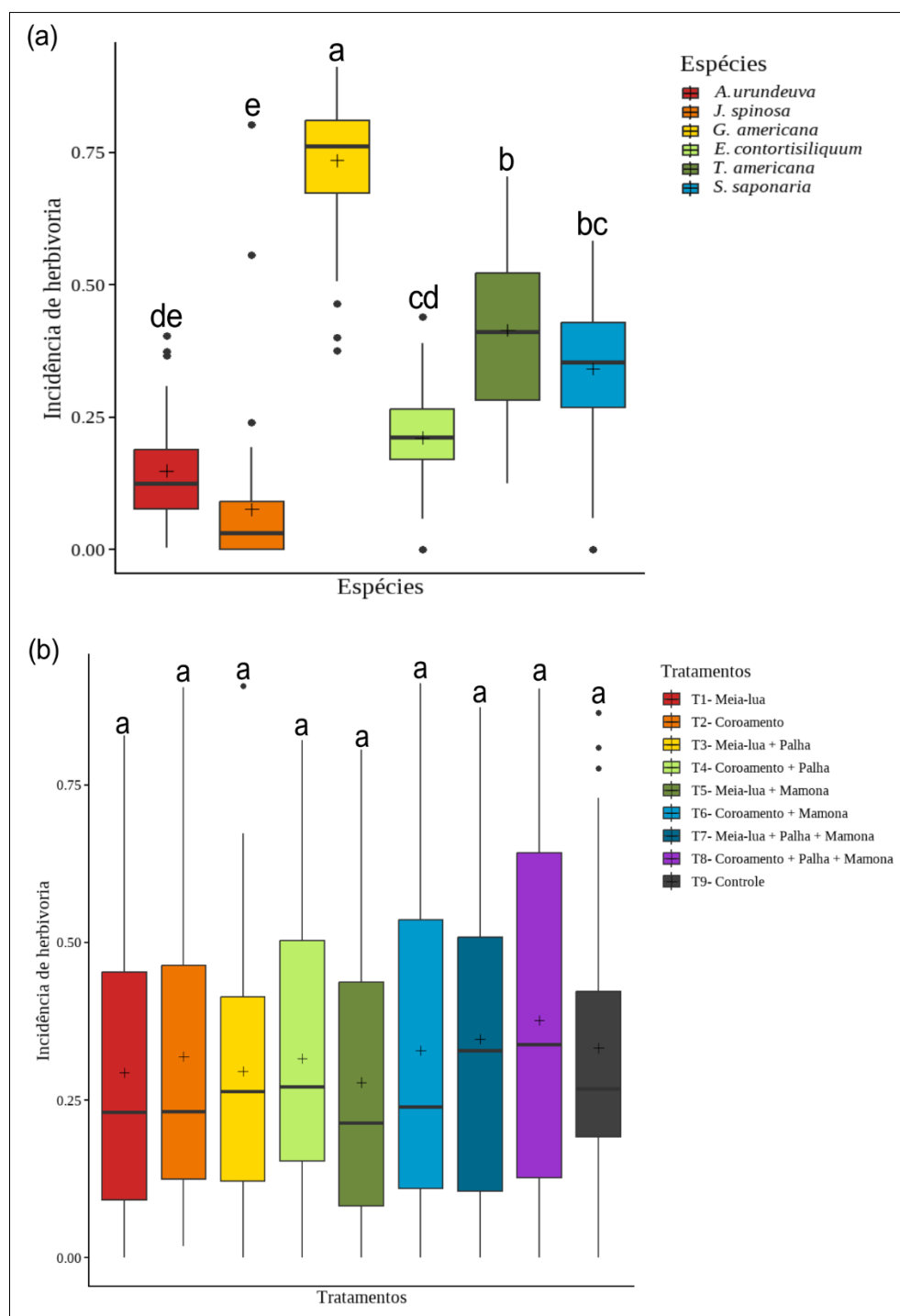


Figura 4. Incidência de herbivoria acumulada entre as espécies (a) e entre os diferentes tratamentos (b). Em cada gráfico, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Dunn com correção de Bonferroni ($p > 0,05$). Os limites das caixas correspondem ao intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana (Q2), o símbolo “+” representa a média, as hastes indicam o valor mais extremo dentro de $1,5 \times$ o intervalo interquartil (IQR), e os pontos representam valores discrepantes (*outliers*).

Observou-se que, tanto entre as espécies quanto entre os tratamentos, houve tendência de aumento na incidência de herbivoria nos últimos meses de monitoramento (fevereiro–abril) (Figura 5).

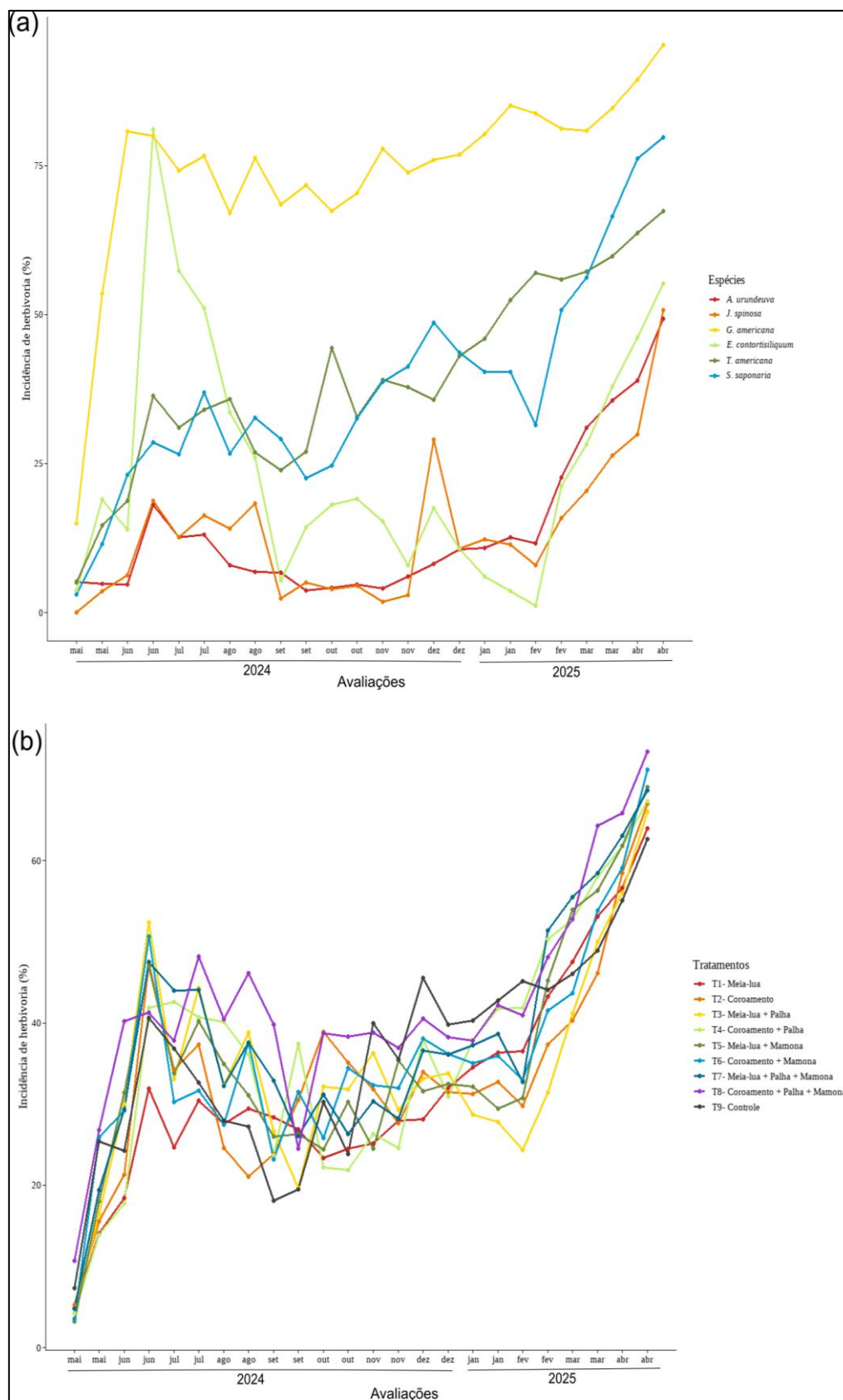


Figura 5. Incidência média de herbivoria (%) em mudas, por espécie (a) e por tratamento (b), no período de maio de 2024 a abril de 2025. As avaliações foram realizadas a cada 15 dias, razão pela qual os gráficos apresentam duas medições por mês.

Durante o experimento, foram registrados, na área experimental, vestígios da fauna, incluindo indivíduos, pegadas, ninhos e marcas de herbivoria atribuídas a diferentes grupos (Figura 6). Além disso, observou-se a nidificação de formigas sobre a cobertura vegetal de mamona (Figura 6k).

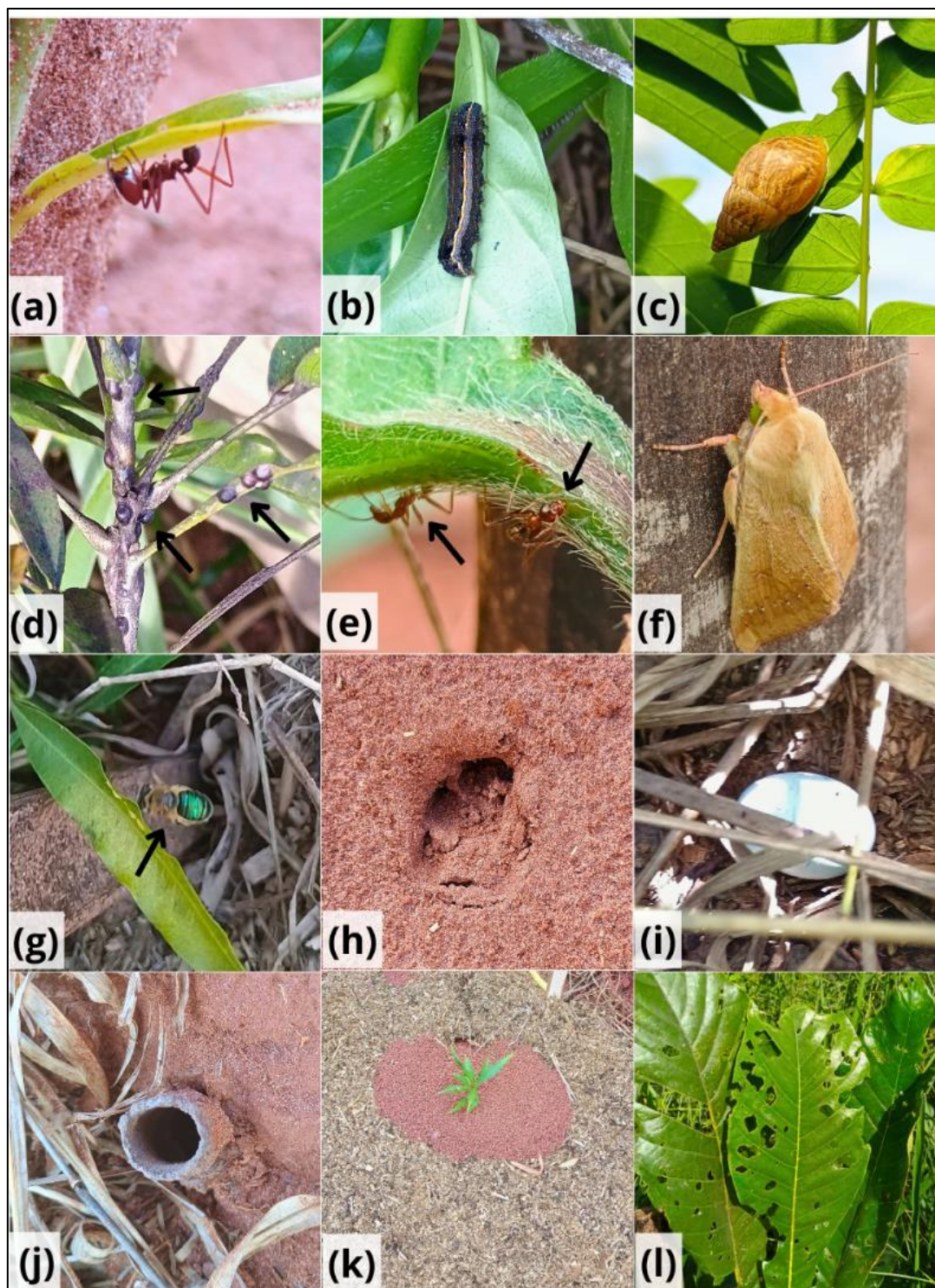


Figura 6. Registros fotográficos da área experimental, com indivíduos da fauna (a–g), pegadas (h), ninhos (i–k) e marcas de herbivoria (l).

4. DISCUSSÕES

4.1. Incidência de herbivoria entre espécies vegetais

O extrato da casca de *G. americana* apresenta taninos, esteroides e saponinas, compostos que já demonstraram afetar a mortalidade, a eclosão e o desempenho nutricional do besouro *Tribolium castaneum* (Lima *et al.*, 2020). No entanto, apesar dessas propriedades inseticidas, no presente estudo essa espécie apresentou a maior incidência de herbivoria, o que sugere que a eficácia desses metabólitos depende da concentração, da distribuição nos tecidos vegetais, do tipo de herbívoro envolvido e da idade da planta. Em relação a este último fator, há evidências de que folhas jovens podem sofrer entre 5 e 25 vezes mais danos diários do que folhas maduras, devido à sua maior qualidade nutricional (Coley; Barone, 1996).

Além disso, dentre as espécies avaliadas, *G. americana* destacou-se por apresentar folhas de maior porte, e o tamanho foliar tem sido positivamente correlacionado com a herbivoria em uma ampla variedade de espécies vegetais. Espécies com folhas maiores geralmente apresentam crescimento mais rápido e maior tolerância ao ataque de herbívoros, o que pode resultar em níveis mais elevados de herbivoria (Zhang; Zhang; Ma, 2017).

Apesar de *J. spinosa* também possuir grande área foliar, essa espécie pertence à família Caricaceae, conhecida pela produção abundante de látex, um fluido exsudado quando os tecidos vegetais sofrem danos por herbívoros ou por lesões físicas (Merchán-Gaitán *et al.*, 2023). O látex é produzido e armazenado por laticíferos, células especializadas que formam uma rede tubular distribuída por toda a planta (Ramos *et al.*, 2019). Ao entrar em contato com o ar, esse fluido coagula rapidamente e forma uma barreira de defesa, o que pode ter contribuído para a redução da herbivoria (Merchán-Gaitán *et al.*, 2023).

Entretanto, níveis elevados de herbivoria registrados em alguns indivíduos sugerem que o mecanismo de defesa do látex nem sempre impede os ataques. Isso ocorre porque determinados herbívoros superam esse sistema por meio de adaptações fisiológicas e comportamentais, como aparato digestivo capaz de degradar proteínas tóxicas, secreção de fluidos que reduzem a exsudação local e estratégias de corte foliar, como incisões prévias que promovem a drenagem e a secagem do látex antes da alimentação (Ramos *et al.*, 2019).

Astronium urundeuva apresenta lectinas termiticidas na casca, no cerne e nas folhas, as quais já demonstraram atividade inseticida contra operárias do cupim *Nasutitermes corniger*. As lectinas são proteínas vegetais com reconhecido potencial inseticida e efeitos entomotóxicos

sobre diversas ordens de insetos, como Coleoptera, Diptera e Lepidoptera (Lima *et al.*, 2017). Embora esses compostos possam ter contribuído para a menor incidência de herbivoria observada nessa espécie, assim como em *J. spinosa*, alguns indivíduos foram intensamente atacados.

Nesse contexto, mesmo espécies com defesas químicas eficazes podem apresentar danos expressivos quando submetidas a ataques simultâneos. As plantas percebem a herbivoria por meio de moléculas específicas, provenientes tanto de paredes celulares danificadas quanto da saliva do herbívoro, o que desencadeia uma assinatura única de respostas mediadas por diferentes fitormônios. Entretanto, a ativação dessas defesas pode impor custos energéticos e fisiológicos que limitam a capacidade da planta de responder a ataques subsequentes (De Bobadilla *et al.*, 2022).

O aumento progressivo da incidência de herbivoria ao longo do experimento pode estar associado ao incremento no número de folhas durante o crescimento das mudas, o que amplia a disponibilidade de recursos para os herbívoros. Além disso, a preparação da área, com o solo revolvido por arado de disco, pode ter influenciado inicialmente a dinâmica das populações herbívoras, uma vez que o revolvimento do solo com instrumentos como arado de aiveca e arado de discos provoca perturbações nos habitats da fauna edáfica (Jasrotia *et al.*, 2023).

Por outro lado, variações acentuadas podem relacionar-se ao gradiente de precipitação, pois, de modo geral, as populações de insetos diminuem em períodos secos, recuperam-se no início da estação chuvosa e aumentam gradualmente até o início da estação seca subsequente (Coley; Barone, 1996). Como observado no presente estudo, verificou-se um aumento da herbivoria nos últimos meses de monitoramento após um período de maior precipitação (novembro–janeiro).

Ressalta-se que a precipitação não afeta apenas as populações de herbívoros, mas também influencia a dinâmica foliar das plantas. *Enterolobium contortisiliquum* apresentou menor número de folhas no período de baixa disponibilidade hídrica, o que corrobora os achados de Ferreira *et al.* (2023), segundo os quais a maior restrição hídrica pode promover queda e menor produção de folhas nessa espécie. Embora essa resposta esteja associada à redução de danos causados pela escassez de água, ela pode representar uma vantagem frente à herbivoria ao reduzir a disponibilidade de recursos foliares. Além disso, observou-se que as folhas dessa espécie apresentavam elevada suscetibilidade ao desprendimento na região nodal, com risco de queda mesmo sob toque ou ação do vento.

Embora *E. contortisiliquum*, *S. saponaria* e *T. americana* apresentem níveis

intermediários de herbivoria, essas espécies também merecem atenção, especialmente *T. americana*, para a qual há relatos na literatura de interações inseto–planta particularmente interessantes (Larrea-Alcázar; Simonetti, 2007; Sanchez; Bellota, 2015).

Enterolobium contortisiliquum (Fabaceae) é uma espécie pioneira, com crescimento inicial acelerado, e pode atingir mais de 4 m de altura (Araújo; Paiva Sobrinho, 2011). *Sapindus saponaria* (Sapindaceae), por sua vez, é classificada como secundária inicial e também apresenta rápido crescimento (Almeida; Viani, 2020). O aumento de sua biomassa vegetal tem sido associado ao incremento da abundância e da diversidade de artrópodes, incluindo herbívoros (Mota *et al.*, 2025). *Triplaris americana* (Polygonaceae), igualmente secundária inicial (Almeida; Viani, 2020), pertence a um gênero frequentemente associado a espécies que ocorrem em florestas sazonalmente inundadas (Sanchez; Kron, 2011).

Como todas essas espécies pertencem aos estágios iniciais da sucessão ecológica, suas estratégias de defesa contra a herbivoria podem refletir adaptações características desses estágios. Espécies de vida curta, típicas dos estágios iniciais, tendem a investir em defesas direcionadas a herbívoros específicos e especializados, enquanto espécies perenes e de maior longevidade frequentemente investem na produção de compostos multifuncionais, que reduzem os custos metabólicos de síntese e também podem desempenhar outras funções fisiológicas (De Bobadilla *et al.*, 2022).

Além disso, *T. americana* é uma planta mirmecófita, isto é, abriga colônias de formigas em caules ocos, que removem herbívoros de forma agressiva e eficiente. Como a planta não produz corpos alimentares nem nectários extraflorais, essas formigas são recompensadas pela melada produzida por cochonilhas (Coccoidea) (Sanchez, 2015). Na presença da formiga *Pseudomyrmex dendroicus*, foi relatada uma redução de até 15 vezes na herbivoria nessa planta (Sanchez; Bellota, 2015). Além da defesa ativa, formigas *Pseudomyrmex triplarinus* apresentam comportamento de poda em plantas próximas a *T. americana*, o que pode limitar recursos para herbívoros competidores, mas também impactar o recrutamento de plântulas (Larrea-Alcázar; Simonetti, 2007).

Embora a colonização por formigas não tenha sido avaliada diretamente no presente estudo, a literatura indica que esse processo pode ocorrer desde os estágios iniciais de desenvolvimento da planta. Em *Triplaris*, enquanto indivíduos adultos apresentam caules ocos, as plântulas possuem caules compartimentalizados que podem abrigar múltiplas rainhas. Após o estabelecimento da colônia, as operárias escavam as divisórias internas, formando um caule oco contínuo (Sanchez, 2016). Além disso, rainhas de *Pseudomyrmex mordax* demonstram

preferência por folhas de plântulas, indicando que, embora essas apresentem menor espaço para nidificação, o estabelecimento precoce pode favorecer a sobrevivência da rainha e reduzir as chances de colonização da planta hospedeira por formigas parasitas (Torres; Sanchez, 2017).

É importante ressaltar que, ainda que a herbivoria constitua um filtro biótico a ser superado nos processos de restauração da vegetação, sua ocorrência não deve ser interpretada exclusivamente como um efeito negativo. A herbivoria pode desempenhar um papel fundamental na manutenção da diversidade e na estruturação das comunidades, ao favorecer adaptações evolutivas em plantas e herbívoros (Coley; Barone, 1996). Em resposta à pressão herbívora, as plantas desenvolveram uma variedade de mecanismos de defesa, como o espessamento da parede celular, o aumento da densidade de tricomas e a produção de compostos químicos (De Bobadilla *et al.*, 2022).

Por sua vez, os herbívoros desenvolveram mecanismos para superar essas defesas, como estratégias comportamentais, a produção de enzimas de desintoxicação, a rápida excreção e o armazenamento de toxinas em estruturas especializadas (Dar *et al.*, 2024). Assim, as interações entre plantas e insetos herbívoros constituem uma das principais interações bióticas, pois esses dois táxons representam grande parte da biodiversidade e desempenham papel fundamental na manutenção do fluxo de energia e do equilíbrio dos ecossistemas (Du *et al.*, 2020).

4.2. Influência da cobertura do solo na incidência de herbivoria

Os tratamentos que combinaram cobertura de palha e mamona apresentaram maiores índices de herbivoria quando comparados aos tratamentos com solo exposto (meia-lua e coroamento), o que sugere que a presença de cobertura vegetal contribuiu para a formação de microambientes mais favoráveis à permanência e à atividade de herbívoros. Esses resultados contrastam com a literatura, que aponta que a cobertura do solo pode dificultar a localização de plantas por alguns herbívoros e favorecer a abundância de inimigos naturais, os quais auxiliam no controle biológico ao fornecer abrigo e áreas de caça (Jasrotia *et al.*, 2023).

Os microambientes gerados pela associação de dois materiais (mamona e palha) resultaram em maior heterogeneidade microambiental e maior complexidade estrutural. Nesse contexto, destaca-se que, embora no tratamento controle não tenha sido aplicada cobertura vegetal, a ausência de manejo das espécies competidoras promoveu o crescimento de plantas espontâneas ao redor das mudas, o que também reduziu a exposição direta do solo e favoreceu a formação de ambientes mais heterogêneos.

Embora não tenham sido encontrados trabalhos que estabeleçam claramente uma relação direta entre herbivoria e a heterogeneidade ambiental promovida por coberturas orgânicas, a literatura ecológica tem demonstrado que aumentos na heterogeneidade espacial e estrutural dos ambientes tendem a favorecer maior diversidade e conectividade de interações bióticas. Por exemplo, a heterogeneidade ambiental tem sido associada a redes planta-polinizador mais amplas e conectadas, nas quais os polinizadores ajustam sua atividade à variação na disponibilidade de recursos e aos locais de nidificação (Moreira; Boscolo; Viana, 2015). Do mesmo modo, ambientes com maior complexidade estrutural podem facilitar a dispersão de sementes por frugívoros, reforçando processos essenciais à regeneração ecológica (Genes; Dirzo, 2022).

Dessa forma, embora a associação entre herbivoria e heterogeneidade ambiental ainda exija maior investigação, os resultados aqui apresentados reforçam a importância de considerar múltiplas interações ecológicas na interpretação dos efeitos das coberturas do solo em ambientes de restauração.

As coberturas do solo contribuem para a manutenção da umidade ao reduzirem a evaporação (Souza *et al.*, 2018), além de promover o aporte de matéria orgânica (El-Beltagi *et al.*, 2022). Nesse contexto, as maiores incidências de herbivoria em mudas plantadas em solos com cobertura (T8 e T7) sugerem que plantas sob condições de maior disponibilidade hídrica e nutricional são mais suscetíveis ao dano herbívoro. Assim, esses resultados se alinham à Hipótese do Vigor Vegetal (*Plant Vigor Hypothesis – PVH*), proposta por Price (1991), segundo a qual herbívoros tendem a se alimentar preferencialmente de plantas ou tecidos mais vigorosos, em vez de indivíduos sob estresse.

Os herbívoros mastigadores podem ser negativamente afetados pelo estresse hídrico. A redução da turgescência das plantas durante eventos de seca severa pode limitar a disponibilidade de compostos nitrogenados, diminuindo a qualidade nutricional do tecido foliar. Além disso, a resistência mecânica das folhas pode aumentar, enquanto a produção de folhas novas, geralmente menos rígidas, tende a diminuir, o que resulta em menor palatabilidade para esses herbívoros (Gely; Laurence; Stork, 2020).

O uso da mamona como cobertura do solo não resultou em redução significativa da herbivoria em comparação ao controle, o que leva à rejeição da hipótese inicialmente proposta. Embora a mamona seja reconhecida por conter compostos tóxicos, como ricina, ricinina e rutina, alguns insetos são capazes de degradá-los por meio de enzimas digestivas presentes no intestino médio (López-Guillén, Gómez-Ruiz; Barrera, 2020).

Além disso, tais compostos encontram-se especialmente nas sementes, que contêm aproximadamente 9,3 mg de ricina por grama (Rasetti-Escargueil; Avril, 2023), mas representam uma proporção muito pequena da parte aérea utilizada como cobertura no presente estudo. Assim, a eficácia do controle alternativo com resíduos de mamona pode depender tanto do tipo de herbívoro envolvido quanto da concentração dos compostos ativos, conforme observado por Brito *et al.* (2024).

As folhas das mudas permaneceram espacialmente distantes da cobertura vegetal do solo, condição que se acentuou com o crescimento em altura das mudas e com o soterramento gradual da cobertura, em decorrência do acúmulo de sedimentos e da movimentação do solo ao longo do experimento. Nessas circunstâncias, a eficácia do material dependia principalmente de um possível efeito repelente indireto sobre os herbívoros, uma vez que não havia contato físico com os tecidos foliares. No entanto, esse efeito repelente não foi observado. Ao contrário, a cobertura vegetal de *R. communis* serviu como substrato de nidificação de formigas em algumas unidades amostrais, conforme evidenciado nos registros fotográficos.

Esses resultados de campo contrastam com os obtidos em condições laboratoriais por Hebling *et al.* (1996). Formigas cortadeiras (gênero *Atta*), predominantes na área de estudo, coletam folhas verdes e as transportam para os ninhos, onde são utilizadas no cultivo de fungos simbióticos, principal fonte de alimento da colônia. Em condições controladas, os autores demonstraram que folhas de *R. communis* aumentam a mortalidade dessas formigas e reduzem o volume do jardim fúngico, podendo levar à sua extinção em poucas semanas. Esse contraste sugere que, em condições de campo, a maior complexidade ambiental pode influenciar esses efeitos.

Pires *et al.* (2012) observaram aumento da pressão de herbivoria sobre plantas nativas na presença de *Urochloa decumbens*. No presente estudo, embora o uso da biomassa seca não tenha diferido dos tratamentos sem a adição do material, a espécie esteve amplamente presente na área experimental, com ocorrência nas entrelinhas, e o próprio tratamento controle apresentou alta biomassa, conforme reportado em estudo anterior (Dos Santos *et al.*, 2025). Assim, os danos de herbivoria registrados nas mudas nativas podem ter sido intensificados pela elevada ocorrência dessa gramínea na área experimental, o que indica a necessidade de considerar essa interação no manejo de herbívoros em futuros projetos de restauração da vegetação.

5. CONCLUSÕES

Dentre as espécies avaliadas, *Jacaratia spinosa* e *Astronium urundeuva* apresentaram as menores incidências de herbivoria e, portanto, mostram-se recomendadas para a restauração de áreas degradadas onde a herbivoria atua como filtro biótico. Entre os tratamentos, a combinação da palha de *Urochloa decumbens* com a parte aérea de *Ricinus communis* possivelmente favoreceu a formação de microambientes mais heterogêneos e o maior vigor das mudas, o que resultou em níveis mais elevados de herbivoria. Dessa forma, conclui-se que, apesar do reconhecido potencial inseticida de *R. communis*, o uso de sua parte aérea como cobertura vegetal não se mostrou uma alternativa eficiente para o manejo da herbivoria, em razão da baixa eficácia na redução dos danos e da elevada demanda de manejo.

Além disso, embora o presente estudo tenha se concentrado na herbivoria, a incidência observada em alguns tratamentos pode também refletir maior atratividade para outros organismos da fauna local, o que reforça a necessidade de estudos futuros sobre os efeitos da heterogeneidade dos microhabitats promovidos pelas coberturas em outros grupos funcionais.

REFERÊNCIAS

AKBAR, S. *Ricinus communis* L. (Euphorbiaceae). In: **Handbook of 200 Medicinal Plants: A Comprehensive Review of their Traditional Medical Uses and Scientific Justifications**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 1539-1550.

ALMEIDA, C.; VIANI, R. A. G. **Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica (versão 2 – agosto 2020)**. Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, LASPEFUFSCar. 2020. Disponível em <https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Almeida-e-Viani2020especies-plantadas-na-restauracao-Mata-Atlantica.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2026.

AMARAL, S.; METZGER, J. P.; ROSA, M.; ADORNO, B. V.; GONÇALVES, G. C.; GUEDES PINTO, L. F. Alarming patterns of mature forest loss in the Brazilian Atlantic Forest. **Nature Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 256-264, 2025.

ARAÚJO, A. P.; PAIVA SOBRINHO, S. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, p. 581-588, 2011.

BARRETTO, E. H. P.; CATHARINO, E. L. M. Atlantic Forest Hotspot: Why We Should Consider Mature Forests a Conservation Priority in the São Paulo Metropolitan Region, Southeastern Brazil. **Journal of Environmental Protection**, v. 13, n. 1, p. 69-83, 2022.

BRITO, C. D. S. N.; TEIXEIRA, R. S.; BRITO, E. A. S.; SANTANA, R. R.; THAYLA, S. P.; LIMA, G. L. C. Extrato das folhas da mamona no controle do pulgão preto na cultura do Açaí. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.

COLEY, P. D.; BARONE, J. A. Herbivory and plant defenses in tropical forests. **Annual review of ecology and systematics**, v. 27, n. 1, p. 305-335, 1996.

DA SILVA, R. F.; GALLO, A. S.; GUIMARÃES, N. F. Avaliação de cultivares de cebola em sistema de produção de base agroecológica no município de Glória de Dourados, MS. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e525111235007-e525111235007, 2022.

DAR, S. A.; HASAN, W.; DEVI, Y. K.; TLAK GAJGER, I.; JOHN, J. Enzyme-mediated adaptation of herbivorous insects to host phytochemicals. **Phytochemistry Reviews**, v. 23, n. 5, p. 1-24, 2024.

DE BOBADILLA, M. F.; VITIELLO, A.; ERB, M.; POELMAN, E. H. Plant defense strategies against attack by multiple herbivores. **Trends in Plant Science**, v. 27, n. 6, p. 528-535, 2022.

DOS SANTOS, G. D.; CORTES, L. C.; VASQUES, L. C.; DOMINGOS, J. D.; MILITÃO, F. T.; PEREIRA, Z. V. Can Organic Mulchings be an Alternative Method for Controlling Weed Competition in Ecosystem Restoration?. **Revista de Gestão - RGSA**, v. 19, n. 10, p. e013692, 2025.

DU, C.; CHEN, J.; JIANG, L.; QIAO, G. High correlation of species diversity patterns between specialist herbivorous insects and their specific hosts. **Journal of Biogeography**, v. 47, n. 6, p. 1232-1245, 2020.

EL-BELTAGI, H. S.; BASIT, A.; MOHAMED, H. I.; ALI, I.; ULLAH, S.; KAMEL, E. A. R.; SHALABY, T. A.; RAMADAN, K. M. A.; ALKHATEEB, A. A.; GHAZZAWY, H. S. Mulching as a sustainable water and soil saving practice in agriculture: A review. **Agronomy**, v. 12, n. 8, p. 1881, 2022.

FERREIRA, A. S.; LEAL, C. C. P.; LEITE, M. S.; BENEDITO, C. P.; DUTRA, A. S.; ALVES,

C. Z.; MORAIS, E. R. C.; PEREIRA, M. D.; PORCEDDU, M.; BACCHETTA, G.; TORRES, S. B. Morphophysiological and biochemical changes in *Enterolobium contortisiliquum* seedlings under abiotic stresses. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20218621, 2023.

FERREIRA, L. V.; PAROLIN, P.; MATOS, D. C.; CUNHA, D. A.; CHAVES, P. P.; NECKEL, S. O. The effect of exotic grass *Urochloa decumbens* (Stapf) RD Webster (Poaceae) in the reduction of species richness and change of floristic composition of natural regeneration in the Floresta Nacional de Carajás, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, p. 589-597, 2016.

FOX, J.; WEISBERG, S. An R companion to applied regression. Sage. **Thousand Oaks**, 2019.

FRANCISCO, B. S.; DUTRA, F. B.; VIVEIROS, E.; DE ALMEIDA, L. S.; SOUZA, M. F.; SOUZA FILHO, P. C.; DA SILVA, J. M. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Can mulch be effective in controlling exotic grasses and promoting natural regeneration in ecological restoration?. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 44, 2022.

GANN, G. D.; MCDONALD, T.; WALDER, B.; ARONSON, J.; NELSON, C. R.; JONSON, J.; HALLETT, J. G.; EISENBERG, C.; GUARIGUATA, M. R.; LIU, J.; HUA, F.; ECHEVERRÍA, C.; GONZALES, E.; SHAW, N.; DECLEER, K.; DIXON, K. International principles and standards for the practice of ecological restoration. **Restoration Ecology**, v. 27, n. S1, p. S1-S46, 2019.

GELY, C.; LAURANCE, S. G. W.; STORK, N. E. How do herbivorous insects respond to drought stress in trees?. **Biological Reviews**, v. 95, n. 2, p. 434-448, 2020.

GENES, L.; DIRZO, R. Restoration of plant-animal interactions in terrestrial ecosystems. **Biological Conservation**, v. 265, p. 109393, 2022.

GOMES, S. V.; CORNELISSEN, T. Shifts in leaf color during ontogeny do not affect herbivory in the tropical tree *Lecythis pisonis* (Lecythidaceae). **Plant Species Biology**, 2025.

GRELA, P.; SZAJWAJ, M.; HORBOWICZ-DROŹDŹAL, P.; TCHÓRZEWSKI, M. How ricin damages the ribosome. **Toxins**, v. 11, n. 5, p. 241, 2019.

GUIA CLIMA. Embrapa Agropecuária Oeste. Disponível em: <https://clima.cpao.embrapa.br/?lc=site/boletins/boletins>. Acesso em: 05 de junho de 2025.

HAMANN, E.; BLEVINS, C.; FRANKS, S. J.; JAMEEL, M. I.; ANDERSON, J. T. Climate change alters plant–herbivore interactions. **New Phytologist**, v. 229, n. 4, p. 1894-1910, 2021.

HEBLING, M. J. A.; MAROTI, P. S.; BUENO, O. C.; DA SILVA, O. A.; PAGNOCCA, F. C. Toxic effects of leaves of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) to laboratory nests of *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 86, n. 3, p. 253-256, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Malhas territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 21 de janeiro de 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA– IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JASROTIA, P.; KUMARI, P.; MALIK, K.; KASHYAP, P. L.; KUMAR, S.; BHARDWAJ, A. K.; SINGH, G. P. Conservation agriculture based crop management practices impact diversity and population dynamics of the insect-pests and their natural enemies in agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1173048, 2023.

KASSAMBARA, A. rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests. R package version 0.7.2., 2019

KOZLOV, M. V.; LANTA, V.; ZVEREV, V.; ZVEREVA, E. L. Global patterns in background losses of woody plant foliage to insects. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 10, p. 1126-1135, 2015.

LARREA-ALCAZAR, D. M.; SIMONETTI, J. A. Why are there few seedlings beneath the myrmecophyte *Triplaris americana*?. **Acta Oecologica**, v. 32, n. 1, p. 112-118, 2007.

LIMA, J. K. A.; CHICUTA, C. P. D. L.; DE MACEDO COSTA, M.; DA COSTA, M. L. A.; GRILLO, L. A. M.; DOS SANTOS, A. F.; GOMES, F. S. Biototoxicity of aqueous extract of *Genipa americana* L. bark on red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst). **Industrial Crops and Products**, v. 156, p. 112874, 2020.

LIMA, T. A.; FERNANDES, K. M.; OLIVEIRA, A. P. S.; DORNELLES, L. P.; MARTINS, G. F.; NAPOLEÃO, T. H.; PAIVA, P. M. Termiticidal lectins from *Myracrodruon urundeuva*

(Anacardiaceae) cause midgut damage when ingested by *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) workers. **Pest Management Science**, v. 73, n. 5, p. 991-998, 2017.

LÓPEZ-GUILLÉN, G.; GÓMEZ-RUIZ, J.; BARRERA, J. F. Arthropod pests and their management, natural enemies and flora visitors associated with castor (*Ricinus communis*), a biofuel plant: a review. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 46, n. 1, 2020.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do brasil. 4.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384p.

MALHOTRA, N.; KELVIN H.; CHEN, K. H. C.; HUANG, J. C.; LAI, H. T.; UAPIPATANAKUL, B.; ROLDAN, M. J. M.; MACABEO, A. P.; GER, T. R.; HSIAO, C. D. Physiological effects of neonicotinoid insecticides on non-target aquatic animals—an updated review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 17, p. 9591, 2021.

MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. The Atlantic Forest. **History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-Diverse Forest**; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, p. 3-24, 2021.

MATILDE DA SILVA, M.; TORRES BOEGER, M. R.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Herbivory Rates and Insect Guilds: Which Leaf Attributes Influence the Food Preference of Each Guild?. **Available at SSRN 5093702**. 2023.

MERCHÁN-GAITÁN, J. B.; MENDES, J. H.; NUNES, L. E.; BUSS, D. S.; RODRIGUES, S. P.; FERNANDES, P. M. The role of plant latex in virus biology. **Viruses**, v. 16, n. 1, p. 47, 2023.

MOREIRA, E. F.; BOSCOLO, D.; VIANA, B. F. Spatial heterogeneity regulates plant-pollinator networks across multiple landscape scales. **PloS one**, v. 10, n. 4, p. e0123628, 2015.

MOTA, M. V. S.; DEMOLIN-LEITE, G. L.; AMARAL, F. L.; SILVA, F. W. S.; VELOSO, R. V. S.; TEIXEIRA, D. L.; GOMES, J. B.; SOUZA, W. A. P.; BARBOSA, F. S. Arthropods on *Sapindus saponaria* (Sapindaceae) saplings as bioindicators for recovery of degraded area. **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, p. e297895, 2025.

PAVELA, R.; KOVAŘÍKOVÁ, K.; NOVÁK, M. Botanical antifeedants: an alternative approach to pest control. **Insects**, v. 16, n. 2, p. 136, 2025.

PIRES, A. C. V.; PEREIRA, S. R.; FERNANDES, G. W.; OKI, Y. Effect of *Brachiaria decumbens* on herbivory and development of two Cerrado native leguminosae species. **Planta Daninha**, v. 30, p. 737-746, 2012.

PRICE, P. W. The plant vigor hypothesis and herbivore attack. **Oikos**, p. 244-251, 1991.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.

RAMOS, M. V.; DEMARCO, D.; DA COSTA SOUZA, I. C.; FREITAS, C. D. T. Laticifers, latex, and their role in plant defense. **Trends in plant science**, v. 24, n. 6, p. 553-567, 2019.

RASETTI-ESCARGUEIL, C.; AVRIL, A. Medical countermeasures against ricin intoxication. **Toxins**, v. 15, n. 2, p. 100, 2023.

REIS, D. L. R. S.; CARNEIRO, A. B.; CRUZ, V. D.; FERNANDES, E. H. M.; KNOECHELMANN, C. M.; SIQUEIRA, F. F. S. Potencial de plantas inseticidas no controle de formigas cortadeiras no Brasil. **Unisanta BioScience**, v. 12, n. 1, p. 17-39, 2023.

REIS, L. K.; GUERRA, A.; COLADO, M. L. Z.; BORGES, F. L. G.; OLIVEIRA, M. D. R.; GONDIM, E. X.; SINANI, T. R.F.; GUERIN, N.; GARCIA, L. C. Which spatial arrangement of green manure is able to reduce herbivory and invasion of exotic grasses in native species?. **Ecological Applications**, v. 29, n. 8, p. e02000, 2019.

SANCHEZ, A. Establishing an ant-plant mutualism: foundress queen mortality and acquiring the third partner. **Insectes sociaux**, v. 63, n. 1, p. 155-162, 2016.

SANCHEZ, A. Fidelity and promiscuity in an ant-plant mutualism: a case study of *Triplaris* and *Pseudomyrmex*. **PloS one**, v. 10, n. 12, p. e0143535, 2015.

SANCHEZ, A.; BELLOTA, E. Protection against herbivory in the mutualism between *Pseudomyrmex dendroicus* (Formicidae) and *Triplaris americana* (Polygonaceae). **Journal of Hymenoptera Research**, v. 46, p. 71-83, 2015.

SANCHEZ, A.; KRON, K. A. Phylogenetic relationships of *Triplaris* and *Ruprechtia*: Re-Delimitation of the recognized genera and two new genera for Tribe Triplarideae (Polygonaceae). **Systematic Botany**, v. 36, n. 3, p. 702-710, 2011.

SOUZA, T. E. M. D. S.; GONCALVES, E. P.; PEREIRA, D. S.; SANTOS, L. M. D.; MACHADO, L. S.; SOUZA, E. R. D. Reducing erosion in sorghum crops with mulching. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 730-736, 2018.

TORRES, M. F.; SANCHEZ, A. Neotropical ant-plant *Triplaris americana* attracts *Pseudomyrmex mordax* ant queens during seedling stages. **Insectes sociaux**, v. 64, n. 2, p. 255-261, 2017.

XU, C.; SILLIMAN, B. R.; CHEN, J.; LI, X.; THOMSEN, M. S.; ZHANG, Q.; LEE, J.; LEFCHECK, J. S.; DALEO, P.; HE, Q. Herbivory limits success of vegetation restoration globally. **Science**, v. 382, n. 6670, p. 589-594, 2023.

ZHANG, S.; ZHANG, Y.; MA, K. The association of leaf lifespan and background insect herbivory at the interspecific level. **Ecology**, v. 98, n. 2, p. 425-432, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Este apêndice apresenta o script desenvolvido na linguagem R, utilizado para a realização das análises estatísticas referentes à incidência de herbivoria.

```
# Autora: Gabrielli Duarte dos Santos
# Data:10 nov. 2025

# =====
# INCIDÊNCIA DE HERBIVORIA
# =====

# Carregamento dos pacotes
library(readxl)
library(dplyr)
library(dlookr)
library(rstatix)
library(car)
library(ggplot2)
library(multcompView)
library(ggtext)

# Leitura dos dados
dados_fh <- read_excel("dados.xlsx", sheet = 6)
head(dados_fh)

# VERIFICAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS

# Teste de normalidade (Shapiro-Wilk)
by(dados_fh$FH, dados_fh$esp, shapiro.test) # Por espécie
by(dados_fh$FH, dados_fh$trat, shapiro.test) # Por tratamento

# Teste de homocedasticidade (Levene)
leveneTest(FH ~ esp, data = dados_fh)      # Por espécie
leveneTest(FH ~ trat, data = dados_fh)     # Por tratamento

# Avaliação visual da distribuição
fh_esp <- data.frame(esp = dados_fh$esp, FH = dados_fh$FH)
fh_trat <- data.frame(trat = dados_fh$trat, FH = dados_fh$FH)

plot_normality(fh_esp)
plot_normality(fh_trat)

# TRANSFORMAÇÕES
dados_fh <- dados_fh %>%
  mutate(
    log_fh = log(FH + 1),
    sqrt_fh = sqrt(FH + 0.5),
    inv_fh = 1 / (FH + 1)
  )

# Normalidade das transformações por espécie
```

```

dados_fh %>% group_by(esp) %>% shapiro_test(log_fh)
dados_fh %>% group_by(esp) %>% shapiro_test(sqrt_fh)
dados_fh %>% group_by(esp) %>% shapiro_test(inv_fh)

# Normalidade das transformações por tratamento
dados_fh %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(log_fh)
dados_fh %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(sqrt_fh)
dados_fh %>% group_by(trat) %>% shapiro_test(inv_fh)

# TESTES NÃO PARAMÉTRICOS

# Dataset agregado por indivíduo (ID)
dados_acum <- dados_fh %>%
  group_by(ID, trat, esp) %>%
  summarise(
    NFA_total = sum(NFA, na.rm = TRUE),
    NFT_total = sum(NFT, na.rm = TRUE),
    FH_total = NFA_total / NFT_total,
    .groups = "drop"
  )

# Kruskal-Wallis por espécie
kruskal.test(FH_total ~ esp, data = dados_acum)

# Post-hoc Dunn-Bonferroni por espécie
ph_esp <- dunn_test(FH_total ~ esp, data = dados_acum,
  p.adjust.method = "bonferroni")

# Letras de agrupamento (espécies)
tmp <- as.data.frame(ph_esp) %>% arrange(-statistic)
comp <- tmp$p.adj <= 0.05
names(comp) <- paste0(tmp$group2, "-", tmp$group1)
letras_esp <- multcompLetters(comp)
letras_esp

# Médias por espécie
media_fh_esp <- tapply(dados_acum$FH_total, dados_acum$esp,
  mean, na.rm = TRUE)
print(media_fh_esp)

# Kruskal-Wallis por tratamento
kruskal.test(FH_total ~ trat, data = dados_acum)

# Post-hoc Dunn-Bonferroni por tratamento
ph_trat <- dunn_test(FH_total ~ trat, data = dados_acum,
  p.adjust.method = "bonferroni")

# Letras de agrupamento (tratamentos)
tmp <- as.data.frame(ph_trat) %>% arrange(-statistic)
comp <- tmp$p.adj <= 0.05
names(comp) <- paste0(tmp$group2, "-", tmp$group1)
letras_trat <- multcompLetters(comp)
letras_trat

# Médias por tratamentos
media_fh <- tapply(dados_acum$FH_total, dados_acum$trat,
  mean, na.rm = TRUE)
print(media_fh)

# GRÁFICO POR ESPÉCIES

```

```

# Ajustando nomes científicos das espécies
dados_acum$esp <- factor(
  dados_acum$esp,
  levels = c("ARO", "JAR", "GEN", "ORE", "PAU", "SAB"),
  labels = c("A. urundeuva", "J. spinosa", "G. americana",
             "E. contortisiliquum", "T. americana", "S. saponaria")
)

# Paleta de cores
cores_esp <- c(
  "firebrick3", "darkorange2", "gold1",
  "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3"
)

g.esp <- ggplot(dados_acum, aes(esp, FH_total, fill = esp)) +
  geom_boxplot() +
  stat_summary(fun = mean, geom = "point", shape = 3, size = 3, color =
"black") +
  scale_fill_manual(
    values = cores_esp,
    labels = c("<i>A. urundeuva</i>", "<i>J. spinosa</i>", "<i>G.
americana</i>",
              "<i>E. contortisiliquum</i>", "<i>T. americana</i>",
              "<i>S. saponaria</i>"),
    name = "Espécies"
  ) +
  labs(x = "Espécies", y = "Incidência de herbivoria") +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    axis.text.x = element_blank(),
    axis.ticks.x = element_blank(),
    legend.position = "right",
    legend.justification = c(0, 1),
    plot.margin = margin(10, 50, 10, 10),
    legend.text = element_markdown()
  )
g.esp

# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1000 x 700 px

# GRÁFICO POR TRATAMENTOS

# Identificação dos tratamentos
nomes_trat <- c(
  "T1- Meia-lua", "T2- Coroamento",
  "T3- Meia-lua + Palha", "T4- Coroamento + Palha",
  "T5- Meia-lua + Mamona", "T6- Coroamento + Mamona",
  "T7- Meia-lua + Palha + Mamona",
  "T8- Coroamento + Palha + Mamona",
  "T9- Controle"
)

# Aplicar nomes e ordem dos tratamentos
dados_acum$trat <- factor(
  dados_acum$trat,
  levels = paste0("T", 1:9),
  labels = nomes_trat
)

# Cores dos tratamentos

```

```

cores_trat <- c(
  "firebrick3", "darkorange2", "gold1",
  "darkolivegreen2", "darkolivegreen4", "deepskyblue3",
  "deepskyblue4", "darkorchid3", "gray25"
)

g.trat <- ggplot(dados_acum, aes(x = trat, y = FH_total, fill = trat)) +
  geom_boxplot() +
  stat_summary(
    fun = mean,
    geom = "point",
    shape = 3,
    size = 3,
    color = "black"
  ) +
  scale_fill_manual(
    values = cores_trat,
    labels = nomes_trat,
    name = "Tratamentos"
  ) +
  labs(
    x = "Tratamentos",
    y = "Incidência de herbivoria"
  ) +
  theme_classic(base_size = 20) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    axis.text.x = element_blank(),
    axis.ticks.x = element_blank(),
    legend.position = "right",
    legend.justification = c(0, 1),
    legend.key.size = unit(0.9, "cm"),
    plot.margin = margin(10, 50, 10, 10)
  )
g.trat

# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1400 x 1000 px

# INCIDÊNCIA DE HERBIVORIA AO LONGO DO TEMPO

# Criar coluna FH em porcentagem
dados_fh$FH_perc <- dados_fh$FH * 100

# GRÁFICO POR TRATAMENTO

# Média por tratamento em cada tempo
dados_fh_media <- dados_fh %>%
  group_by(trat, ava) %>%
  summarise(FH_perc = mean(FH_perc, na.rm = TRUE),
            .groups = "drop")

#Nomes dos tratamentos
dados_fh_media$trat <- factor(
  dados_fh_media$trat,
  levels = paste0("T", 1:9),
  labels = nomes_trat
)

# Ordem correta do tempo
dados_fh_media$ava <- as.numeric(dados_fh_media$ava)
head(dados_fh_media)

```

```

# Meses do eixo X
meses <- c("mai", "mai", "jun", "jun", "jul", "jul", "ago", "ago",
          "set", "set", "out", "out", "nov", "nov", "dez", "dez",
          "jan", "jan", "fev", "fev", "mar", "mar", "abr", "abr")

# Gráfico
ggplot(dados_fh_media,
       aes(x = ava, y = FH_perc, color = trat, group = trat)) +
  geom_line(linewidth = 1.2) +
  geom_point(size = 2) +
  scale_color_manual(values = cores_trat) +
  scale_x_continuous(breaks = 1:24, labels = meses) +
  labs(x = "",
       y = "Incidência de herbivoria (%)",
       color = "Tratamentos") +
  theme_classic(base_size = 14) +
  theme(
    text = element_text(family = "serif"),
    legend.position = "right",
    axis.line = element_line(color = "black"),
    panel.grid = element_blank()
  )

# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1400 x 1000 px

# GRÁFICO POR ESPÉCIE

# Média por espécie em cada tempo
dados_fh_media <- dados_fh %>%
  group_by(esp, ava) %>%
  summarise(FH_perc = mean(FH_perc, na.rm = TRUE),
            .groups = "drop")

# Ordem correta do tempo
dados_fh_media$ava <- as.numeric(dados_fh_media$ava)
head(dados_fh_media)

# Meses do eixo X
meses <- c("mai", "mai", "jun", "jun", "jul", "jul", "ago", "ago",
          "set", "set", "out", "out", "nov", "nov", "dez", "dez",
          "jan", "jan", "fev", "fev", "mar", "mar", "abr", "abr")

# Gráfico
dados_fh_media$esp <- factor(
  dados_fh_media$esp,
  levels = c("ARO", "JAR", "GEN", "ORE", "PAU", "SAB"),
  labels = c("A. urundeuva", "J. spinosa", "G. americana",
            "E. contortisiliquum", "T. americana", "S. saponaria")
)

ggplot(dados_fh_media,
       aes(x = ava, y = FH_perc, color = esp, group = esp)) +
  geom_line(linewidth = 1.2) +
  geom_point(size = 2) +
  scale_color_manual(
    values = cores_esp,
    labels = paste0("<i>", levels(dados_fh_media$esp), "</i>")
  ) +
  scale_x_continuous(breaks = 1:24, labels = meses) +
  labs(x = "",

```

```
    y = "Incidência de herbivoria (%)",
    color = "Espécies") +
theme_classic(base_size = 14) +
theme(
  text = element_text(family = "serif"),
  legend.position = "right",
  axis.line = element_line(color = "black"),
  panel.grid = element_blank(),
  legend.text = element_markdown()
)
# Observação: imagem do gráfico salva com dimensões de 1400 x 1000 px
```

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enquanto *Genipa americana* apresentou alta sobrevivência associada a elevados níveis de herbivoria, o que indica elevada tolerância ao dano foliar, *Astronium urundeuva* apresentou alta sobrevivência com baixa incidência de herbivoria, o que sugere maior eficiência em estratégias de defesa.

Por outro lado, *Jacaratia spinosa* apresentou alta mortalidade, mas os indivíduos sobreviventes exibiram estratégia de rápido crescimento e elevada resistência à herbivoria. Esse padrão é particularmente relevante para investigações futuras, pois a síntese de defesas químicas impõe um elevado custo metabólico às plantas, que frequentemente enfrentam um dilema na alocação de recursos entre crescimento e defesa, comumente conhecida como “*growth–defense trade-off*”. Ressalta-se, contudo, que este estudo apresentou limitações, uma vez que as perdas expressivas de *J. spinosa* ao longo das avaliações podem ter resultado em menor disponibilidade de recursos para os herbívoros. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros considerem essa limitação.

Além disso, a baixa incidência de herbivoria em alguns tratamentos pode também refletir menor atratividade para outros grupos funcionais, como polinizadores e dispersores, sendo recomendável que estudos futuros investiguem esses possíveis efeitos sobre múltiplas interações ecológicas.

O coroamento e o controle apresentaram elevada sobrevivência das mudas mesmo sob condições de altas temperaturas e baixa umidade do solo. Nesse contexto, as espécies selecionadas demonstraram elevada capacidade de tolerância, possivelmente associada ao fato de serem nativas e adaptadas às condições edáficas e climáticas locais. Além disso, a manutenção da camada superficial do solo, geralmente mais fértil, nesses tratamentos pode ter contribuído para esse desempenho.

Embora a meia-lua com cobertura de mamona tenha proporcionado melhores condições edáficas (temperatura e umidade) e maior crescimento, apresentou baixa sobrevivência. Esse padrão sugere um ambiente mais seletivo, no qual apenas indivíduos mais tolerantes aos efeitos da cobertura (como a fermentação) conseguiram se estabelecer. Os indivíduos sobreviventes, por apresentarem crescimento mais acelerado, podem apresentar vantagem competitiva em fases posteriores da restauração.