



INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CÂMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESEMPENHO DO TRATAMENTO COM BIOINSUMO E MICRO-ONDAS EM
SEMENTES NATIVAS DE BARU**

Vytoria Eduarda Dias Rosa

URUTAÍ – GO

Setembro de 2025

Vytoria Eduarda Dias Rosa

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora:

Prof.^a Dra. Rute Quelvía de Faria

URUTAÍ – GO

Setembro de 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R789d Rosa, Vytoria Eduarda Dias
Desempenho do tratamento com bioinsumo e micro-ondas em
sementes nativas de baru / Vytoria Eduarda Dias Rosa. Urutaí
2025.

36f. il.

Orientadora: Prof^a. Dra. Rute Quelvã de Faria.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120064 -
Bacharelado em Engenharia Agrícola - Urutaí (Campus Urutaí).
1. Semente. 2. Sementes florestais. 3. Superação da dormência. 4.
Tratamento alternativo. 5. Tecnologia de sementes. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo: <u>Trabalho de curso</u> | |

Nome completo do autor:
Vytoria Eduarda Dias Rosa

Matrícula:
2020101200640339

Título do trabalho:
Desempenho do tratamento com bioinsumo e micro-ondas em sementes nativas de baru

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 12 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
VYTORIA EDUARDA DIAS ROSA
Data: 04/12/2025 14:17:49 -0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

URUTAI

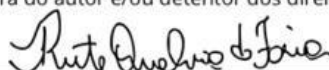
Local

01 / **12** / **2025**

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 10/2025 - CCBEA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) vinte e nove dia(s) do mês de setembro de 2025, às 10 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Rute Quelvia de Faria (orientadora), Amanda Rithieli Pereira dos Santos (membro), Milton Luiz da Paz Lima (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "DESEMPENHO DO TRATAMENTO COM BIOINSUMO E MICRO-ONDAS EM SEMENTES NATIVAS DE BARU" do(a) estudante Vytoria Eduarda Dias Rosa, Matrícula nº2020101200640339 do Curso de Engenharia Agrícola do IF Goiano – Campus Urutaí. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Rute Quelvia de Faria

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Amanda Rithieli Pereira dos Santos

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Milton Luiz da Paz Lima

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rute Quelvã de Faria**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 25/11/2025 15:51:32.
- **Amanda Rithieli Pereira dos Santos**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 25/11/2025 15:55:29.
- **Milton Luiz da Paz Lima**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 25/11/2025 16:12:02.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 25/11/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 766382

Código de Autenticação: 904fe01649



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutai

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus primeiramente, por me conceder forças, saúde e coragem para chegar até aqui, iluminando meus passos em todos os momentos desta caminhada.

A minha mãe Luciana e meus avós Maria e Divino, que sempre acreditaram no meu potencial e me mostraram, com amor e paciência, que eu era capaz de conquistar meus sonhos. A presença e apoio de vocês foram fundamentais para que eu não desistisse, mesmo nos dias mais difíceis.

Ao meu marido Mauricio, que esteve comigo em todos os momentos, oferecendo apoio, compreensão e palavras de encorajamento. Seu companheirismo foi essencial para que eu tivesse equilíbrio e serenidade nesta jornada.

Não posso deixar de mencionar a minha amiga Lara, que sempre me ajudou e esteve ao meu lado, oferecendo apoio constante, incentivo e amizade verdadeira. Sua presença foi fundamental em muitos momentos dessa caminhada.

Sou grata a todos os professores que fizeram parte dessa caminhada, em especial minha orientadora Rute Quêlvia, que acreditou em mim mesmo quando eu duvidava da minha capacidade. Sua dedicação, paciência e confiança foram essenciais para que este trabalho fosse possível.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, deixo aqui a minha sincera gratidão.

RESUMO

O baru (*Dipteryx alata* Vog.) é uma espécie chave do Cerrado com crescente potencial econômico, porém a produção de mudas é limitada pela baixa e desuniforme qualidade fisiológica de suas sementes. Buscando superar esses desafios, este estudo investigou o impacto de tecnologias sustentáveis na germinação e no vigor de sementes de baru. A metodologia envolveu a classificação das sementes em três grupos (claras, escuras e danificadas) e a aplicação de tratamentos físicos (micro-ondas) e biológicos (*Trichoderma* spp.), de forma isolada e combinada. Os resultados indicaram que os tratamentos isolados foram mais eficazes que suas combinações. A termoterapia destacou-se por promover um desenvolvimento superior das plântulas, enquanto o tratamento biológico acelerou significativamente a velocidade de germinação. Essas descobertas apontam para novas estratégias que podem otimizar a produção de mudas e fortalecer programas de restauração do Cerrado.

Palavras-chave: Cerrado; sementes florestais; superação de dormência; tratamento alternativo; tecnologia de sementes.

ABSTRACT

Baru (*Dipteryx alata* Vog.), a key species of the Cerrado with growing economic potential, faces limitations in seedling production due to the low and uneven physiological quality of its seeds. Seeking to overcome these challenges, this study investigated the impact of sustainable technologies on the germination and vigor of baru seeds. The methodology involved classifying the seeds into three groups (light-colored, dark-colored, and damaged) and applying physical (microwave) and biological (*Trichoderma* spp.) treatments, both individually and in combination. The results indicated that the individual treatments were surprisingly more effective than their combinations. Thermotherapy stood out for promoting superior seedling development, while the biological treatment significantly accelerated germination speed. These findings point to new strategies that can optimize seedling production and strengthen Cerrado restoration programs.

KEYWORDS: Cerrado; forest seeds; dormancy breaking; alternative treatment; seed technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sementes de baru classificadas nos grupos “danificadas (D)”, “claras (C)” e “escuras (E)”	10
Figura 2. Plântula normal de baru em desenvolvimento	13
Figura 3. Boxplot da Protrusão da radícula com o controle e controle geral.....	15
Figura 4. Boxplot da protrusão da radícula	16
Figura 5. Boxplot da Primeira contagem.....	17
Figura 6. Boxplot do comprimento médio de folhas (a), hipocótilo (b) e raiz (c).....	19
Figura 7. Boxplot da massa fresca da folha (a), hipocótilo (b) e raiz (c)	21
Figura 8. Boxplot da massa seca da folha (a), hipocótilo (b) e raiz (c).....	24
Figura 9. Curvas de embebição de sementes de baru pertencentes aos grupos claras (a), danificadas (b) e escuras (c)	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos aplicados nas sementes de baru	11
Tabela 2. Parâmetros do modelo Bleasdale YD, ajustado para a curva de absorção de água	27
Tabela 3. Tempo médio para 50% de germinação (T50).....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAS E METODOS.....	10
2.1 Teor de água.....	12
2.2 Teste de germinação	12
2.2.1 Teste de primeira contagem	12
2.3 Comprimento de plântula, Massa Fresca e Massa seca.....	12
2.4 Curva de embebição e T50.....	13
2.5 Tratamento estatístico	14
3. RESULTADOS.....	14
3.1 Teste Padrão de Germinação	16
3.2 Teste da Primeira contagem	17
3.3 Comprimento de plântula.....	18
3.4 Massa Fresca e Massa seca	20
3.4.1 Massa Fresca	20
3.4.2 Massa Seca	22
3.5 Curva de Embebição	25
3.6 Análise do Tempo de germinação T50	28
4. DISCUSSÕES	29
5. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	33

1. INTRODUÇÃO

O baru (*Dipteryx alata* Vog.) é uma espécie nativa do Cerrado, com grande importância alimentar e cultural para comunidades tradicionais. A amêndoa é a parte mais explorada e comercializada, enquanto a polpa e a casca geralmente são descartadas. O Brasil lidera a produção, com cerca de 117 toneladas, principalmente em Goiás e Mato Grosso do Sul (Egea et al., 2023; Nunes et al., 2024). No mercado de proteínas alternativas, o baru apresenta um grande potencial, devido ao alto teor proteico, baixo conteúdo de gordura saturada e colesterol, além do aproveitamento de subprodutos, embora ainda haja desafios para ampliar sua produção (Egea et al., 2023; Da Rocha et al., 2022).

As sementes nativas são essenciais para a restauração de ecossistemas, muitas vezes superando a regeneração natural em áreas abertas. Contudo, a coleta em larga escala não é sustentável, tornando necessária a multiplicação das sementes (Elzenga; Bekker; Pritchard, 2019). Nesse processo, a dormência física é um entrave, pois impede a germinação mesmo em condições favoráveis, regulada por fatores físicos ou fisiológicos (Penfield, 2017). Apesar de ser um mecanismo adaptativo, pode dificultar programas de produção de mudas, exigindo técnicas para sua superação (Kildisheva et al., 2020).

Entre os métodos utilizados estão a escarificação mecânica, os tratamentos térmicos e o uso de reguladores vegetais. Uma alternativa promissora é a termoterapia por magnetopriming (micro-ondas), que submete as sementes à radiação eletromagnética por tempo controlado, promovendo alterações bioquímicas que favorecem a germinação (Sarraf et al., 2021; Das Neves et al., 2025). Essa técnica é rápida, não gera resíduos, pode ser aplicada em larga escala e está associada ao aumento do vigor, da uniformidade da germinação e da tolerância a estresses (Chirico et al., 2023).

Outro fator limitante é a contaminação por fungos em lotes comerciais. Para esse problema, o uso de *Trichoderma* sp. surge como alternativa ao controle químico. A *Trichoderma* sp. é um fungo simbiote, oportunista e virulento, com ação no biocontrole de patógenos, na promoção do crescimento vegetal e na manutenção da microbiota benéfica do solo (Sood et al., 2020; Das Neves et al., 2025). Diferentes isolados podem aumentar a taxa e a velocidade de germinação, estimular o

crecimento inicial e a qualidade das plântulas, sendo aplicados por biopriming ou suspensão de esporos (Santos et al., 2020; Sood et al., 2020).

O objetivo deste trabalho foi testar estratégias isoladas e combinadas para superação da dormência e controle de microrganismos, por meio da termoterapia em microondas e da inoculação com *Trichoderma* sp., visando aumentar a eficiência germinativa e a produção de mudas.

2. MATERIAL E METODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Pós-Colheita do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí. As sementes de baru utilizadas são encontradas para a compra e estas foram adquiridas por meio de compra no mercado digital, com finalidade de plantio, provenientes de colheita realizada no município de Pirenópolis – GO, durante o ano de 2023, pertencentes a um único lote.

As sementes obtidas foram classificadas em três grupos distintos: claras (C), escuras (E) e danificadas (D), conforme mostrado na Figura 1.

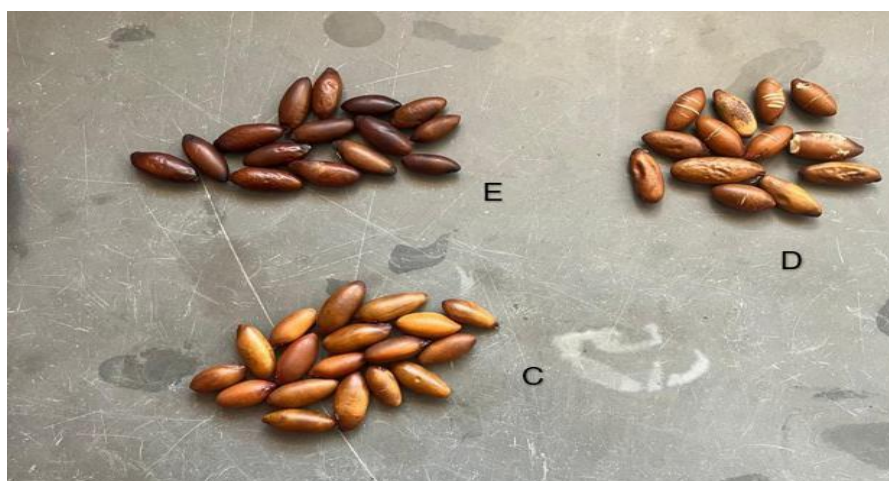


Figura 1: Sementes de baru classificadas nos grupos “danificadas (D)”, “claras (C)”, “escuras (E)”.

Após a classificação foram definidos tratamentos específicos para cada grupo de sementes, envolvendo a aplicação de termoterapia via micro-ondas e a inoculação com *Trichoderma* sp., de forma isolada ou combinada. Os tempos de exposição ao micro-ondas foram determinados com base nos resultados dos testes preliminares: 40 segundos para sementes claras e escuras, e 20 segundos para sementes danificadas, sempre sob potência de 83,66 watts.

A inoculação com *Trichoderma* sp. foi realizada por meio da embebição das sementes em 50 mL de polissorbato contendo 2000 ppm do microrganismo, acrescida de surfactante Tween para melhor adesão dos esporos. As sementes que receberam ambos os tratamentos foram submetidos à exposição térmica antes da inoculação, mantendo a ordem dos procedimentos padronizada em todos os grupos.

A Tabela 1 contém a descrição dos tratamentos realizados, conforme o grupo de sementes e as combinações de técnicas aplicadas.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos aplicados às sementes de baru, conforme grupo e intervenções adotadas.

Tratamentos		
Claras	C0s	Sementes de cores claras, (controle – sem tratamento).
	C0s+T	Sementes de cores claras, inoculadas com <i>Trichoderma</i> sp.
	C40s	Sementes de cores claras, tratadas com microondas por 40 segundos.
	C40s+T	Sementes de cores claras, tratadas com microondas por 40 segundos e inoculadas com <i>Trichoderma</i> sp.
Danificadas	D0s	Sementes danificadas, (controle – sem tratamento).
	D0s+T	Sementes danificadas, inoculadas com <i>Trichoderma</i> sp.
	D20s	Sementes danificadas, tratadas com microondas por 20 segundos.
	D20s+T	Sementes danificadas, tratadas com microondas por 20 segundos e inoculadas com <i>Trichoderma</i> sp.
Escuras	E0s	Sementes de cores escuras, (controle – sem tratamento).
	E0s+T	Sementes de cores escuras, inoculadas com <i>Trichoderma</i> sp.
	E40s	Sementes de cores escuras, tratadas com microondas por 40 segundos.
	E40s+T	Sementes de cores escuras, tratadas com microondas por 40 segundos e inoculadas com <i>Trichoderma</i> sp.
Controle geral	Controle	Sementes homogeneizadas – sem separação por cor

Antes da definição dos tratamentos, foi realizado um pré-teste para avaliar a influência da coloração do tegumento e do tempo de exposição ao micro-ondas na germinação das sementes de baru. Observou-se que as sementes mais escuras apresentaram maior germinação em relação às claras e às danificadas, o que levou à classificação em três grupos: claras (C), danificadas (D) e escuras (E). Nos testes de exposição ao micro-ondas, verificou-se melhor desempenho das sementes claras e escuras a 40 segundos, e das danificadas a 20 segundos, parâmetros que foram adotados nos tratamentos do experimento principal.

A escolha dos tratamentos considerou a necessidade de avaliar os efeitos isolados e combinados da termoterapia e do biocontrolador sobre sementes com diferentes características visuais e possíveis níveis de qualidade fisiológica. O delineamento adotado possibilitou investigar a resposta específica de cada grupo de sementes, considerando as variações fisiológicas associadas à coloração e ao estado de integridade externa.

Os testes das sementes realizados foram:

2.1 Teor de água

O teste foi realizado separadamente para cada grupo experimental (claras, escuras e danificadas). As amostras foram levadas à estufa a 105°C por 24 horas, conforme a metodologia descrita por ISTA (1999). Após esse período, as sementes foram novamente pesadas para a determinação da perda de água.

Testes de qualidade:

2.2 Teste de germinação

A análise do TPG foi realizada com quatro repetições de 20 sementes para cada tratamento. As sementes foram distribuídas em rolos de papel de germinação, previamente umedecidos com água no volume equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram acondicionados verticalmente em câmara de germinação, que foi mantida a 24 °C, com fotoperíodo, por 14 dias. Após esse período, fêz-se a leitura das plântulas que germinaram, considerando a protrusão da radícula mínima de 2mm.

2.2.1 Teste da Primeira Contagem:

O Teste da Primeira contagem foi realizada no sétimo dia após a instalação do teste TPG, considerando como germinadas as sementes que apresentaram plântulas normais. O número de plântulas de cada tratamento foi transformado em percentual para análise dos dados (ISTA, 1999).

2.3 Comprimento de plântula, Massa Fresca e Massa seca

Para análise do comprimento de plântulas foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes por tratamento. Colocadas para germinar em papel de germinação

umedecido com 2,5 vezes o seu peso, foram usados dois papéis embaixo das sementes e um por cima. Os rolos de papel, já com as sementes dispostas seguindo uma linha no terço superior da folha, foram colocados em sacos plásticos, selados, e acomodados em câmara de germinação à 24 °C, com fotoperíodo, por 14 dias. Ao final desse período, foram realizadas medições individuais do comprimento das principais estruturas das plântulas: raiz, hipocótilo e folhas. As medições foram realizadas com o auxílio de uma régua milimetrada (ISTA, 1999).



Figura 2: Plântula normal de baru (*Dipteryx alata* Vog.) apresentando raiz primária, hipocótilo e folhas primárias em desenvolvimento.

Em seguida, as estruturas raiz, hipocótilo e folhas de cada repetição, foram levadas para a determinação da sua massa fresca, utilizando balança de precisão de 0,0001g. Após a pesagem, as amostras foram conduzidas para estufa à 65 °C por cinco dias, para determinação da massa seca (ISTA, 1999).

2.4 Curva de embebição e T50

A curva de embebição foi obtida por meio das sementes previamente pesadas, individualmente, em balança de precisão de 0,0001 g. As sementes foram então distribuídas em três repetições contendo 10 sementes, para cada tratamento. As sementes foram dispostas em placas de Petri, mantidas em temperatura ambiente, contendo papel germinativo, sendo duas folhas na base e uma folha sobre as sementes.

Em cada repetição foi adicionada 10 mL de água tratada, e durante o período de embebição, as sementes foram pesadas em balança de precisão de 0,0001g em intervalos regulares de 3, 6, 12 e 24 horas, para cada pesagem, tomou-se o cuidado de previamente retirar o excesso de água de contato, ficando apenas a água embebida pela semente.

2.5 Tratamento estatístico:

A análise estatística foi conduzida em delineamento experimental simples (DIC simples) por meio dos testes de comparações múltiplas utilizando o pacote `agricolae::kruskal()`, do software R versão 3.3.1. A verificação preliminar indicou que os dados não apresentaram normalidade, motivo pelo qual foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 0,05, com um método de agrupamento baseado em ranks médios, semelhante ao Dunn ou Student-Newman-Keuls, que atribui letras indicando quais grupos são estatisticamente diferentes (Mendiburu, 2023).

A modelagem da curva de embebição foi realizada por meio do software CurveExpert®, que permitiu o ajuste de uma equação matemática aos dados experimentais, proporcionando uma representação mais precisa do padrão de absorção de água pelas sementes. Simultaneamente, com base nos dados obtidos experimentalmente, foi estimado o tempo necessário para que as sementes atingissem 50% da embebição total (T50), utilizando análise estatística por meio de um modelo de regressão ajustado com o método de modelos lineares generalizados (GLM), possibilitando uma estimativa precisa desse parâmetro fisiológico (Santos, 2022).

3. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os efeitos dos diferentes tratamentos na qualidade das sementes de baru. O teor de água inicial variou em torno de 1% entre os tratamentos em relação ao controle, indicando alterações moderadas promovidas pela exposição térmica e pela inoculação com *Trichoderma* sp. Os valores médios observados foram de 8,275% para as sementes claras (C0S), 8,326% para as sementes escuras (E0S) e 8,347% para as sementes danificadas (D0S).

A classificação inicial feita no lote de sementes apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, (claras, danificadas e escuras), evidenciando a necessidade de se fazer uma seleção inicial no lote para se obter melhor desempenho na qualidade de sementes dessa espécie. (Figura 2).

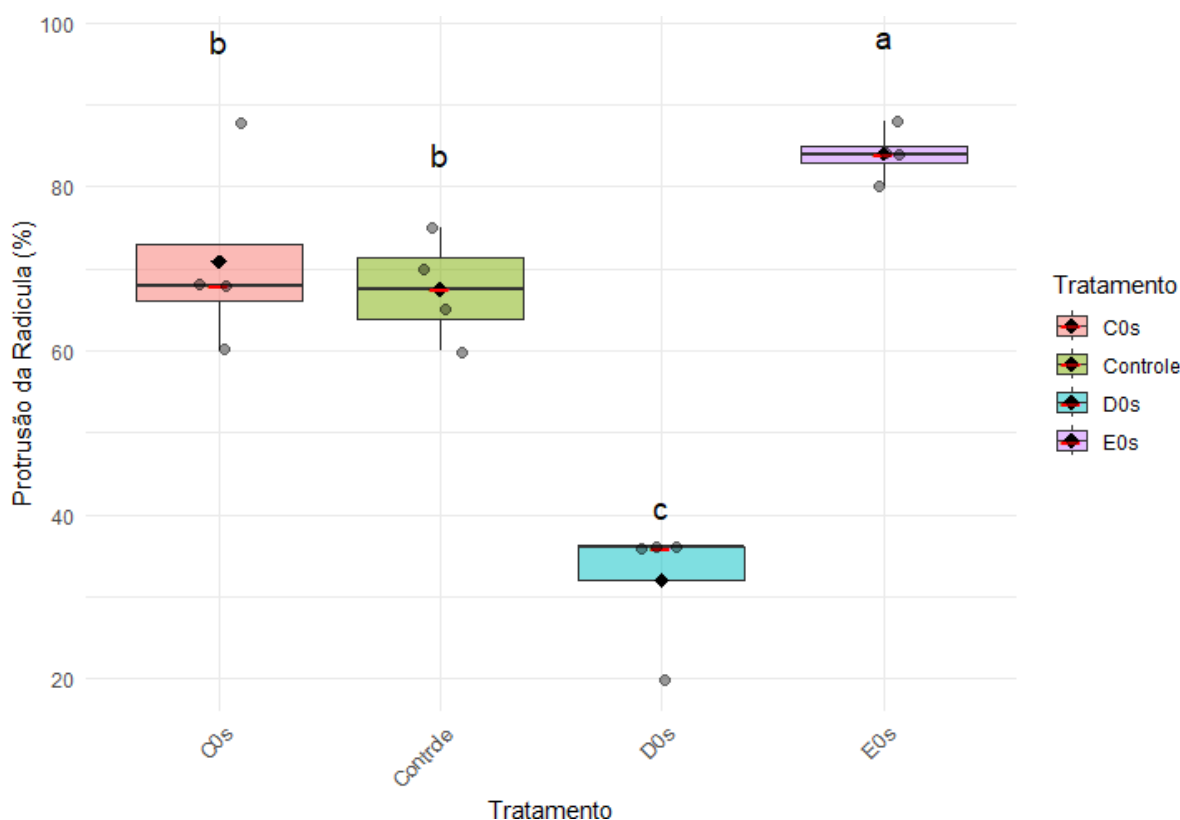


Figura 3: Protrusão da radícula (%) em sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) classificadas quanto à coloração e danos visíveis: claras (C0s), danificadas (D0s) e escuras (E0s), além do controle geral (sementes sem classificação). As letras distintas indicam diferenças significativas entre os grupos pelo teste de comparação múltipla ($p < 0,05$).

Pela Figura 2 vê-se que as sementes escuras (E0s) tiveram o melhor desempenho na germinação atingindo o índice de 84%, e diferiu significativamente das sementes claras (C0s) (64%) e pelo controle (sementes sem classificação) (63%). As sementes danificadas (D0s) apresentaram o menor índice de germinação (36%),

evidenciando que os danos visíveis no tegumento, afetam drasticamente a qualidade do lote.

Embora a literatura indique que a variação na cor do tegumento das sementes de *Dipteryx alata* não é suficiente para a formação de grupos morfológicos distintos (Sano; Spehar, 1999), neste estudo a coloração foi considerada um critério importante para a avaliação fisiológica das sementes, uma vez que refletiu diferenças significativas nos resultados dos testes realizados.

Tendo como base o resultado do teste de germinação prévio, das sementes classificadas por cor e por danos visíveis ao seu tegumento, explicitamos na sequência, cada análise realizada, considerando os grupos definidos na classificação inicial deste trabalho.

3.1 Teste Padrão de Germinação

O teste padrão de germinação, para cada tratamento aplicado está apresentado na Figura 3. Nele novamente fica evidenciado que o grupo das sementes escuras obteve um bom desempenho germinativo, quando comparado aos demais, em todos os tratamentos estudados.

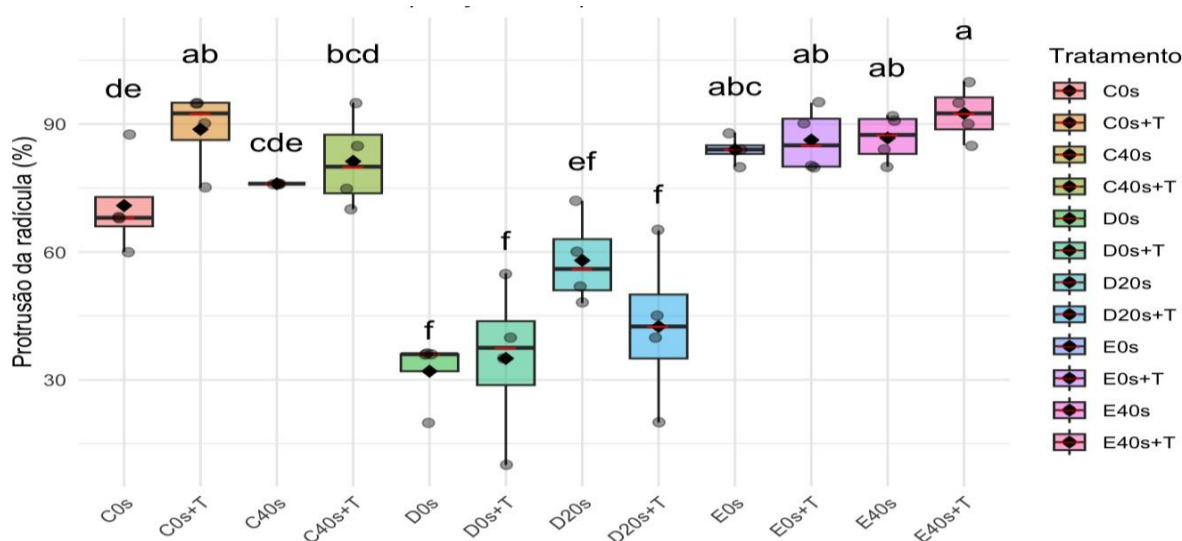


Figura 4: O boxplot mostra a porcentagem de protrusão da radícula em sementes de baru submetidas a diferentes tratamentos, considerando coloração das sementes (C: clara, D: danificada, E: escura). Os tratamentos aplicados foram: C0s: sementes claras sem tratamento; C0s+T: sementes claras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; C40s: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; C40s+T: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; D0s: sementes danificadas sem tratamento; D0s+T: sementes danificadas tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; D20s: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos; D20s+T: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; E0s:

sementes escuras sem tratamento; E0s+T: sementes escuras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; E40s: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; E40s+T: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.. A linha horizontal representa a mediana e o losango preto, a média. Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Entre os tratamentos com as sementes claras, a aplicação da *Trichoderma* sp, apresentou-se significativamente superior aos demais tratamentos e ao controle C0s, este tratamento também não se diferiu estatisticamente aos aplicados nas sementes escuras. As sementes danificadas tiveram o menor índice de germinação, contudo a aplicação das microondas (D20s) neste grupo, produziu um incremento na germinação dessas sementes significativo, quando comparado aos demais tratamentos, nas sementes do mesmo grupo. A exposição às microondas aumentou de 38% (D0s), para 58% (D20s) o índice percentual de germinação na média geral de cada tratamento, confirmando um efeito bioestimulante, mesmo para sementes com danos visíveis.

3.2 Teste da Primeira contagem

O teste da Primeira contagem, avaliou as plântulas normais, obtidas ao sétimo dia de germinação do TPG. Nesta análise, os grupos C0s, C40s, E0s e E40s, foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos aplicados. (Figura 4)

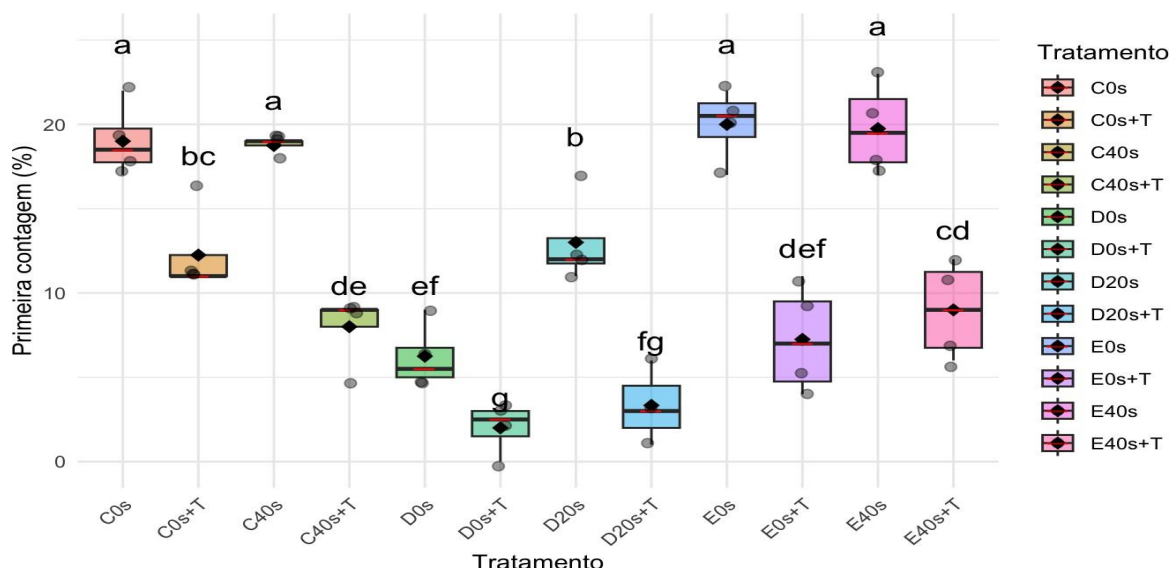


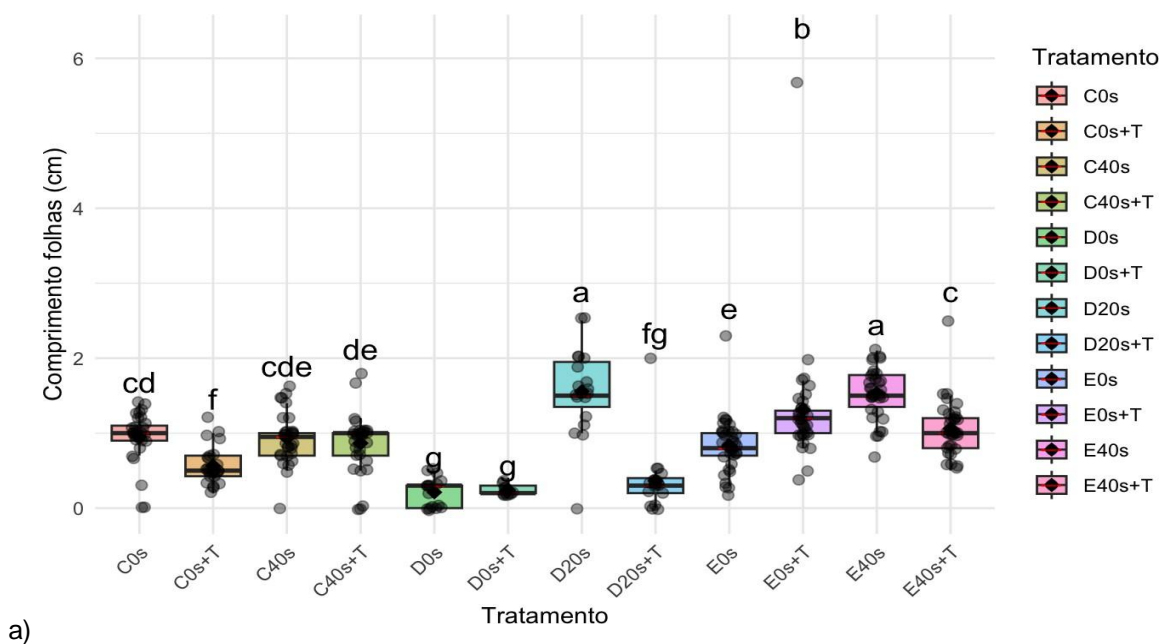
Figura 5: O boxplot mostra a porcentagem de primeira contagem em sementes de baru submetidas a diferentes tratamentos, considerando coloração das sementes (C: clara, D: danificada, E: escura). Os tratamentos aplicados foram: C0s: sementes claras sem tratamento; C0s+T: sementes claras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; C40s: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; C40s+T: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; D0s: sementes danificadas sem tratamento; D0s+T: sementes danificadas tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; D20s: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos; D20s+T:

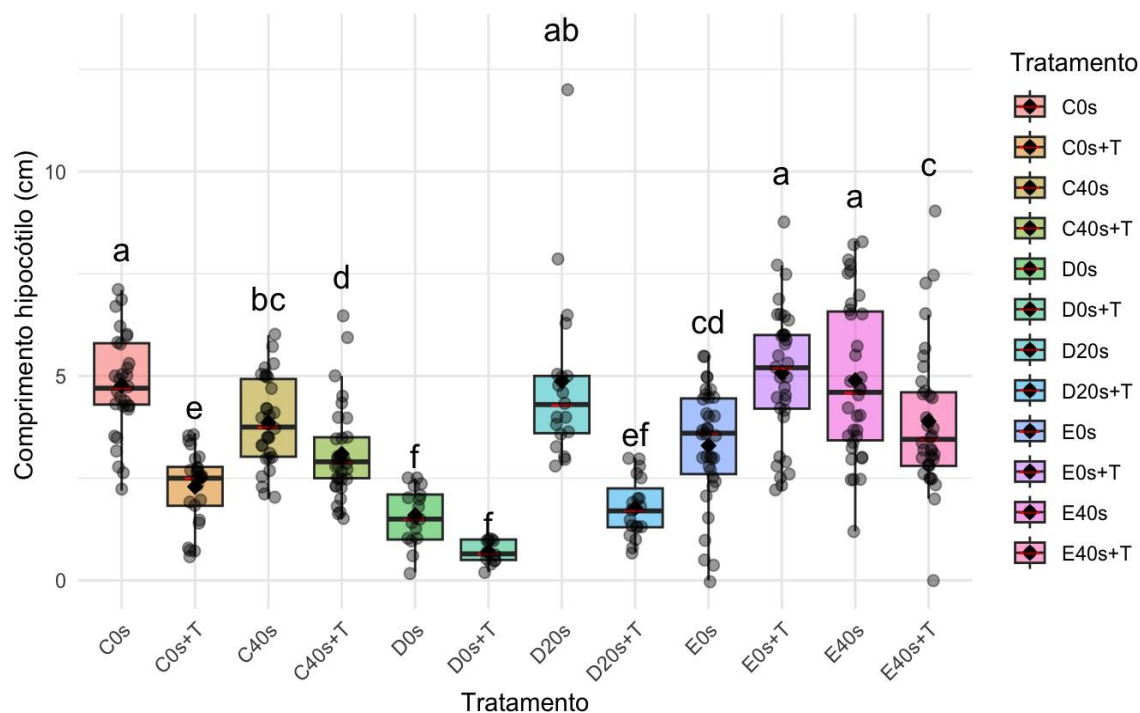
sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; E0s: sementes escuras sem tratamento; E0s+T: sementes escuras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; E40s: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; E40s+T: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.. A linha horizontal representa a mediana e o losango preto, a média. Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Os menores valores médios de germinação foram das sementes danificadas, o D0s+T exibiu a menor média, e sendo superior a todos deste grupo tivemos o tratamento D20s, confirmando a melhoria da qualidade das sementes neste teste de vigor das plântulas. As sementes claras e escuras tiveram um desempenho estatisticamente igual no controle quando comparados às sementes foram expostas ao microondas. Os demais tratamentos com *Trichoderma* sp. obtiveram resultados próximos ou semelhantes aos obtidos pelas sementes danificadas, não se destacando também, dentro do seu próprio grupo.

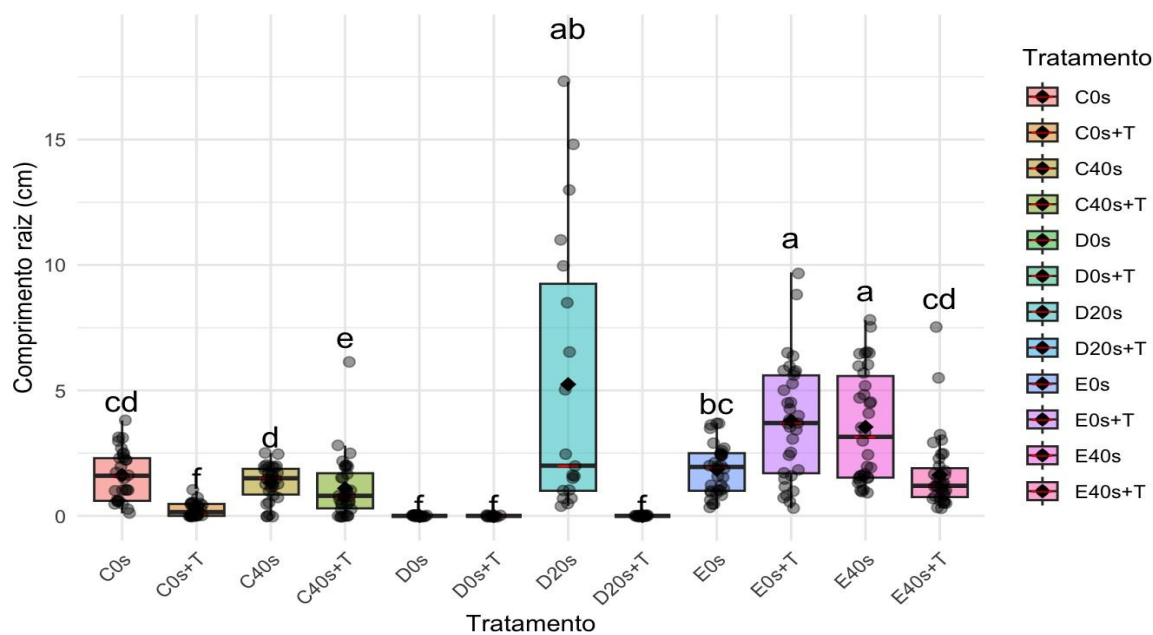
3.3 Comprimento de Plântulas

O comprimento de plântula obtido nas análises, e detalhado na Figura 5 é um parâmetro importante na qualidade das sementes, pois reflete o potencial de crescimento inicial das plântulas a campo. Ao avaliar separadamente o comprimento da raiz, hipocótilo e da folha, é possível realizar uma análise detalhada do desenvolvimento de cada uma dessas estruturas.





b)



c)

Figura 6: Comprimento médio de folhas (a), hipocótilo (b) e raiz (c) de plântulas de sementes de baru submetidas a diferentes tratamentos, considerando coloração das sementes (C: clara, D: danificada, E: escura). Os tratamentos aplicados foram: C0s: sementes claras sem tratamento; C0s+T: sementes claras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; C40s: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; C40s+T: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; D0s: sementes danificadas sem tratamento; D0s+T: sementes danificadas tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; D20s: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos; D20s+T: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; E0s: sementes escuras sem tratamento; E0s+T: sementes escuras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; E40s: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; E40s+T: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.. A linha

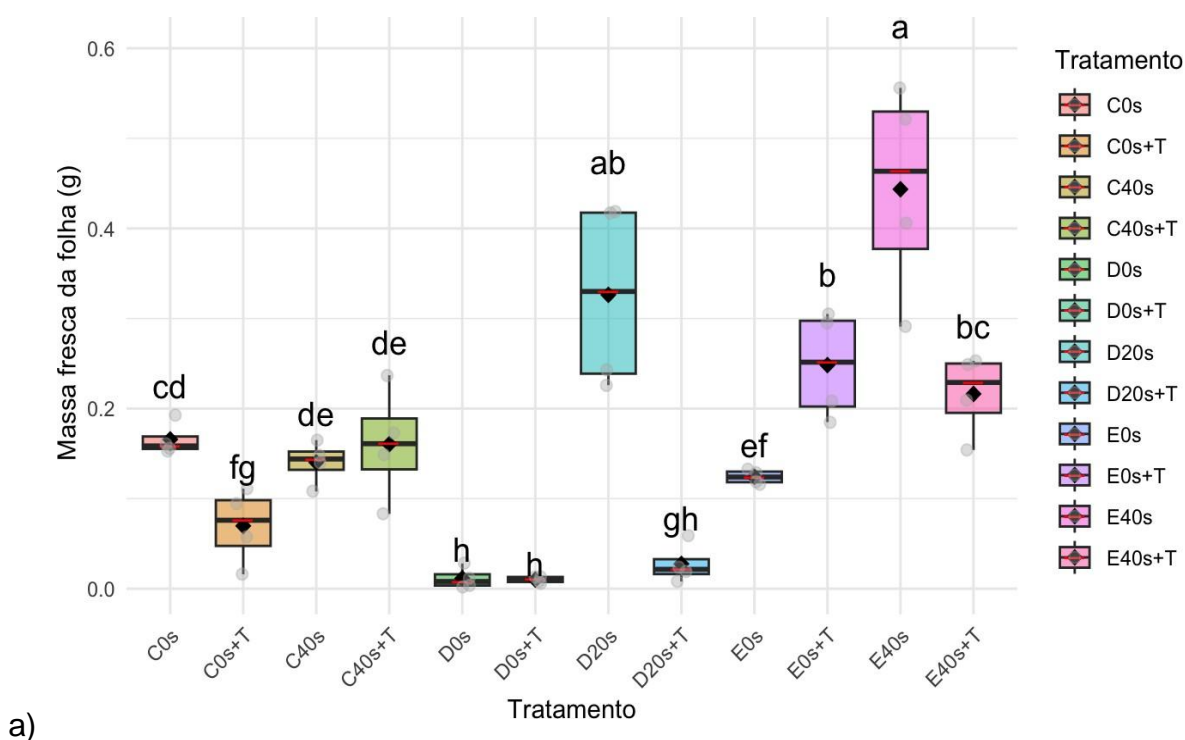
horizontal representa a mediana e o losango preto, a média. Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

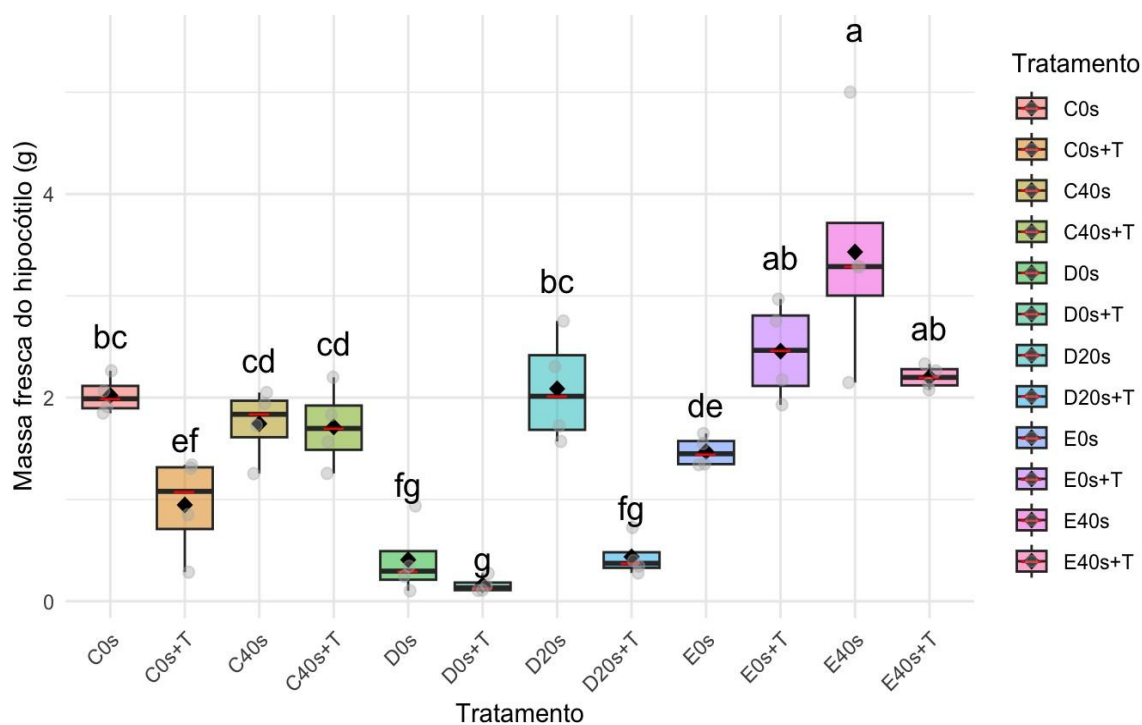
Na análise de comprimento das plântulas, tiveram melhor desempenho geral os tratamentos D20s, e E40s. Esses tratamentos mostraram maior crescimento das plântulas, tanto para raiz, hipocótilo e também para as folhas, sendo estes, superiores aos demais tratamentos aplicados. O grupo das sementes escuras, teve melhor desempenho geral, seguido pelo grupo das sementes claras, e em seguida o das sementes danificadas, com exceção para o tratamento D20s, que não se diferenciou do melhor grupo até aqui, E40s. Este resultado, não esperado, confirma o efeito bioestimulante das microondas em sementes de Baru, trazendo inclusive, para o grupo de sementes danificadas, que teriam baixíssima qualidade, parâmetros de crescimento semelhantes às sementes de alta qualidade em um lote.

3.4 Massa fresca e Massa seca

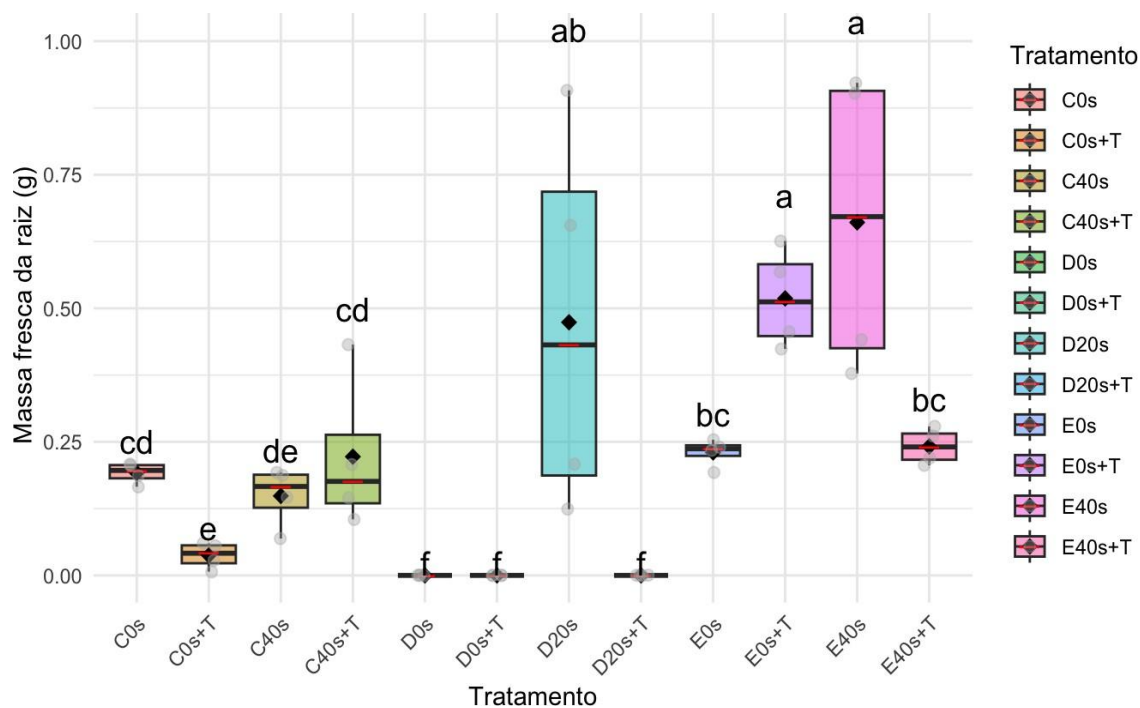
3.4.1 Massa Fresca

A avaliação da massa fresca das plântulas apresentada na Figura 6, identifica-se separadamente, o acúmulo de biomassa nas folhas, no hipocótilo e na raiz de cada tratamento. Novamente, o tratamento E40s, segue liderando os demais grupos deste estudo, com o melhor desempenho significativo, quando comparado aos demais.





b)



c)

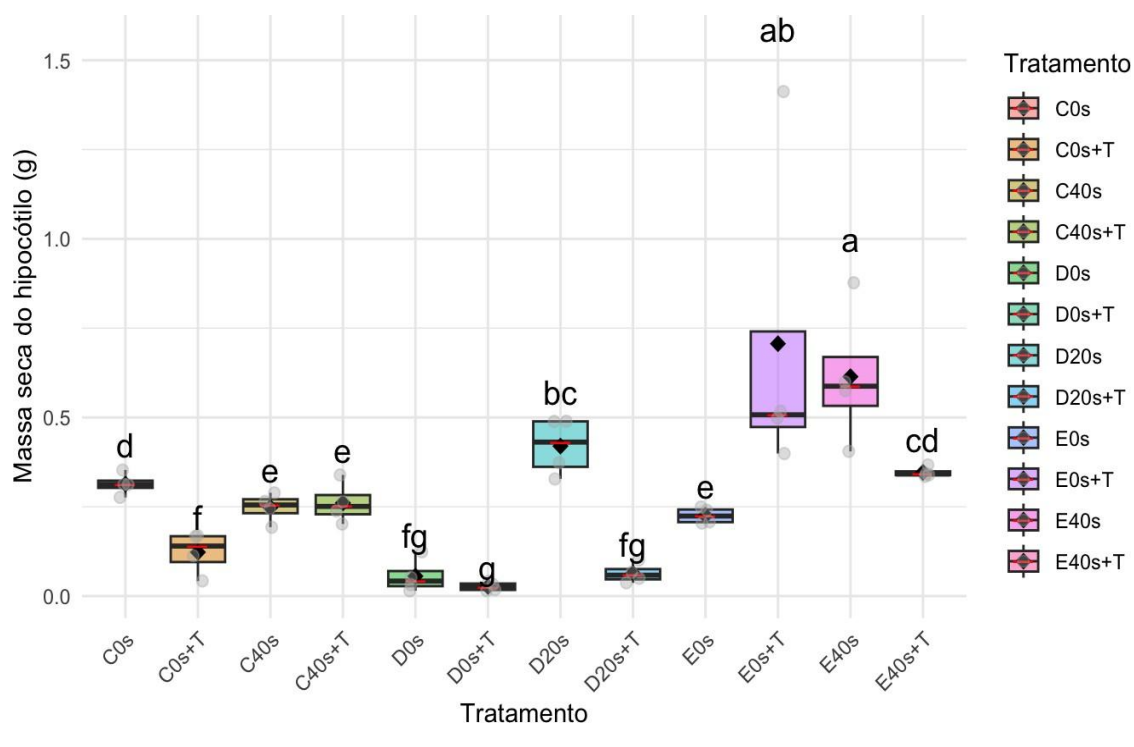
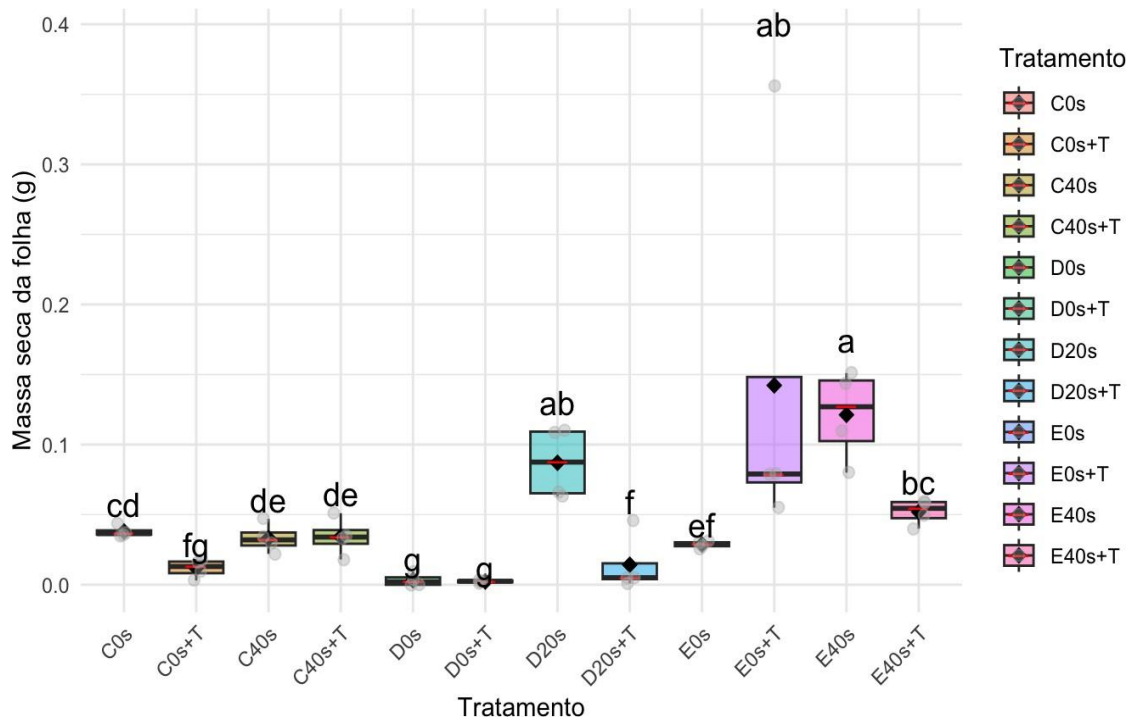
Figura 7: Massa fresca (g) da folha (a), do hipocótilo (b) e da raiz (c), de plântulas de sementes de baru submetidas a diferentes tratamentos, considerando coloração das sementes (C: clara, D: danificada, E: escura). Os tratamentos aplicados foram: C0s: sementes claras sem tratamento; C0s+T: sementes claras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; C40s: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; C40s+T: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com

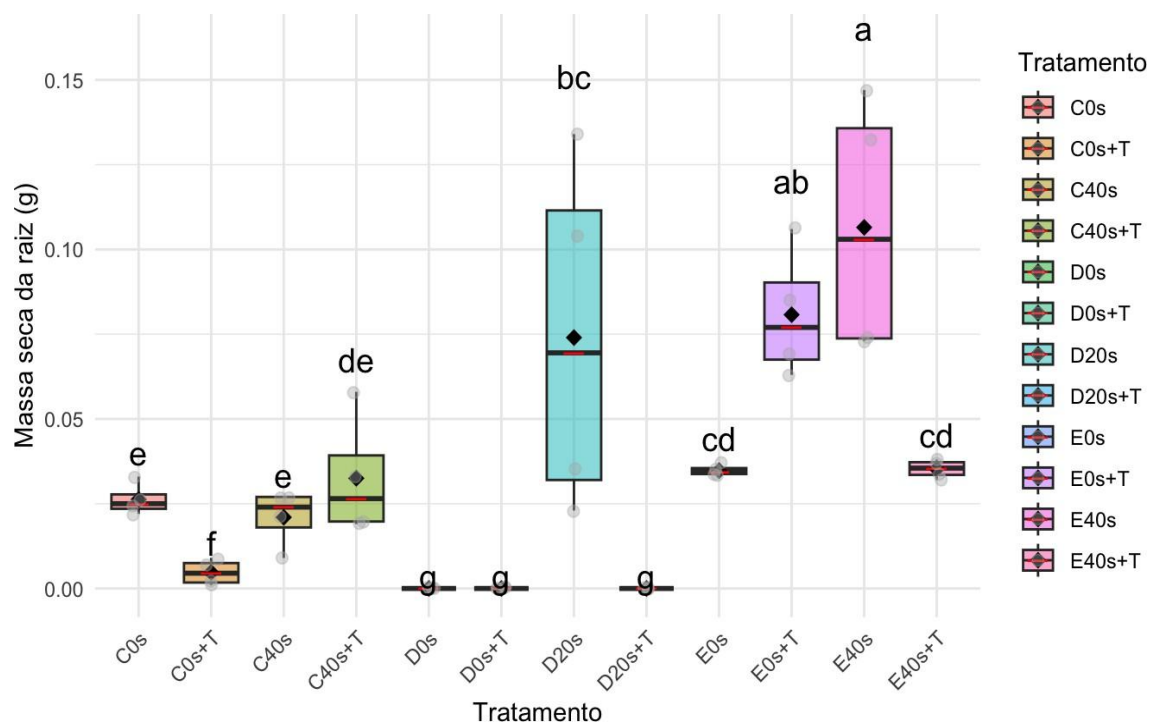
Trichoderma sp.; D0s: sementes danificadas sem tratamento; D0s+T: sementes danificadas tratadas apenas com Trichoderma sp.; D20s: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos; D20s+T: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos e tratadas com Trichoderma sp.; E0s: sementes escuras sem tratamento; E0s+T: sementes escuras tratadas apenas com Trichoderma sp.; E40s: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; E40s+T: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com Trichoderma sp.. A linha horizontal representa a mediana e o losango preto, a média. Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

Além do tratamento E40s, cabe destacar os tratamentos D20s, e E0s+T, como segundo melhores tratamentos para acúmulo da massa fresca das sementes de Baru. Estes tratamentos, não se diferenciam do E40s, em dois dos três parâmetros de medida da massa fresca, o que demonstra algum estímulo benéfico desses tratamentos na qualidade das sementes de Baru. O comprimento da raiz, por exemplo, não se diferenciou estatisticamente para os três melhores tratamentos, D20s; E0s+T e E40s, o que é um forte indicativo de boa estabilização dessa plântula às condições de campo.

3.4.2 Massa Seca

A análise da massa seca (Figura 7), avaliou separadamente a quantidade de acúmulo de biomassa seca, nas folhas, no hipocótilo e nas raízes, nos diferentes tratamentos aplicados. Novamente, o grupo de sementes escuras tratadas com as microondas segue como melhor tratamento aplicado, seguido pelo tratamento com a Trichoderma sp. para o mesmo grupo.





c)

Figura 8: Massa seca (g) da folha (a), do hipocótilo (b) e da raiz (c), de plântulas de sementes de baru submetidas a diferentes tratamentos, considerando coloração das sementes (C: clara, D: danificada, E: escura). Os tratamentos aplicados foram: C0s: sementes claras sem tratamento; C0s+T: sementes claras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; C40s: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; C40s+T: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; D0s: sementes danificadas sem tratamento; D0s+T: sementes danificadas tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; D20s: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos; D20s+T: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.; E0s: sementes escuras sem tratamento; E0s+T: sementes escuras tratadas apenas com *Trichoderma* sp.; E40s: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; E40s+T: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma* sp.. A linha horizontal representa a mediana e o losango preto, a média. Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$).

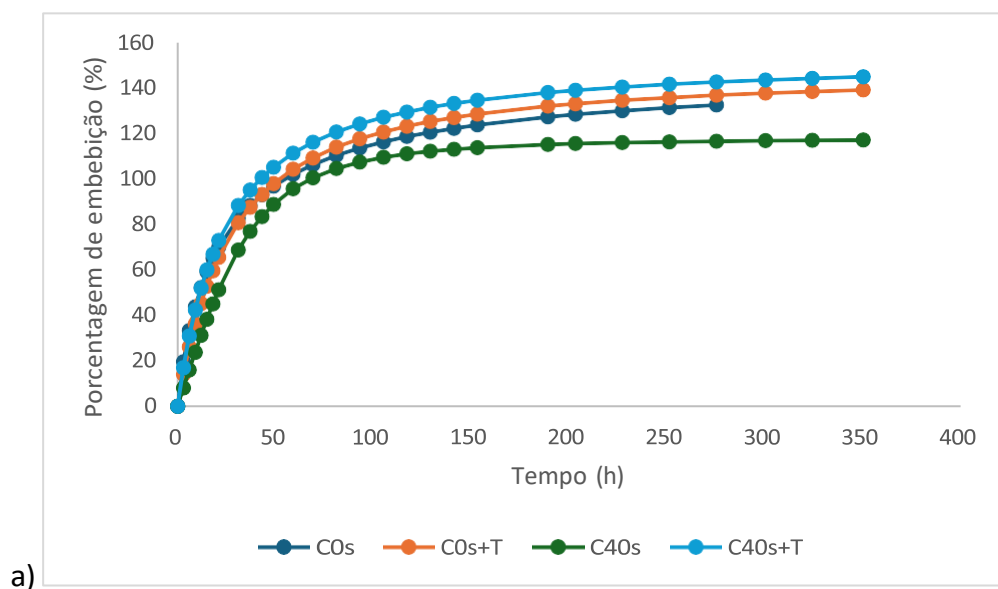
Para a massa seca das raízes, hipocótilo e folhas, os tratamentos E40s, e E0s+T, não se diferiram entre si, e obtiveram melhor desempenho no teste aplicado, contudo, a interação desses dois tratamentos (E40s+T), teve desempenho inferior aos tratamentos aplicados separadamente, na maioria dos teste aplicados até aqui, o que indica que a interação desses tratamentos não trouxe benefícios para sementes, as causas não estão óbvias, e deve ser explorada em outros estudos a posteriori.

O tratamento D20s, teve incremento significativo da sua massa seca em relação ao seu tratamento controle D0s, tanto, para raízes, quanto para hipocótilo e folhas, comprovando o bioestímulo das microondas também em sementes danificadas.

3.5 Curva de embebição

A curva de embebição representa a dinâmica de absorção de água pelas sementes durante a fase inicial da germinação, sendo dividida em três fases fisiológicas: fase I, de rápida absorção inicial, em que a água penetra por diferenças de potencial matricial; fase II, de platô ou quase estabilidade, marcada pela reorganização das membranas celulares e reativação metabólica; e fase III, em que ocorre a retomada do crescimento, com protrusão da radícula. Esse processo é influenciado por características físicas e fisiológicas da semente, bem como por tratamentos pré-germinativos (Pereira, 2024).

Considerando a variabilidade entre os grupos identificados (claras, danificadas e escuras), as curvas de embebição foram analisadas separadamente para cada classe de semente, conforme seus respectivos tratamentos. A variação percentual da absorção de água das sementes ao longo do tempo, é representada pela Figura 8 a seguir.



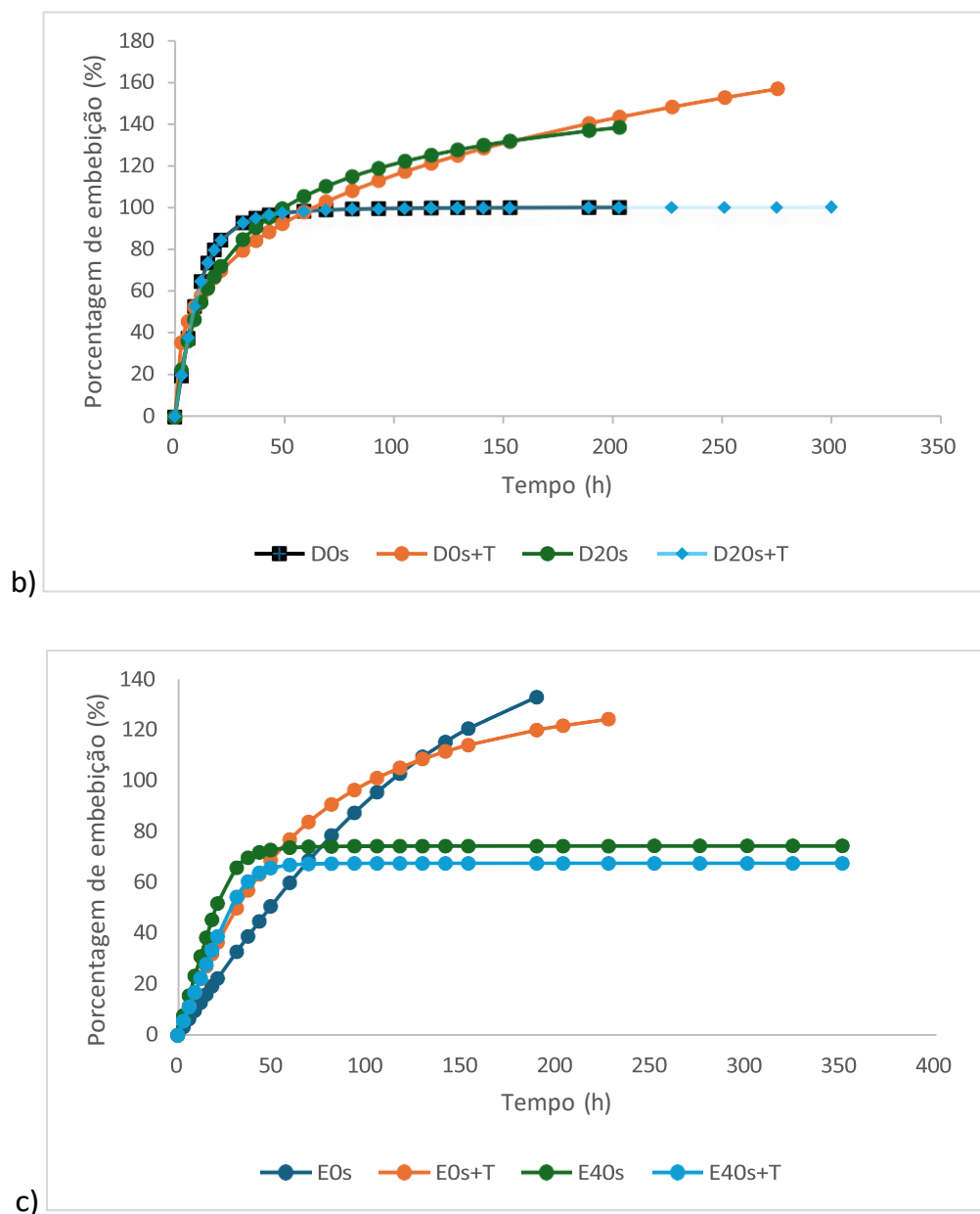


Figura 9: Curvas de embebição de sementes de *Dipteryx alata* com diferentes colorações (claras, danificadas e escuras) submetidas a tratamentos de exposição ao microondas (20 ou 40 segundos) e/ou aplicação de *Trichoderma sp.*. Os tratamentos aplicados foram: C0s: sementes claras sem tratamento; C0s+T: sementes claras tratadas apenas com *Trichoderma sp.*; C40s: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; C40s+T: sementes claras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma sp.*; D0s: sementes danificadas sem tratamento; D0s+T: sementes danificadas tratadas apenas com *Trichoderma sp.*; D20s: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos; D20s+T: sementes danificadas expostas ao micro-ondas por 20 segundos e tratadas com *Trichoderma sp.*; E0s: sementes escuras sem tratamento; E0s+T: sementes escuras tratadas apenas com *Trichoderma sp.*; E40s: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos; E40s+T: sementes escuras expostas ao micro-ondas por 40 segundos e tratadas com *Trichoderma sp.*.

O modelo de Bleasdale YD descreve a absorção de água pelas sementes, em que **a** representa a taxa inicial de embebição, indicando a rapidez da entrada de água nas fases iniciais; **b** está associado à velocidade de transição entre as fases I e II,

refletindo a taxa de desaceleração do processo; e **θ (teta)** corresponde ao ponto de equilíbrio de hidratação, relacionado à capacidade máxima de água acumulada pela semente. Valores de **R^2** próximos de 1 (Tabela 2), confirmam bom ajuste do modelo, e as variações desses parâmetros permitem comparar a influência dos tratamentos sobre a integridade das membranas celulares e a eficiência do processo de embebição (BEWLEY, 2013).

Tabela 2: Parâmetros do modelo de Bleasdale YD, dado por $y = x(A + bx^r) - \frac{1}{\gamma}$ ajustado para a curva de absorção de água em semente de baru antes e após a exposição ao microondas e à aplicação do *Trichoderma* sp.

Cultivar	Tratamento	a	b	teta	R2
Claras	0s	1,71E-01	1,55E-02	8,33E-01	0,954
	0s+T	1,69E-01	4,11E-03	1,10E+00	0,904
	40s	1,30E-01	5,06E-05	2,07E+00	0,944
	40s+T	1,47E-01	5,23E-03	1,04E+00	0,887
Danificas	0s	1,32E-02	2,47E-05	2,30E+00	0,889
	0s+T	3,07E-01	4,95E-01	7,01E-02	0,968
	20s	2,02E-01	3,45E-02	6,49E-01	0,988
	20s+T	5,57E-02	2,03E-04	1,80E+00	0,799
Escuras	0s	8,60E-01	1,97E-05	2,11E+00	0,968
	0s+T	3,96E-01	1,10E-03	1,37E+00	0,979
	40s	1,49E-02	5,61E-09	4,41E+00	0,785
	40s+T	2,87E-02	3,60E-11	5,71E+00	0,688

*Nível de significância de 0,05

A análise dos parâmetros do modelo Bleasdale YD (Tabela 2) revela uma aparente contradição: os tratamentos que se destacaram em testes de vigor, como E40s e D20s, apresentaram uma absorção de água inicial mais lenta. Para o tratamento E40s, a taxa inicial de embebição (a) foi notavelmente baixa (0,0149), e embora o modelo tenha estimado um alto ponto de equilíbrio ($teta = 4,41$), o baixo

R^2 (0,785) e a observação da curva (Figura 8c) confirmam que a exposição térmica teve um efeito deletério na capacidade de hidratação, resultando em baixa embebição e estabilização precoce. Esse comportamento sugere que o estresse térmico moderado pode ter causado danos às membranas celulares, restringindo a entrada de água, um fenômeno corroborado pela literatura que associa a exposição ao micro-ondas à desorganização das membranas (Szopińska; Dorna, 2021).

De forma semelhante, o tratamento D20s mostrou uma taxa de embebição (a) de 0,202, que, embora superior ao controle, resultou em uma capacidade máxima de hidratação ($t_{eta} = 0,649$) relativamente baixa. Apesar dessa restrição hídrica, este tratamento foi o que apresentou o melhor desempenho germinativo e o maior crescimento de plântulas dentro do grupo das sementes danificadas. A explicação para esse sucesso reside no fato de que o calor, além de superar restrições fisiológicas, pode ter atuado na redução de patógenos presentes nas sementes comprometidas, permitindo que o vigor intrínseco se manifestasse assim que o nível mínimo de hidratação foi atingido.

Por fim, o tratamento E0s+T, que também se destacou nos testes avaliados até aqui, apresentou uma taxa de absorção inicial ($a = 0,396$) inferior à seu controle (E0s), embora ainda seja robusta. A inoculação com *Trichoderma* sp. parece ter favorecido a hidratação em sementes sem estresse térmico, possivelmente pela ação de enzimas hidrolíticas. Contudo, o benefício principal desses tratamentos não está na maximização da absorção de água, mas sim na eficiência metabólica. Tanto o estímulo térmico (E40s, D20s) quanto o biológico (E0s+T) parecem ter funcionado como um "priming", acelerando os processos da Fase II da germinação e promovendo um estabelecimento mais rápido e vigoroso, mesmo com uma hidratação inicial limitada.

3.6 Análises do Tempo de germinação T50

O tempo médio para atingir 50% da germinação (T50) variou significativamente entre os diferentes grupos de sementes e tratamentos aplicados (Tabela 3). De maneira geral, valores mais baixos de T50 indicam maior velocidade de germinação, sendo, portanto, desejáveis em programas de produção de mudas (Londoño-Lemos et. al., 2024).

Tabela 3: Tempo médio para 50% de germinação (T50) de sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog) submetidas a diferentes tratamentos. As sementes foram classificadas em três grupos visuais: claras (C), escuras (E) e danificadas (D). Os tratamentos envolveram exposição ao microondas e/ou aplicação de *Trichoderma* sp. (+T). Os valores apresentados correspondem ao T50 médio, em horas, obtidos para cada combinação de tratamentos.

Tratamento	AIC*	BIC	Deviance	R2	T50
C0S	176,11	181,04	109,88	0,83	93,94
C0s+T	181,54	186,47	93,28	0,80	119,71
C40s	152,62	157,55	66,94	0,84	101,72
C40s+T	191,78	196,69	117,89	0,80	107,55
E0s	98,75	103,69	51,84	0,91	101,82
E0s+T	108,15	113,09	58,29	0,90	83,45
E40s	228,88	233,81	162,78	0,78	84,49
E40s+T	129,58	134,51	65,56	0,88	94,65
D0S	209,70	214,63	121,44	0,77	104,80
D0s+T	194,86	199,79	111,33	0,79	106,11
D20s	165,68	170,61	90,91	0,83	104,64
D20s+T	137,29	142,22	78,66	0,87	91,61

*GLM Cauchit Modelo

Os menores valores de T50 foram observados nos tratamentos aplicados de forma isolada: E0s+T (83,5 horas) e E40s (84,5 horas). Ambos apresentaram bom ajuste de modelagem, com R² de 0,90 e 0,77, respectivamente, e AIC de 108,54 e 228,88, respectivamente, confirmando a adequação do modelo (menor AIC, indica melhor ajuste do modelo). Com estes resultados notamos que os dois métodos, quando utilizados separadamente, foram eficazes em acelerar a germinação, contudo, a combinação dos dois tratamentos não foi mais eficiente na redução do T50, quando comparado aos tratamentos aplicados separadamente.

Já nas sementes danificadas, os valores de T50 foram mais próximos entre si, variando de 91,6 a 106,1 h. O destaque foi para D20s+T (91,6 h), com R² de 0,87 e AIC de 137,43, podendo assimilar que a exposição ao microondas e *Trichoderma* sp. pode ter amenizado os efeitos dos danos. O tratamento D20s (104,6h), teve desempenho pouco superior ao controle D0s (104,80h). Para o grupo das sementes claras, nenhum tratamento superou o tratamento controle.

4. DISCUSSÕES

A interpretação dos resultados obtidos neste estudo permite compreender os efeitos dos diferentes tratamentos físicos e biológicos sobre o desempenho fisiológico de sementes de baru com diferentes características visuais. A análise revelou respostas variáveis entre os grupos de sementes (claras, danificadas e escuras), ficando evidente a influência do estado fisiológico inicial e da interação com os tratamentos.

Os resultados da germinação e da primeira contagem mostraram diferenças significativas entre os tratamentos. As sementes escuras, mostram maiores índices de germinação e vigor, sugerindo maior viabilidade fisiológica. Nas sementes danificadas obtivemos os piores resultados, na qualidade das sementes, refletindo o comprometimento fisiológico associado a danos mecânicos ou presença de patógenos, apesar disso, o tratamento com as microondas, mostrou na maioria dos testes de qualidade um incremento nos índices germinativos para as sementes tratadas com 20s de exposição às microondas. A inoculação com *Trichoderma* sp. promoveu leve melhora em sementes claras e danificadas, mas não reverteu totalmente os efeitos negativos, isto pode estar associado às limitações já relatadas na literatura, como a variação de eficiência entre isolados e a possibilidade de competição desfavorável em determinadas condições ambientais (Cavalcante et al., 2025). Esses achados reforçam o papel de agentes biológicos no controle de patógenos e promoção do crescimento (Joo; Hussein, 2022), além do efeito positivo da termoterapia na superação de dormência (Raad et al., 2022).

Na avaliação do comprimento das plântulas, as sementes escuras novamente apresentaram melhor desempenho, principalmente nos tratamentos E0s+T e E40s, que resultaram em maior crescimento de folhas, hipocótilo e raiz. Isso sugere maior vigor fisiológico e integridade estrutural nesse grupo. Já as sementes danificadas, principalmente em D0s e D0s+T, mostraram baixo desenvolvimento, confirmando os efeitos negativos de danos físicos, como relatado por Pinheiro et al. (2021). No entanto, D20s mostrou crescimento expressivo da raiz, indicando que a termoterapia pode reduzir efeitos de patógenos em sementes comprometidas, em concordância com Raad et al. (2022). As sementes claras tiveram desempenho intermediário, com destaque para o tratamento C40s, que favoreceu o alongamento do hipocótilo.

Os resultados de massa fresca também exibiram forte contraste entre os grupos. Nas sementes escuras, os tratamentos térmicos (E40s e E40s+T) apresentaram os maiores valores em folhas, hipocótilo e raiz, sugerindo que a termoterapia estimulou a produção de biomassa. O tratamento E40s superou inclusive o controle, corroborando estudos que associam estresses térmicos moderados ao aumento da atividade metabólica (Lobo et al., 2021). Com as sementes danificadas (D0s e D0s+T) se teve os menores valores, evidenciando o comprometimento fisiológico. A inoculação com *Trichoderma* sp. isoladas mostrou efeito limitado, principalmente em sementes claras e danificadas. Esse resultado reforça que o desempenho de *Trichoderma* sp. não é uniforme, podendo variar de acordo com o isolado utilizado e com o ambiente de aplicação (Borges et al., 2025).

A massa seca seguiu padrão semelhante. Os tratamentos E40s e E0s+T apresentaram os maiores valores em todas as estruturas analisadas, refletindo melhor desempenho fisiológico das sementes escuras. As sementes claras tiveram resultados intermediários, com leve ganho em C40s e C40s+T, possivelmente devido à combinação do estresse térmico com a ação biológica. Já as sementes danificadas apresentaram os menores acúmulos de biomassa, exceto para o tratamento D20s que mostrou efeito promotor sobre o desenvolvimento radicular. Esse comportamento reforça o papel positivo do calor na indução de crescimento radicular, como já descrito em sementes de trigo (Kondratenko; Soboleva, 2023).

As curvas de embebição também revelaram diferenças marcantes. No grupo das sementes claras, os tratamentos controle (C0s e C0s+T) tiveram maior absorção hídrica, enquanto os submetidos ao micro-ondas (C40s e C40s+T) apresentaram menor capacidade, indicando danos as membranas celulares. Nas sementes danificadas, D0s+T obteve maior embebição, mas D20s+T mostrou absorção reduzida, evidenciando agravamento do estresse em função da combinação entre danos físicos e calor. Nas sementes escuras, os maiores valores foram observados em E0s e E0s+T, enquanto E40s e E40s+T confirmaram o efeito deletério da exposição térmica. De modo geral, a inoculação com *Trichoderma* sp. favoreceu a hidratação em tratamentos sem estresse térmico, possivelmente pela ação de enzimas hidrolíticas (Doni et al., 2014).

A análise do tempo médio para atingir 50% da absorção de água (T50) mostrou que as sementes escuras (E0s e E0s+T) apresentaram os menores valores, evidenciando maior rapidez na hidratação, possivelmente associada à maior permeabilidade das membranas. Já as sementes claras apresentaram menores valores de T50, em C0s+T e C40s+T, sugerindo retardos no processo de embebição devido a alterações estruturais, como relatado por Vukelić et al. (2024). Nas sementes danificadas, os maiores tempos ocorreram em D0s+T e D20s, indicando que tanto o calor quanto a inoculação podem ter afetado negativamente a velocidade de absorção. Esses achados corroboram com Kaseke; Opara; Fawole, (2020), que associam a exposição ao micro-ondas à desorganização de membranas e à restrição da entrada de água.

Apesar das limitações observadas, especialmente quanto à redução da absorção hídrica e possíveis danos às membranas celulares, o tratamento de 40 segundos em sementes escuras reúne argumentos consistentes que justificam sua defesa como alternativa promissora. Esse tratamento apresentou desempenho superior nos índices de qualidade avaliados, quando comparado aos demais tratamentos, favorecendo a germinação mais rápida e o estabelecimento inicial, característica desejável em viveiros. Soma-se a isso a viabilidade prática do uso de micro-ondas, por ser um método simples, de baixo custo e sem necessidade de insumos adicionais, o que fortalece seu potencial como tecnologia sustentável em larga escala. Ademais, o fato de sementes escuras, geralmente predominantes em lotes comerciais, responderem positivamente ao tratamento, amplia a relevância de sua aplicação em programas de restauração ambiental, contribuindo para o aproveitamento eficiente de recursos e para a conservação do Cerrado.

5. CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que a qualidade fisiológica das sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) é fortemente influenciada por características como a coloração do tegumento e pelos tratamentos aplicados. As sementes escuras apresentaram maior vigor e desempenho germinativo em relação às claras e danificadas. Entre os tratamentos, o uso de micro-ondas se destacou como um bioestímulo eficiente, especialmente no tratamento E40s, que proporcionou melhores resultados em comprimento de plântula e acúmulo de massa. Para as sementes danificadas, o

tratamento D20s mostrou-se mais adequado, indicando que doses moderadas de termoterapia podem reduzir os efeitos de danos físicos e de patógenos.

Apesar de alguns efeitos térmicos terem limitado a absorção inicial de água, o calor favoreceu a atividade metabólica e o estabelecimento das plântulas. O tratamento biológico E0s+T também apresentou bom desempenho, acelerando a germinação. Assim, conclui-se que o uso isolado de micro-ondas é uma alternativa viável, sustentável e de baixo custo para melhorar o vigor de sementes de baru, especialmente as escuras. No entanto, a combinação com o *Trichoderma* sp. não trouxe ganhos adicionais, indicando que ambos os tratamentos, quando aplicados separadamente, são mais eficientes e promissores para a produção de mudas e a conservação do Cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

BEWLEY, J. D. ;. BRADFORD, K. ;. HILHORST, H. ;. NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy.** . 3. ed. New York: Springer, 2013.

BORGES, Alvaro Junior; CARVALHO DE LIMA, Alvaro; PEREIRA, Saulo Gonçalves. AÇÃO DO TRATAMENTO EM SEMENTES DE *Glycine max* L.-SOJA-COM FUNGICIDA QUÍMICO Metalaxil-M/ Fludioxonil e FUNGICIDA BIOLÓGICO *Trichoderma* spp: um estudo comparativo controlado. v. 16, p. 1, 2025.

CAVALCANTE, Allinny Luzia Alves *et al.* Adaptability and Sensitivity of *Trichoderma* spp. Isolates to Environmental Factors and Fungicides. **Microorganisms**, v. 13, n. 7, 1 jul. 2025.

CHIRICO, Gaetano *et al.* Design and Evaluation of an Applicator for Magnetopriming Treatments. **IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology**, v. 7, n. 3, p. 245–250, 1 set. 2023.

DA ROCHA, Elizabeth de Fátima Lopes *et al.* APLICABILIDADES DO BARU (*DIPTERYX ALATA* VOGEL) NA SAÚDE HUMANA: REVISÃO DE LITERATURA. **Revista EVS - Revista de Ciências Ambientais e Saúde**, v. 48, n. 1, p. 8306, 20 jan. 2022.

DAS NEVES, Delvanei Gomes *et al.* TÉCNICA MECÂNICA PARA SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA EM SEMENTES DE BARU (*Dipteryx alata* Vog.). **ARACÊ**, v. 7, n. 7, p. 36693–36700, 8 jul. 2025.

DE SOUSA, Willian Nogueira *et al.* Evaluation of trichoderma spp. Isolates in cocoa seed treatment and seedling production. **Plants**, v. 10, n. 9, 1 set. 2021.

DONI, Febri *et al.* Enhancement of rice seed germination and vigour by Trichoderma spp. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 7, n. 21, p. 4547–4552, 2014.

EGEA, Mariana Buranelo *et al.* The potential of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and its fractions for the alternative protein market. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, 2023.

ELZENGA, J. T. M.; BEKKER, R. M.; PRITCHARD, H. W. **Maximising the use of native seeds in restoration projects**. **Plant Biology** Blackwell Publishing Ltd, , 1 maio 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/plb.12984>>. Acesso em: 25 dez. 2024

ISTA. **International rules for seed testing**. Bassersdorf: [S.n.]. v. 27

JOO, Jin Ho; HUSSEIN, Khalid Abdallah. Biological Control and Plant Growth Promotion Properties of Volatile Organic Compound-Producing Antagonistic Trichoderma spp. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 26 jul. 2022.

KASEKE, Tafadzwa; OPARA, Umezuruike Linus; FAWOLE, Olaniyi Amos. Effect of microwave pretreatment of seeds on the quality and antioxidant capacity of pomegranate seed oil. **Foods**, v. 9, n. 9, 1 set. 2020.

KILDISHEVA, Olga A. *et al.* Dormancy and germination: making every seed count in restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, n. S3, p. S256–S265, 1 ago. 2020.

KONDRATENKO, E. P.; SOBOLEVA, O. M. Features of the development of the primary roots of wheat seedlings after the removal of abiotic electromagnetic stress. **Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences**, v. 11, n. 2, p. 127–133, 2023.

LOBO, Raphael Barbosa *et al.* TERMOTERAPIA NA SUPERAÇÃO DE DORMÊNCIA DE SEMENTES DE FLAMBOYANT (DELONIX REGIA) (BOJER EX HOOK) RAF. *In: ILPF - Integração Lavoura Pecuária Floresta: desafios, perspectivas, retrocessos e avanços*. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 121–126.

LONDOÑO-LEMONS, Viviana; TORRES-GONZÁLES, Alba Marina; MADRIÑÁN, Santiago. Linking Seed Traits and Germination Responses in Caribbean Seasonally Dry Tropical Forest Species. **Plants**, v. 13, n. 10, 1 maio 2024.

MATIKO SANO, Sueli; JOSE VIVALDI CARLOS ROBERTO SPEHAR, Lucio. DIVERSIDADE MORFOLÓGICA DE FRUTOS E SEMENTES DE BARU (DIPTERYX ALATA VOG.) 1. **Pesq. agropec. bras**, p. 513–518, 1999.

MENDIBURU, Felipe. **Title Statistical Procedures for Agricultural Research**. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>>. Acesso em: 14 maio. 2025.

NUNES, Bruna Vieira *et al.* Investigating the Chemical Profile of Underexplored Parts of *Dipteryx alata* (Baru) Using the PS–MS Technique. **Plants**, v. 13, n. 13, 1 jul. 2024.

PENFIELD, Steven. Seed dormancy and germination. **Current Biology**, v. 27, n. 17, p. R874–R878, 11 set. 2017.

PEREIRA, Wilson Vicente Souza *et al.* Imbibition curve in forest tree seeds and the triphasic pattern: theory versus practice. **South African Journal of Botany**, v. 144, p. 105–114, 1 jan. 2022.

PINHEIRO, Daniel Teixeira *et al.* Weathering deterioration in pre-harvest of soybean seeds: Physiological, physical, and morpho-anatomical changes. **Scientia Agricola**, v. 78, 2021.

RAAD, Sayure Mariana *et al.* Qualidade fitossanitária e germinativa de sementes de milho submetidas à termoterapia. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e18911726749, 20 maio 2022.

SANTOS, Amanda Rithieli Pereira dos. Estimativa da longevidade de sementes de soja e sua relação com o sistema de defesa antioxidativo. 2022. Tese (Doutorado em Agronomia) — Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2022.

SANTOS, Misael Freitas dos *et al.* Trichoderma spp. on treatment of *Handroanthus serratifolius* seeds: effect on seedling germination and development. **Heliyon**, v. 6, n. 6, 1 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04044>

SARRAF, Mohammad *et al.* **Effect of magnetopriming on photosynthetic performance of plants.** **International Journal of Molecular Sciences** MDPI, , 1 set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22179353>

SOOD, Monika *et al.* Trichoderma: The “secrets” of a multit talented biocontrol agent. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 1–25, 1 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060762>

SZOPÍŃSKA, Dorota; DORNA, Hanna. The effect of microwave treatment on germination and health of carrot (*Daucus carota* L.) seeds. **Agronomy**, v. 11, n. 12, 1 dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11122571>

VUKELIĆ, Igor *et al.* Spectroscopic Investigation of Tomato Seed Germination Stimulated by Trichoderma spp. **Biology**, v. 13, n. 5, 1 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13050340>