

CARLOS LUIZ DA SILVA

GERMINAÇÃO E TESTES DE VIGOR DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva*
(M.Allemão) Engl.

Recife
Pernambuco – Brasil

CARLOS LUIZ DA SILVA

**GERMINAÇÃO E TESTES DE VIGOR DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva*
(M.Allemão) Engl.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais. **Área de Concentração:** Ciências Florestais.

Orientador: Prof Dr Marcene Moreira Santos

Co-orientador(es): Prof Dr Ricardo Gallo

Co-orientador(es): Prof(a) Dr(a) Raquel Maria de Oliveira Pires

**Recife-PE
Pernambuco - Brasil**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE

S586g Silva, Carlos Luiz da.
Germinação e ajuste de testes de vigor de sementes
de *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl. /
Carlos Luiz da Silva. – Recife, 2025.
138 f.; il.

Orientador(a): Marccone Moreira Santos. Co-
orientador(a): Ricardo Gallo.
Co-orientador(a): Raquel Maria de Oliveira Pires.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Florestais, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Sementes - Testes. 2. Sementes - Fisiologia. 3. Sementes
- Qualidade. 4. Aroeira I. Santos, Marccone Moreira, orient. II.
Gallo, Ricardo, coorient. III. Pires, Raquel Maria de Oliveira,
coorient. IV. Título

CDD 634.9

Bibliotecário(a): Ana Catarina Macêdo – CRB-4 1781

À Deus,

À minha família,

Aos meus amigos,

Ao meu comitê de orientação,

A todos os professores do PPGCF. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização e conclusão desta etapa. Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar e permitir que eu alcançasse este importante marco. À minha família, especialmente à minha mãe, que sempre me incentivou e apoiou na busca pelos meus objetivos, meu mais sincero reconhecimento.

Agradeço ao NEMA/UNIVASF pelo fornecimento das sementes que foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo. Sou também profundamente grato ao PPGCF e à UFRPE, assim como a todos os professores, pela infraestrutura oferecida e pelos valiosos ensinamentos. Um agradecimento especial à professora Eliane Cristina, cuja orientação e apoio foram fundamentais em todas as etapas da minha trajetória no mestrado.

Não posso deixar de mencionar os professores Jean Santos (Laboratório de Química do Solo) e Richeliel Albert (Laboratório de Microbiologia), a quem sou grato pela disponibilidade e acesso aos equipamentos, foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

Expresso meu reconhecimento e agradecimento ao meu orientador, professor Marcone Moreira Santos, pela confiança, liberdade, ensinamentos e parceria ao longo desta jornada. Agradeço também ao meu coorientador, professor Ricardo Gallo, pelo auxílio em diversas etapas, desde a correção do projeto até o suporte técnico e estatístico, além do fornecimento de materiais e ensinamentos preciosos.

Minha gratidão se estende à coorientadora, professora Raquel Maria de Oliveira Pires, e ao seu orientando Ivan David, que mesmo à distância, contribuíram significativamente para o sucesso deste trabalho. A parceria foi muito essencial para que esse trabalho fosse desenvolvido e finalizado da melhor forma.

Aos amigos Moema Barbosa, Erika Rayra e Paulo César, minha imensa gratidão por me acolherem, ensinarem, me ajudarem e tornarem essa caminhada mais leve, alegre e enriquecedora. Vocês foram essenciais para que essa etapa fosse vivida com tanta felicidade e realização. Também estendo meus agradecimentos ao Rosilvam Ramos por ajudar com algumas questões da estatística.

Por fim, agradeço a todos os demais amigos e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.

A todos, o meu mais sincero obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	16
GENERAL SUMMARY	17
1. INTRODUÇÃO GERAL	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo geral	20
2.2. Objetivos específicos	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1. Caracterização da espécie	21
3.2. Importância econômica da espécie	23
3.3. Vigor e viabilidade de sementes	24
3.4. Testes rápidos de avaliação de sementes	25
3.5. Condutividade elétrica de sementes	26
3.6. pH do exsudato de sementes	27
3.7. Raio-X de sementes	28
3.8 Revisão bibliométrica	29
REFERÊNCIAS	30
CONCLUSÕES GERAIS	131
APÊNDICES	132

CAPÍTULO I

QUALIDADE DE SEMENTES POR MEIO DE TESTES RÁPIDOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

RESUMO	37
ABSTRACT	38
1. INTRODUÇÃO	39
2. METODOLOGIA	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. Número de artigos englobados	41
3.2. Testes rápidos mais aplicados	41
3.3. Revisão bibliométrica	54
3.4. Testes fisiológicos mais usados nas pesquisas encontradas nos últimos 20 anos	54
3.4.1. Tetrazólio	54
3.4.2. Envelhecimento acelerado	55
3.4.3. Condutividade elétrica	57
3.4.4. pH do exsudato	58
3.5. Testes físicos	61
3.5.1. Imagem hiperespectral	61
3.5.2. Raio-X	62
3.6. Detalhes metodológicos dos testes	63
4. CONSIDERAÇÕES	65

5. REFERÊNCIAS	66
----------------------	----

CAPÍTULO II

ADEQUAÇÃO DO TESTE DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E PH DO EXSUDATO PARA SEMENTES DE *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

RESUMO	81
ABSTRACT	82
1. INTRODUÇÃO.....	83
2. MATERIAL E MÉTODOS	84
2.1 Local do experimento, obtenção e seleção das sementes	84
2.2 Avaliação das características físicas e químicas das sementes	85
2.2.1. Curva de embebição	85
2.2.2. Peso de mil sementes	86
2.2.3. Conteúdo de água das sementes	86
2.2.4. Teste de germinação	86
3. Adequação dos testes rápidos	88
3.1. Condutividade elétrica e pH do exsudato	88
4. Análise estatística	88
5. RESULTADOS	89
5.1. Curva de embebição	89
5.2. Avaliação do potencial fisiológico inicial das sementes	90
5.3. Teste de condutividade elétrica em sementes de <i>Astronium urundeuva</i> (M. Allemão) Engl.	90
5.4. Avaliação do teste de pH do exsudato em sementes de <i>Astronium urundeuva</i> (M. Allemão) Engl.	94
6. DISCUSSÃO	98
7. CONCLUSÕES	102
8. REFERÊNCIAS	102

CAPÍTULO III

QUALIDADE DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. POR MEIO DO TESTE DE RAIO-X

RESUMO	109
ABSTRACT	110
1. INTRODUÇÃO	111
2. MATERIAL E MÉTODOS	112
2.1 Local do experimento e obtenção das sementes	112
2.2 Seleção das sementes	113
3. Avaliação das características físicas e químicas das sementes	113
3.1. Peso de mil sementes	113

3.2. Conteúdo de água das sementes	113
3.3. Teste de raio-X	113
4. Análise estatística	116
5. RESULTADOS	116
6. DISCUSSÃO	125
7. CONCLUSÕES	128
8. REFERÊNCIAS	128

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

Figura 1. *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.....22

Figura 2. Frutos (A), tamanho médio das sementes (B), folhas (C) e flores (D) de *Austronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.....23

CAPÍTULO I:

Figura 1 – Porcentagem de utilização de cada teste rápido nos artigos científicos oriundos das buscas no Scopus e Web of Science no período de 01/01/20004 a 01/01/2024.....46

Figura 2. Processo metodológico da avaliação da qualidade de sementes através do teste de tetrazólio.54

Figura 3. Processo metodológico da avaliação da qualidade de sementes através do teste de envelhecimento acelerado.....56

Figura 4. Processo metodológico da avaliação da qualidade de sementes através do teste de condutividade elétrica.58

Figura 5. Processo da avaliação da qualidade de sementes através do teste do pH do exsudato e as faixas de coloração da solução aquosa com a fenolftaleína em diferentes faixas de pH.60

Figura 6. Processo da avaliação da qualidade de sementes através do teste de imagem hiperespectral.....61

Figura 7. Processo da avaliação da qualidade de sementes através do teste de raio-X.63

CAPÍTULO II:

- Figura 1.** Início da protusão da raiz primária de semente de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.....85
- Figura 2.** Germinação e formação das plântulas de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.....87
- Figura 3.** Curva de embebição das sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. dos diferentes lotes: Lote 1, Lote 2, Lote 3, Lote 4 e Lote 5.....89
- Figura 4.** Heatmap representando a condutividade elétrica de cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. em 50 mL de água destilada, utilizando a média dos dados. Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.....91
- Figura 5.** Heatmap representando a condutividade elétrica de cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. em 75 mL de água destilada com 25 sementes, utilizando a média dos dados. Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.92
- Figura 6.** Heatmap representando a condutividade elétrica de cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. em 100 mL de água destilada, utilizando a média dos dados. Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.94
- Figura 7.** Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 50 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.95

Figura 8. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

.....96

Figura 9. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 100 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.....97

CAPÍTULO III:

Figura 1. Etapas do processamento digital de imagens para captura da fotografia e utilização do programa ImageJ® (A). Atributos de forma aplicados na avaliação de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl (B).....114-115

Figura 2. Radiografias de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. L1REP1: Lote 1, repetição 1; L2REP1: Lote 2, repetição 1; L3REP4: Lote 3, repetição 4.119

Figura 3. Composição interna das sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.120

Figura 4. Correlação de Pearson entre as variáveis geradas da análise automatizada das radiografias de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. Em que: Plântula normal (P.N); Semente cheia (S.C); Área; Perímetro (Per); Largura; Altura; Circunferência (Circ); Proporção de aspecto (AR); Solidez (Soli); Redondo. O tamanho do círculo e a coloração

indicam a magnitude e a direção de cada correlação, respectivamente.....121

Figura 5. Contribuição das características avaliadas nos cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.: porcentagem de área (X área), altura, largura, densidade integrada (Deni), circunferência (Circ), redondeza, solidez, perímetro e prospecção de aspecto (AR). Em que: cores vermelhas são médias mais baixas, e tons azuis valores mais altos.....122

Figura 6. Análise de componentes principais de cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl., comparando as características: área, porcentagem de área (X área), altura, largura, densidade integrada (Deni), circunferência (Circ), redondeza, solidez, perímetro e prospecção de aspecto (AR). Em que: L1: lote 1; L2: lote 2; L3: lote 3; L4: lote 4; L5: lote 5. Os lotes que se encontram mais próximos dos vetores indicam que possuem um melhor desempenho para essas características.123

Figura 7. Distância intra e interclúster dos grupos de matriz de Matriz dissimilaridade dos cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.....124

Figura 8. Análise de correlação dos componentes principais.....124

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I:

Tabela 1 - Artigos científicos que utilizam testes rápidos para avaliação da viabilidade e vigor de sementes de espécies herbáceas, oriundos das buscas no Scopus e Web of Science no período de 01/01/2004 a 01/01/2024.....42

Tabela 2 - Espécies investigadas e os testes rápidos utilizados nos trabalhos resultantes das buscas no Scopus e Web of Science no período de 01/01/2004 a 01/01/2024.....48

Tabela 3 – Produção científica global sobre testes rápidos de avaliação de sementes em artigos buscados nas bases de dados Scopus e Web of Science, no período de 01/01/2004 a 01/01/2024.....51

Tabela 4 - Artigos buscados nas bases de dados Scopus e Web of Science no período de 01/01/2004 a 01/01/2024, mais citados globalmente.52

Tabela 5 - Testes rápidos de avaliação da qualidade de sementes utilizados em artigos científicos.....64

CAPÍTULO II:

Tabela 1 - Identificação, origem e data de coleta dos 5 lotes de sementes avaliados. Em que: Pernambuco (PE) e Paraíba (PB).84

Tabela 2. Teor de água (TA), peso de 1000 sementes (PM), germinação (G), primeira contagem (PC), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR), total (CT) e matéria seca (MS) plântulas de cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva*.90

Tabela 3. Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. o nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.....93

Tabela 4. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 25 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.....96

CAPÍTULO III:

Tabela 1. Identificação, origem e data de coleta dos cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. avaliados. Sendo: Pernambuco (PE) e Paraíba (PB).
.....112

Tabela 2. Teor de água (TA) e peso de 1000 sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.....116

Tabela 3. Valores médios e porcentagem de área, perímetro, largura, altura, circularidade (Circ), razão de aspecto (AR), solidez, redondo, densidade integrada (DenI), percentual de plântulas bem-formadas (SBF) e plântulas malformadas (SMF) de cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.....118

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AR – Razão de Aspecto

Circ – Circularidade

CP – Comprimento da Plântula

CR – Comprimento da raiz

DenI – Densidade Integrada

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

DIST – Distância

G% – Porcentagem de germinação

IVG – Índice de Velocidade de Germinação

MS – Matéria Seca

PBF – Plântulas Bem-Formadas

PC – Primeira contagem de germinação

PER – Perímetro

PMF – Plântulas Malformadas

PMS – Peso de mil sementes

PN - Plântulas Normais

RAS – Regra para Análises de Sementes

RED – Redondo

SE – Semente

S.C - Semente Cheia

SOLI – Solidez

TA – Teor de Água

WoS - Web of Science

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **GERMINAÇÃO E TESTES DE VIGOR DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.** 2024. Orientador: Marcone Moreira Santos. Coorientadores: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

RESUMO GERAL

Este trabalho objetivou realizar uma revisão bibliométrica dos testes rápidos mais utilizados em 20 anos, adequar os testes de pH do exsudato e condutividade elétrica para avaliação do vigor das sementes de *Astronium urundeuva*, assim como, realizar uma avaliação física e fisiológica das sementes por meio do teste de raio-X. Para isso, foi realizado um levantamento de artigos científicos nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS), tendo um lapso de tempo entre 1º de janeiro de 2004 a 1º de janeiro de 2024. Os artigos resultantes das buscas foram analisados quanto aos testes empregados e os detalhes metodológicos. Para adequação dos testes de pH e condutividade elétrica, as avaliações foram conduzidas no Laboratório de Análises de Sementes Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, e do raio-X no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras. Foram utilizados 5 lotes de sementes, e os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições para cada lote. Os resultados das buscas da revisão foram submetidos a análise por Bibliometrix, e na adequação dos testes rápidos os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o programa SISVAR e Rstudio. A partir da revisão foi identificado que, o teste de tetrazólio, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica são os mais utilizados em espécies florestais. Em relação à adequação, tanto para o teste de condutividade elétrica quanto para o pH do exsudato, a metodologia recomendada é a que contempla um volume de 50 mL de água destilada, 12 horas de embebição e 30 sementes. Já em relação ao teste de raio-X, foi identificado que esse teste é eficaz para avaliação das sementes de *A. urundeuva* ao ser realizado com um comprimento de 15 cm e com o software ImageJ®. Portanto, os resultados destacam não apenas a viabilidade e a importância da utilização de testes rápidos para a avaliação da viabilidade e do vigor das sementes de espécies florestais nativas, mas também a necessidade de padronização metodológica dos testes para cada espécie, o que contribuirá para a comparação de resultados entre diferentes estudos e para o avanço dos testes de avaliação.

Palavras-chave: Testes rápidos, avaliação da qualidade fisiológica, vigor, sementes florestais.

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **GERMINATION AND VIGOR TESTS OF SEEDS OF *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.** 2024. Advisor: Marcene Moreira Santos. Co-advisors: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

GENERAL OVERVIEW

This study aimed to conduct a bibliometric review of the most commonly used rapid tests over the past 20 years, adapt the exudate pH and electrical conductivity tests for assessing the vigor of *Astronium urundeuva* seeds, and perform a physical and physiological evaluation of the seeds using the X-ray test. To achieve these objectives, scientific articles were retrieved from the Scopus and Web of Science (WoS) databases, covering the period from January 1, 2004, to January 1, 2024. The retrieved articles were analyzed for the tests employed and methodological details. To adapt the selected tests, evaluations were conducted in the Forest Seed Analysis Laboratory at the Federal Rural University of Pernambuco, with the X-ray tests performed in the Seed Analysis Laboratory at the Federal University of Lavras. Five seed lots were used, and experiments were set up in a completely randomized design (CRD) with four replicates for each lot. The bibliometric review results were analyzed using the Bibliometrix software, while the adaptation results for the rapid tests were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ($p \leq 0.05$) using SISVAR and RStudio software. The review identified that the tetrazolium, accelerated aging, and electrical conductivity tests are the most widely used. Regarding the adaptations, for both the electrical conductivity and exudate pH tests, the recommended methodology involves using 50 mL of distilled water, a soaking period of 12 hours, and 30 seeds. For the X-ray test, it was determined to be an effective method for evaluating *A. urundeuva* seeds when conducted with a distance of 15 cm and analyzed using the ImageJ® software. Therefore, the results of this research highlight not only the feasibility and importance of using rapid tests to assess the viability and vigour of seeds from native forest species, but also the need for methodological standardization of the tests for each species, which will help to compare results between different studies and advance evaluation tests.

Keywords: Rapid tests, evaluation of physiological quality, vigor, forest seeds.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Astronium urundeuva (M.Allemão) Engl., cujo basionímio é *Myracrodruon urundeuva* (Mitchell; Dally, 2017; Silva Luz *et al.*, 2020), pertence à família Anacardiaceae e é popularmente conhecida como aroeira-do-sertão. Sua distribuição geográfica abrange diversos biomas brasileiros, incluindo a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal (Pareyn *et al.*, 2018; Lorenzi, 1992). Essa espécie é classificada como dioica (indivíduos com estruturas reprodutivas distintas), seus frutos são do tipo drupa e as sementes são ortodoxas com tamanho variando entre 2 a 0,4 mm. Possui um notável valor ornamental, apícola, madeireiro e medicinal (Dantas; Kill, 2023).

Porém, existe uma escassez de estudos que objetivam o ajuste de testes rápidos para avaliar o vigor das sementes da aroeira-do-sertão. Deste modo é notória a importância de que seja realizada a adequação das metodologias, assim como, para demais espécies florestais nativas. Visto que, a qualidade das sementes é um fator essencial para garantir seu potencial germinativo (Xavier *et al.*, 2020). Além disso, compreender a qualidade das sementes também facilita a tomada de decisões relacionadas à produção de mudas de espécies nativas, que é fundamental para a recuperação de áreas degradadas e outras iniciativas de conservação (Vasconcelos *et al.*, 2020).

Comumente, o teste de germinação é empregado para avaliar a viabilidade dos lotes, e segue as regras estabelecidas para análise de sementes (Brasil, 2009). Os mesmos são aplicáveis tanto a sementes de espécies agrícolas quanto a sementes de espécies florestais, abrangendo tanto nativas quanto exóticas (Fiordalisi *et al.*, 2012). Contudo, é crucial enfatizar que o teste de germinação, quando conduzido em condições ideais de temperatura, umidade e substrato, tem a tendência de superestimar os resultados devido às condições ótimas impostas, o que limita sua capacidade de avaliar o real vigor das sementes (Gagliardi e Marcos Filho, 2011).

Sendo assim, os testes convencionais de germinação frequentemente não fornecem uma avaliação completa do desempenho das sementes devido às condições ótimas que são empregadas (Cruz *et al.*, 2020). Essa lacuna é uma preocupação significativa, uma vez que o vigor das sementes é o que determina sua capacidade de germinação, mesmo em condições adversas. Diante disso, há uma demanda crescente pelo desenvolvimento ou aprimoramento de testes rápidos, permitindo que os produtos cheguem ao mercado mais rapidamente (Brandani, 2017). Alguns destes testes complementam as informações fornecidas pelo teste de germinação

e outros atributos que compõem a qualidade das sementes de forma não destrutiva (ElMasry *et al.*, 2020; Medeiros *et al.*, 2020).

Dentre os testes rápidos mais comumente utilizados para avaliar o vigor das sementes está o teste de condutividade elétrica. Sua avaliação consiste na quantificação de materiais lixiviados durante a embebição que está diretamente relacionada ao nível de deterioração das sementes (Torres *et al.*, 2015; Azeredo *et al.*, 2016). Outro teste em destaque é a análise de imagem, que utiliza tecnologias avançadas para avaliar a qualidade das sementes, possibilitando a obtenção de resultados altamente confiáveis e passíveis de reprodução (Toda *et al.*, 2020). O teste de tetrazólio também é comumente empregado e se baseia na redução da respiração ocorrida nas células vivas. Durante o processo de respiração dos tecidos vivos, íons de H⁺ são liberados e, em seguida, transferidos por um grupo de enzimas para um aceptor de elétrons (o sal de tetrazólio), com destaque para a desidrogenase do ácido málico. Essas enzimas reagem com o tetrazólio, resultando na formação de um composto vermelho estável e não difusível chamado trifênil formazan. Uma vez que essa reação ocorre no interior das células vivas e o composto resultante não se difunde, esse teste possibilita, de forma eficaz, a identificação dos tecidos vivos, que adquirem coloração, em contraste com os tecidos mortos, que não exibem coloração (Brasil, 2009).

Além dos testes mencionados, outros testes têm ganhado reconhecimento na avaliação do vigor das sementes, devido à sua simplicidade, facilidade de aplicação e rapidez nos resultados. Um exemplo é o teste de pH do exsudato, que se fundamenta na avaliação da permeabilidade das membranas por meio da lixiviação de solutos e na manutenção de sua integridade (Melo, 2021). Este teste também se fundamenta na lixiviação de compostos da membrana celular durante o período de embebição, sendo diretamente relacionado a quantidade de íons H⁺ lixiviados que ocasionam a redução do pH da solução, tornando-a ácida (Matos *et al.*, 2009). Assim, este teste oferece resultados rápidos e de fácil execução, podendo auxiliar na tomada de decisões sobre a utilização ou armazenamento desnecessário de lotes com baixo vigor (Ramos *et al.*, 2012). No entanto, é importante ressaltar que, embora seja um teste eficaz para avaliar sementes de espécies florestais, o teste de pH do exsudato tem sido realizado principalmente em sementes agrícolas, havendo poucas referências para sementes de espécies florestais nativas, como a *A. urundeuva*.

Portanto, esta dissertação possui como hipóteses: Nos últimos 20 anos, testes rápidos para avaliação da viabilidade e vigor de sementes têm sido utilizados em pesquisas científicas; Os testes rápidos de CE e pH do exsudato são promissores e seguros para avaliar o vigor das

sementes de *Astronium urundeuva*; O teste de raio-X é viável para a avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de *Astronium urundeuva*.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Adequar dois testes rápidos para avaliar o vigor das sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar os testes rápidos mais utilizados nos últimos 20 anos;
- Adequar o teste do exsudato para avaliar o vigor das sementes de *A. urundeuva* (M. Allemão) Engl.;
- Adequar o teste da condutividade elétrica para avaliar o vigor das sementes de *A. urundeuva* (M. Allemão) Engl.;
- Identificar a qualidade interna das sementes através da análise de imagem (raio-X).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Caracterização da espécie

A *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl., cujo basionímio é *Myracrodruon urundeuva*, pertence à família Anacardiaceae e é popularmente conhecida como aroeira-do-sertão, aderno, almecega, arendeúva, arindeúva ou simplesmente aroeira, nativa mas não endêmica do Brasil (Mitchell; Dally, 2017; Silva-Luz *et al.*, 2020). O nome "aroeira" deriva de "araroeira", uma junção de "arara" e o sufixo "eira", que significa "árvore da arara" (Silva *et al.*, 2018).

Sua distribuição geográfica abrange diversos biomas brasileiros, incluindo a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal (Pareyn *et al.*, 2018; Lorenzi, 1992). Sendo assim, é encontrada em várias regiões fitoecológicas específicas: na Floresta Estacional Semidecidual Submontana; na Floresta Estacional Decidual, no oeste da Bahia; na formação Submontana, no baixo Paranaíba, em Minas Gerais; e nas formações das Terras Baixas e Submontana, em Mato Grosso do Sul (Carvalho *et al.*, 1996; Carvalho *et al.*, 1999). Ou seja, é uma espécie que ocorre nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, estendendo-se até a região chaquenha na Bolívia, Paraguai e Argentina (Lorenzi, 2002).

Silva *et al.* (2018) ainda afirmam que a *A. urundeuva* é uma árvore de grande porte, podendo atingir até 20 metros de altura no Cerrado e até 30 metros na Mata Atlântica, com floração dos meses de julho a setembro e a maturação dos frutos de setembro a outubro, o tronco pode possuir até 1 metro de diâmetro, copa ampla (aproximadamente piramidal) e caducifolia nos meses mais secos (coincidindo com a época de floração), tronco retilíneo e madeira de alta densidade (Figura 1).



Figura 1. *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.

Fonte: Campos-Filho e Sartorelli, 2015.

A. urundeuva é caracterizada como uma planta decídua, heliófila e seletiva xerófila, adaptada a terrenos secos e rochosos. Esta espécie ocorre em agrupamentos densos, tanto em formações abertas e secas quanto em formações fechadas e úmidas, pertencendo ao grupo ecológico das espécies secundárias tardias (Lorenzi, 1992; Carvalho, 1994). Silva *et al.* (2018) também apontam que a *A. urundeuva* é dioica, apresentando indivíduos com estruturas reprodutivas distintas.

Os frutos da *A. urundeuva* são do tipo drupa, e as sementes são ortodoxas, únicas, piriforme, com tegumento membranáceo, desprovido de endosperma, variando em tamanho entre 2 a 0,4 mm, globosa, com epicarpo castanho-escuro, mesocarpo castanho, carnoso, resinífero, com odor característico e tegumento membranáceo (Almeida *et al.*, 1998).

Segundo Figueirôa (2004), as folhas da *A. urundueva* são compostas, imparipinadas, de inserção alterna, com 5 a 7 pares de folíolos opostos, ovados, com até 5 cm de comprimento e 3 cm de largura e os folíolos quando macerados exalam forte odor de terebintina (cheiro similar ao de manga). E que, as flores masculinas, sésseis, pequenas, de coloração púrpura, hermafroditas, reunidas em panículas de até 20 cm de comprimento, frutos do tipo drupa globosa ou ovóide, com cálice persistente (Figura 2).

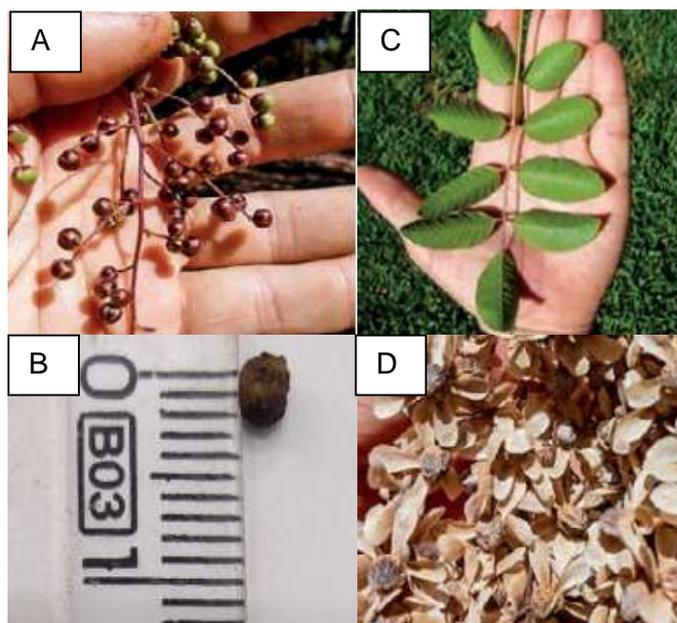


Figura 2. Frutos (A), semente (B), folha (C) e flores (D) de *Austronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.

Fonte: Campos-Filho e Sartorelli, 2015.

A *A. urundeuva* é uma espécie calcífila, apresentando melhor desenvolvimento em solos ricos em cálcio (Ca), rasos e situados em declives acentuados (Heringer e Ferreira, 1973).

3.2. Importância econômica da espécie

A *A. urundeuva* possui notável valor medicinal, apícola e madeireiro (Dantas; Kill, 2023). Segundo Carlini *et al.* (2010), a madeira desta espécie é utilizada na construção civil, na indústria de curtimento de couro, para a construção de cercas, na apicultura e na extração de taninos, sendo considerada imputrescível devido à sua alta resistência a microrganismos por longos períodos (Frizon *et al.*, 2021). Tanto que, a madeira de *A. urundeuva* é considerada mais resistente às intempéries (chuva, umidade, radiação solar, ataques biológicos) do Brasil, com mourões que podem durar mais de cem anos ao ar livre sem tratamento, além do mais, a espécie apresenta uma velocidade de crescimento moderada, com um Incremento Médio Anual (IMA) de 5,6 m³/ha/ano, atingindo uma altura média de 10,5 metros em plantios comerciais de nove anos (Campos-Filho; Sartorelli, 2015).

No setor energético, a lenha e o carvão de *A. urundeuva* são de alta qualidade, com um poder calorífico em torno de 4.582 kcal/kg (Silva *et al.*, 2018). Além disso, a *A. urundeuva* também é utilizada na composição de decorações florísticas e na recuperação de ambientes

degradados e desmatados (Scalon *et al.*, 2012). Na medicina popular, a espécie é empregada no tratamento de hemorragias, infecções respiratórias, urinárias e distúrbios do sistema digestório, apresentando efeitos anti-inflamatórios e cicatrizantes comprovados (Matos, 1999; Albuquerque *et al.*, 2004). Ainda mais, é utilizada em projetos de restauração florestal devido à sua eficiência, excelente germinação e alta taxa de sobrevivência, assim como na arborização urbana (Campos-Filho; Sartorelli, 2015; Lucena *et al.*, 2011).

De acordo com a Instrução Normativa MMA nº 6, de 23 de setembro de 2008, a *A. urundeuva* (*Myracrodruon urundeuva*) foi incluída na lista de espécies ameaçadas de extinção pelo Ministério do Meio Ambiente, devido à exploração excessiva em função de suas propriedades farmacológicas e da durabilidade de sua madeira (Brasil, 2008). Devido a isso, em 2012 a espécie foi considerada no “Relatório Brasileiro sobre Recursos Genéticos Florestais” (FAO, 2012), como uma espécie arbórea prioritária para conservação genética e para iniciativas de pesquisa no Brasil, devido ao seu alto valor econômico (Silva *et al.*, 2022).

No entanto, Vieira *et al.* (2019) indicam que, em 2014, a espécie foi considerada fora de perigo, embora sua exploração continue proibida pela Portaria N.º 83-N, de 26 de setembro de 1991, sendo permitida apenas por meio de um Plano de Manejo Florestal de Rendimento Sustentado, previamente aprovado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Isso com base atualização da Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA)

3.3. Vigor e viabilidade de sementes

A propagação seminal é a principal forma de propagação da espécie e manutenção da variabilidade genética, sendo depositadas em bancos de sementes no solo após a dispersão, que influencia na distribuição geográfica, dinâmica, persistência e estrutura genética das populações naturais (Clobert *et al.*, 2012). Neste contexto, o vigor de sementes é uma característica fisiológica de qualidade que acompanha, de modo geral, a mesma proporção de acúmulo de matéria seca na semente (Assis; Dalstra, 2019). Sendo assim, uma semente atinge seu máximo vigor quando atingir o máximo acúmulo de matéria seca, mas isso varia de acordo com a espécie e das condições ambientais (Carvalho; Nakagawa, 2000)

A manutenção da qualidade fisiológica das sementes é um desafio complexo, uma vez que são sensíveis à influência de fatores ambientais. Esse desafio é ainda mais significativo em um mercado que demanda sementes de alto padrão, com elevado poder germinativo e vigor

(Brandelero *et al.*, 2019). Dentre os fatores que influenciam na preservação do potencial fisiológico das sementes, destaca-se a qualidade e o teor inicial de água, os quais impactam diretamente no metabolismo interno e na sua deterioração precoce.

Além disso, a umidade e a temperatura durante a colheita e o armazenamento desempenham um papel crucial, uma vez que, podem favorecer o desenvolvimento de patógenos que comprometem a qualidade das sementes (Costa *et al.*, 2003). Conforme destacado por Delouche e Baskin (1973), a redução do potencial fisiológico das sementes ocorre em decorrência de uma série de processos bioquímicos em cascata, que vão desde a degradação das membranas celulares até a morte celular. A perda da capacidade germinativa representa a etapa final desse processo, precedendo a morte celular. Assim, compreender os mecanismos que regem esses processos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de preservação da qualidade das sementes ao longo do tempo de armazenamento.

3.4. Testes rápidos de avaliação de sementes

A avaliação do vigor das sementes desempenha um papel crucial na garantia do potencial germinativo de um lote, e uma avaliação precisa e eficaz do vigor das sementes não apenas fornece subsídios para programas de controle de qualidade, mas também contribui para a maximização do retorno sobre o investimento no potencial germinativo do lote. Sendo assim, a rapidez na obtenção de resultados confiáveis é um dos principais aspectos considerados na avaliação do vigor das sementes, pois permite a agilidade na tomada de decisões, possibilita seu emprego em escalas mais amplas, diminuindo os riscos e custos em operações como colheita, processamento, armazenamento e comercialização (Barbieri *et al.*, 2012).

Portanto, a realização correta dessas avaliações é fundamental para assegurar o sucesso e a eficiência dos processos de produção de sementes. Entretanto, é observado que, na maioria dos casos, o controle de qualidade fisiológica de sementes tem se limitado à realização de testes de germinação realizados conforme as diretrizes impostas pela Regra de Análises de Sementes (RAS), com foco principalmente em espécies agrícolas (Brasil, 2009; Fiordalisi *et al.*, 2012). Essas normas são editadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Entretanto, os testes de vigor são mais eficazes por fornecerem índices mais sensíveis do potencial fisiológico, quando comparados aos testes de germinação, além do mais, algumas espécies possuem um processo de germinação demorado e os testes rápidos auxiliam na obtenção da resposta de forma mais rápida e fácil (AOSA, 2002).

Nesse contexto, nos últimos anos houve uma evolução significativa neste campo, impulsionada por novos estudos sobre o desenvolvimento de testes rápidos, seguros e confiáveis, assim como aprimoração e ajustes destes testes para sementes das mais diversas espécies, destacando-se os testes de condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e de tetrazólio, nos quais alguns já possuem metodologias padronizadas pela RAS, como as sementes de espécies agrícolas (Brasil, 2009). Esse avanço tem conferido uma crescente importância à avaliação da qualidade das sementes no contexto da produção, não apenas fornecendo informações essenciais para programas de controle de qualidade, mas também otimizando processos e reduzindo custos.

3.5. Condutividade elétrica de sementes

A lixiviação de solutos é uma das primeiras alterações nos processos bioquímicos das sementes, ocorrendo antes dos declínios na capacidade germinativa. Esse fenômeno é um indicativo inicial da deterioração das sementes devido à perda de integridade dos sistemas das membranas celulares (Silva *et al.*, 2020). A quantificação do material lixiviado tem sido utilizada para avaliar o estado de deterioração e vigor das sementes. Entre os testes baseados nessa premissa, destaca-se o teste de condutividade elétrica (CE), frequentemente empregado para avaliar o vigor das sementes devido à sua facilidade de execução e rapidez na obtenção dos resultados. Este teste mede a quantidade de eletrólitos lixiviados, que aumentam com a deterioração das membranas celulares das sementes (Moura *et al.*, 2017; Vieira; Marcos, 2020).

O teste de condutividade elétrica é um dos mais utilizados para avaliar o vigor das sementes por ser um teste simples, rápido e confiável (Marques; Dutra, 2018). Nesse procedimento, as sementes são embebidas em água destilada ou milliQ por diferentes períodos de tempo. A presença de eletrólitos na solução reduz a resistência elétrica, o que fundamenta a medida de condutividade elétrica, conforme mencionado anteriormente (Silva *et al.*, 2020). O teste é influenciado por diversos fatores, incluindo o volume de água de imersão, o teor de água das sementes, o tempo e a temperatura de embebição (Avelino, 2018). Além disso, fatores como danos mecânicos, injúrias por insetos, tamanho, genótipo, tratamento químico, qualidade e volume de água, assim como o tamanho do recipiente de embebição, também afetam os resultados do teste de condutividade elétrica (Krzyzanowsky, 2020). Portanto, é importante que o teste seja padronizado de acordo com as características específicas de cada espécie.

3.6. pH do exsudato de sementes

O teste de pH do exsudato, desenvolvido pelo pesquisador Ademir Amaral e pelo Professor Silmar Teichert Peske em 1984, na Universidade Federal de Pelotas-RS, Brasil, é uma ferramenta importante na avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Esse teste se baseia no processo de deterioração, cuja alteração bioquímica inicial é a desestruturação do sistema de membranas ao nível celular ocasionando a acidificação do meio no qual as sementes ficam em embebição, além do mais, é um teste de vigor que possui baixo custo, rápido e de fácil execução (Araldi; Coelho, 2015; Araújo, 2018). Sendo assim, os resultados deste teste são atribuídos à avaliação do desequilíbrio na capacidade de regular o fluxo de solutos, tanto na célula quanto na organela (Ribeiro, 2000).

Sendo assim, a integridade das membranas é fundamental, uma vez que a desestruturação das membranas celulares é um dos primeiros passos que desencadeia a deterioração das sementes, resultando na diminuição da velocidade e da taxa de germinação das mesmas (Marcos Filho, 2015). Conforme Hampton (1995), sementes com baixa viabilidade e vigor tendem a apresentar maior lixiviação de solutos do que sementes vigorosas com alta germinação. Em relação a metodologia de avaliação do teste de pH do exsudato, geralmente são utilizadas soluções indicadoras de pH, ou utilização de pHmêtro de bancada para quantificação do pH, como a solução de fenolftaleína junto com o carbonato de sódio, para avaliar a integridade das membranas de acordo com o pH da solução de embebição (Matos *et al.*, 2009).

Quando adicionada a um meio básico, a fenolftaleína sofre uma reação química com coloração variando de tonalidades de rosa ou incolor, de acordo com a viabilidade das sementes. Alguns pesquisadores classificaram a coloração em 3 classes, sendo elas: rosa com tonalidade mais escura, rosa claro e a incolor, ou consideram 4 classes: rosa forte, rosa médio, rosa fraco e incolor (Araújo *et al.*, 2018). Independentemente, os meios que apresentam coloração rosa clara (fraco) e incolor significam sementes consideradas inviáveis (Araldi; Coelho, 2015). Isso ocorre devido à interação dos íons OH⁻ do meio básico com os íons H₃O⁺ da fenolftaleína, por outro lado, em meio ácido a solução permanece incolor devido ao aumento da concentração de íons H⁺, açúcares e ácidos orgânicos que desloca o equilíbrio químico (Araújo *et al.*, 2018).

3.7. Raio-X de sementes

Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos testes sofisticados para avaliação do vigor, qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes, incluindo a análise por raio-X. Inclusive, a radiografia por meio de raio-X é recomendada pela International Seed Testing Association (ISTA) (2018), pois tem se mostrado uma ferramenta eficiente na avaliação da qualidade física das sementes. Esse teste foi pioneiramente utilizado por Simak e Gustafsson (1953) para avaliar sementes de *Pinus sylvestris* L., destacando-se pela vantagem de não comprometer a viabilidade das sementes (Simak *et al.*, 1989). O teste de raio-X oferece benefícios significativos devido à sua rapidez, facilidade de execução e natureza não destrutiva. O tempo médio de exposição de cinco segundos e os baixos comprimentos de onda utilizados não apresentam risco de mutação ou alterações no potencial germinativo das sementes e o teste não é influenciado por fatores ambientais (Abud *et al.*, 2018; Rahman; Cho, 2016).

A mensuração dos dados obtidos por meio de radiografias é comumente realizada utilizando o *software* ImageJ®. Esse *software* tem apresentado resultados positivos tanto na avaliação de imagens de sementes quanto na análise de plântulas (Dell'aquila, 2007; Silva *et al.*, 2012). Além disso, permite a análise detalhada das radiografias, facilitando a identificação de anomalias internas, como danos físicos, má formação e presença de insetos, sem danificar as sementes. O teste de raio-X tem sido indispensável para relacionar a morfologia das sementes com a capacidade de germinação e a morfologia das plântulas de diversas espécies, tanto agrícolas quanto florestais (Gagliardi; Marcos Filho, 2011). Essa correlação é fundamental para programas de melhoramento genético e para a produção de sementes de alta qualidade, uma vez que permite a seleção de sementes com maior potencial de germinação e desenvolvimento vigoroso.

Portanto, a análise por raio-X representa um avanço significativo na tecnologia de avaliação de sementes, oferecendo uma ferramenta rápida, precisa e não invasiva para garantir a qualidade e o vigor das sementes utilizadas na agricultura e silvicultura modernas.

3.8. Revisão bibliométrica:

Conforme Chueke e Amatucci (2022), a revisão bibliométrica é uma metodologia amplamente empregada para avaliações sistemáticas, caracterizada pela capacidade de lidar com um grande volume de artigos científicos por meio de análises estatísticas e matemáticas. Seu principal objetivo é identificar e organizar informações como os autores mais relevantes, anos de publicação, países de origem, produção científica anual sobre um tema específico, entre outros aspectos. Além disso, os métodos bibliométricos possibilitam a identificação dos estudos mais influentes, dos pesquisadores de maior destaque e dos periódicos com maior impacto em uma área específica do conhecimento.

Essa abordagem não só proporciona uma análise sistemática dos achados, mas também oferece subsídios para a formulação de novas teorias e delineamento de objetivos de pesquisa (Ensslin et al., 2010). Segundo Guedes e Borschiver (2005), a bibliometria se fundamenta em três leis, que são consideradas basilares de sua estrutura: Lei de Bradford (produtividade de periódicos), Lei de Lotka (produtividade científica de autores) e Lei de Zipf (frequência de palavras). A premissa central dos estudos bibliométricos é que a geração de conhecimento no meio acadêmico se manifesta por meio da produção científica. Os resultados obtidos após uma análise bibliométrica podem abranger os seguintes elementos:

1. Identificação de tendências e crescimento do conhecimento em uma área: permite mapear como determinado campo científico evolui ao longo do tempo.
2. Previsão da produtividade e identificação da influência de autores individuais, organizações ou países: possibilita reconhecer os principais contribuintes e suas respectivas influências no desenvolvimento científico.
3. Medição do surgimento de novos temas: auxilia na detecção de áreas emergentes de pesquisa e inovação.
4. Análise dos processos de citação e co-citação: oferece insights sobre as interconexões entre trabalhos científicos e a estrutura das redes de conhecimento.

Para realizar análises bibliométricas, diferentes ferramentas estão disponíveis, variando em complexidade e funcionalidades. Algumas plataformas oferecem dados pré-processados e de fácil interpretação, enquanto outras exigem maior familiaridade com linguagens e sistemas de informação. Exemplos incluem o BibExcel, que facilita a visualização de dados, e o Pajek, usado para análise de redes. Essas ferramentas são aplicadas em repositórios como a Web of

Science, permitindo a construção de indicadores de produtividade científica e tecnológica (Ruas; Pereira, 2014).

4. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. J. M.; RODRIGUES, L. V.; VIANA, G. S. B. Análise clínica e morfológica da conjuntivite alérgica induzida por ovalbumina e tratada com chalcona em cobaias. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 43-48, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-86502004000100007>

ALMEIDA, I. P. C. Influência do potencial osmótico e da salinidade na germinação de azevém. 2022.

AOSA, I. Seed vigor testing handbook. Association of Official Seed Analysts. **Contribution**, v. 32, p. 88, 1983.

ARALDI, C. G.; COELHO, C. M. M. pH do exsudato na avaliação da viabilidade de sementes de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 426-433, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.082314>

ARAÚJO, A. V.; SILVA, M. A. D. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de *Encholirium spectabile* Mart. ex Schult. & Schult. f. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 56-66, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509831576>

ASSIS, A. A.; DALASTRA, I. M. Teste de condutividade elétrica para determinação de vigor de sementes de trigo. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 4, p. 40-48, 2019.

AZEREDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Electrical conductivity in *Piptadenia moniliformis* Benth. seed lots classified by size and color. **Revista Árvore**, v. 40, p. 855-866, 2016.

BARBIERI, A. P. *et al.* Teste de lixiviação de potássio para a avaliação do vigor de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 117-124, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222012000100015>

BRANDANI, E. B. Análise de imagens na avaliação do vigor de sementes de soja. 2017. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília. 2017.

BRANDELERO, W. *et al.* Vigor e viabilidade de sementes de soja em resposta a umidade durante o processo de armazenagem. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 342-350, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução normativa. Instrução Normativa nº 6, de setembro de 2008**. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Brasília, DF: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil] (Seção 1, v. 145, n. 185, p. 75-83).

CAMPOS-FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. Guia de árvores com valor econômico (141 p). São Paulo: Agroicone, 2015.

CARLINI, E. A.; DUARTE-ALMEIDA, J. M.; RODRIGUES, E.; TABACH, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (aroeira-do-sertão). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 2, p. 140-146, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000200001>

CARVALHO, D. A. de; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VILELA, E. de A. Flora arbustivo-arbórea de mata ripária do médio Rio Grande (Conquista, Estado de Minas Gerais). **Cerne**, v. 2, p. 48-68, 1996.

CARVALHO, D. A. de; OLIVEIRA-FILHO, A. T. de; VILELA, E. de A. Florística e fitossociologia da vegetação arbóreo/arbustiva de floresta ripária decídua do baixo Paranaíba (Santa Vitória, Minas Gerais). **Revista Árvore**, v. 23, p. 311-320, 1999.

CARVALHO, N. M. de; NAKAGAWA, J. (Ed.). Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. **Jaboticabal**, SP: Funep, p. 588, 2000.

CARVALHO, P. E. R. *et al.* Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. 1994.

CLOBERT, J. *et al.* Dispersal ecology and evolution. **Oxford: Oxford University Press**, 449 p., 2012.

COSTA, N. P. *et al.* Qualidade fisiológica, física e sanitária de sementes de soja produzidas no Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, p. 128-132, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000100020>

CRUZ, D. R. C. *et al.* Métodos de quebra de dormência em sementes de quiabo. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 1-14, 13 set. 2020.

DANTAS, B. F.; KIILL, LHP. Aroeira-do-sertão *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.-Anacardiaceae. 2023.

DELL'AQUILA, A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis. **Biologia Plantarum**, v. 51, p. 777-781, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0159-9>

DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, p. 427-452, 1973.

FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasilica**, v. 18, p. 573-580, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000300015>

ELMASRY, G. *et al.* Emerging thermal imaging techniques for seed quality evaluation: Principles and applications. **Food Research International**, v. 131, p. 109025, 2020.

FIORDALISI, S.A. L. *et al.* Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de espécies olerícolas. 2012.

GAGLIARDI, B.; MARCOS FILHO, J. Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 4, p. 411-416, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000400004>

HAMPTON, J. G.; VAN DE VENTER, H. A. **Seed vigour testing seminar**. 1995.

HERINGER, E. P.; FERREIRA, M. B. Árvores úteis da região geoeconômica do D. F. - aroeira, gonçalo e gibatão. **Cerrado**, Brasília, p. 24-33, 1973.

KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos *et al.* Vigor de sementes: conceitos e testes. 2020.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Nova Odessa: Plantarum**, p. 382, 1992.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. ed. São Paulo: v. 2, p. 384, 2002.

LUCENA, R. F. P. *et al.* Uso e conhecimento da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) por comunidades tradicionais no Semiárido brasileiro. **Sitientibus série Ciências Biológicas**, v. 11, n. 2, p. 255-264, 2011.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2015.

MATOS, F. J. A. Plantas de medicina popular do Nordeste: propriedades atribuídas e confirmadas. **Fortaleza: Edições UFC**, p. 80, 1999. <https://doi.org/10.17648/heringeriana.v3i1.64>

MATOS, J. M. M.; MARTINS, R. C. C.; MARTINS, I. S. Caracterização do teste de pH de exsudato pelo método individual para avaliação da viabilidade de sementes de *Copaifera langsdorffi* Desf. **Revista Heringeriana**. n. 3, p. 81-87, 2009.

MELO, L. A. M. Técnicas de análise rápida do vigor das sementes de espécies arbóreas/florestais nativas do Cerrado. 2021.

MITCHELL, J. D.; DALY, Do. C. Notes on *Astronium Jacq.*(Anacardiaceae), including a dwarf new species from the Brazilian Shield. *Brittonia*, v. 69, p. 457-464, 2017.

MOURA, M. C. F. *et al.* Teste da condutividade elétrica na avaliação fisiológica em sementes de *Vigna unguiculata*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 714-721, 2017. <https://doi.org/10.19084/RCA17034>

PAREYN, F. G. C. *et al.* *Myracrodruon urundeuva* – Aroeira. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F.G.C. (orgs.). **Espécies Nativas**, p. 766-772. 2018.

RAMOS, K. M. O. *et al.* Testes de condutividade elétrica aplicados à avaliação de *Kielmeyera coriacea* Mart. sementes. **Avisos de Pesquisa Acadêmica Internacional**, v. 2012, 2012.

RIBEIRO, U. P. Condicionamento fisiológico de sementes de algodão: efeitos sobre a germinação, vigor, atividade enzimática e armazenabilidade. 2000.

SCALON, S. P. Q.; FILHO, H. S.; MASETTO, T. E. Aspectos da germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de aroeira. **Cerne**, v. 18, p. 533-539, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000400002>

SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; MITCHELL, J. D. Anacardiaceae in Flora do Brasil 2020 em construção. 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

SILVA, L. L. H. *et al.* Características energéticas do carvão vegetal de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). **Ciência Florestal**, v. 28, p. 412-419, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509831619>

SILVA, V. N.; CICERO, S. M.; BENNETT, M. Relationship between eggplant seed morphology and germination. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 597-604, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000400010>

SILVA, V. B. *et al.* Avaliação da germinação de diásporos de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) submetidos a diferentes métodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6791596>

SIMAK, M.; GUSTAFSSON, Å. X-ray photography and sensitivity in Forest tree species. **Hereditas**, v. 39, p. 458-468, 1953. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1953.tb03430.x>

TODA, Y. *et al.* Training instance segmentation neural network with synthetic datasets for crop seed phenotyping. **Communications biology**, v. 3, n. 1, p. 173, 2020.

TORRES, S. B. *et al.* Teste de condutividade elétrica na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de coentro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 622-629, 2015.

VASCONCELOS, W. A. *et al.* Testes alternativos para a avaliação da viabilidade fisiológica de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. **Pubvet**, v. 14, n. 04, 2020.

VIEIRA, A. C. C. *et al.* Utilização de resíduos agroindustriais na produção de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allemão). **MAGISTRA**, v. 30, p. 86-93, 2019.

VIEIRA, R. D.; MARCOS FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. Vigor de sementes: conceitos e testes, p. 601: il., 2020.

XAVIER, F. M. *et al.* Utilização de substratos alternativos na avaliação de desempenho de plântulas de arroz oriundas de sementes tratadas. XXII Encontro de pós-graduação, Pelotas, Pelotas, 2020.

CAPÍTULO I:**QUALIDADE DE SEMENTES POR MEIO DE TESTES RÁPIDOS: UMA ANÁLISE
BIBLIOMÉTRICA**

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **QUALIDADE DE SEMENTES POR MEIO DE TESTES RÁPIDOS: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA**. 2024. Orientador: Marcone Moreira Santos. Coorientadores: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

RESUMO

A qualidade das sementes é essencial para garantir o sucesso na produção de plantas. Tradicionalmente, o teste de germinação é utilizado para avaliar a viabilidade das sementes, mas é um processo demorado que implica na perda de vigor de espécies recalcitrantes, por exemplo. Como alternativa, os testes rápidos têm sido cada vez mais explorados devido à sua eficiência e menor tempo para avaliação. Com base nisso, objetivou-se neste capítulo apresentar uma revisão bibliométrica dos testes de avaliação da viabilidade e vigor das sementes, com foco nos testes rápidos. Para isso, foi realizado um levantamento de artigos científicos nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS), tendo um lapso de tempo de 20 anos. Os resultados das pesquisas do Scopus foram baixados em formato “PDF” e “Csv” e do WoS em formato “PDF” e “Bibtex”, posteriormente foi realizada a junção dos dados por meio do programa RStudio e posteriormente o material foi avaliado através do Bibliometrix. Além disso, os materiais baixados em formato PDF foram analisados quanto aos testes utilizados, detalhes metodológicos e espécies estudadas. Os resultados revelam uma ampla gama de testes rápidos empregados, sendo o teste de tetrazólio, o teste de envelhecimento acelerado e o teste de condutividade elétrica os mais utilizados nos trabalhos resultantes das buscas. O Brasil destaca-se como um dos principais contribuintes para a pesquisa nesse campo, refletindo o interesse e investimento significativos no setor agrônômico. Além disso, o uso de tecnologias avançadas, como imagem hiperespectral e raio-X, está contribuindo na avaliação da qualidade e vigor das sementes, proporcionando maior precisão e detalhamento na detecção de defeitos e anomalias. A padronização dos testes e a consideração das condições ótimas das diferentes espécies são essenciais para garantir resultados confiáveis e comparáveis entre diferentes estudos.

Palavras-chave: viabilidade, sementes florestais, vigor de sementes.

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **SEED QUALITY THROUGH RAPID TESTS: A CIENCIOMETRIC ANALYSIS**. 2024. Advisor: Marcone Moreira Santos. Co-advisors: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

ABSTRACT

Seed quality is essential to ensure the success of plant production. Traditionally, the germination test is used to assess seed viability, but it is a time-consuming process that can lead to vigor loss in recalcitrant species, for instance. As an alternative, rapid tests have been increasingly explored due to their efficiency and shorter evaluation time. Based on this, the objective of this chapter was to present a bibliometric review of seed viability and vigor assessment tests, focusing on rapid tests. To achieve this, a survey of scientific articles was conducted using the Scopus and Web of Science (WoS) databases, covering a 20-year period. The search results from Scopus were downloaded in "PDF" and "CSV" formats, and those from WoS in "PDF" and "BibTeX" formats. The data were then merged using RStudio, and the material was analyzed with the Bibliometrix package. Additionally, the articles in PDF format were examined for the types of tests employed, methodological details, and studied species. The results revealed a wide range of rapid tests in use, with the tetrazolium test, accelerated aging test, and electrical conductivity test being the most frequently utilized among the articles reviewed. Brazil stands out as one of the leading contributors to research in this field, reflecting significant interest and investment in the agronomic sector. Furthermore, the use of advanced technologies, such as hyperspectral imaging and X-rays, is enhancing seed quality and vigor evaluation, providing greater precision and detail in detecting defects and anomalies. Standardization of testing methods and consideration of optimal conditions for different species are essential to ensure reliable and comparable results across studies.

Keywords: viability, forestry seeds, methodology.

1. INTRODUÇÃO

A propagação de espécies vegetais é predominantemente realizada por meio de sementes, assim, tem-se a necessidade de avaliar e garantir a qualidade desse material propagativo quanto aos aspectos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários. Tradicionalmente, o teste de germinação é o teste mais comumente utilizado, este teste envolve a observação da capacidade de germinação das sementes sob condições controladas, medindo a porcentagem de germinação para inferir a viabilidade. Embora bastante utilizado, o teste de germinação tem limitações, incluindo a duração do teste, que pode se estender por várias semanas ou meses, dependendo da espécie. Isso se torna um problema, principalmente quanto às espécies que são recalcitrantes ou que germinam lentamente (Brasil, 2009).

Além do mais, a avaliação da qualidade e vigor de sementes apresenta diversos desafios como a presença de dormência, a variabilidade entre lotes e a influência de fatores ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica e oxigênio, além da variabilidade genética inerente em cada espécie (Marcos-Filho, 2015). Diante desses obstáculos, é necessário o desenvolvimento e implementação de novos testes rápidos de avaliação que sejam não apenas eficazes, mas também rápidos e capazes de atender às exigências atuais por resultados precisos.

Neste contexto, alguns testes rápidos têm sido aplicados, como o de condutividade elétrica, análise de pH, envelhecimento acelerado, raio-X, curva de embebição e teste de tetrazólio, pois oferecem vantagens em relação ao tempo de execução, bem como, fornecem resultados confiáveis sobre o vigor de lotes de sementes. O teste de tetrazólio, que avalia o vigor das sementes através da coloração de tecidos vivos, pode ser concluído em questão de horas e oferece uma visualização direta da qualidade fisiológica das sementes (França-Neto; Krzyzanowski, 2019).

Deste modo, a tecnologia tem desempenhado um papel importante no aprimoramento desses testes rápidos. Avanços em equipamentos e técnicas analíticas permitem uma maior precisão e repetibilidade, além de minimizar a subjetividade na interpretação dos resultados. Sendo assim, tem-se um destaque quanto às ferramentas de análise de imagem e *software* específicos para a avaliação de sementes, pois tornam os testes ainda mais acessíveis e confiáveis, ampliando suas aplicações práticas. Essas ferramentas são inovadoras e projetadas para melhorar a caracterização de diferentes classes de sementes e, conseqüentemente, as tomadas de decisões (Medeiros *et al.*, 2021).

Com base nisso, objetivou-se realizar uma análise cienciométrica, utilizando uma revisão sistemática e quantitativa da literatura sobre testes rápidos de avaliação da qualidade e

vigor das sementes florestais e herbáceas. Assim como, detalhar/compilar os procedimentos/metodologias usadas dentro dos testes rápidos mais aplicados. Deste modo, pretendendo identificar tendências, pontos críticos e avanços tecnológicos neste campo, fornecendo uma base de conhecimento atualizada que oriente futuras investigações e a prática profissional na tecnologia de sementes.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão sistemática descritiva a partir do seguinte questionamento: Quais os testes rápidos de avaliação da qualidade e vigor de sementes foram utilizados em pesquisas científicas publicadas entre 01 de janeiro de 2004 até o dia 01 de janeiro de 2024?

Para isso, foi realizado um levantamento de artigos científicos nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS), tendo um lapso de tempo entre os anos de 2004 e 2024. Para tanto, utilizou-se as seguintes palavras-chave em inglês: "*Quick test*" AND "*Forest seed*" OR "*viability forest seed*" OR "*Viability and vigor*" para sementes florestais e "*Quick test*" AND "*seeds*" OR "*viability seeds*" OR "*Viability and vigor*" para sementes de espécies herbáceas.

Os resultados das pesquisas do Scopus foram baixados em formato "PDF" e "Csv" e do WoS em formato "PDF" e "Bibtex", posteriormente foi realizada a junção dos dados por meio do programa RStudio (R Core Team, 2023), incluindo a identificação e eliminação de trabalhos duplicados. Após esse processo, foi gerado um arquivo Excel contendo os detalhes dos trabalhos, como: ano de publicação, autores, título, resumo, revista de origem, categorias de assunto e referências. Consecutivamente, o arquivo Excel foi submetido a análise Bibliometrix.

Além disso, os materiais baixados em formato PDF foram analisados quanto aos testes utilizados, detalhes metodológicos e espécies estudadas. Artigos que não tratavam especificamente da avaliação de sementes foram descartados, inclusive no banco de dados que é utilizado na etapa de bibliometria. Consecutivamente, foi realizada uma estatística descritiva para avaliação dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Número de artigos resultante das buscas

Como resultados, foram identificados um total de 4 artigos na base de dados Scopus e 125 na WoS para sementes florestais, enquanto sobre sementes herbáceas, foram obtidos 34 trabalhos na Scopus e 172 na WoS. Foi observada uma maior quantidade de trabalhos sobre testes rápidos para as sementes herbáceas em comparação às sementes florestais. Além do mais, foi possível observar uma maior especificidade dos trabalhos resultantes da busca no Scopus, diferentemente dos obtidos na WoS, pois alguns deles abordam outras perspectivas, mas possuem as palavras-chave utilizadas na busca.

3.2. Testes rápidos mais aplicados

A análise dos artigos revelou que diferentes testes rápidos são empregados para avaliar o vigor das sementes, sendo o teste rápido de tetrazólio o mais utilizado, encontrado em 46 dos artigos revisados (Tabela 1). Esse teste é reconhecido por sua eficiência e rapidez na obtenção de resultados, permitindo uma avaliação precisa do vigor dos tecidos internos das sementes através de uma coloração que identifica tecidos vivos e mortos (França-Neto; Krzyzanowski, 2019).

Tabela 1 - Artigos científicos que utilizam testes rápidos para avaliação da viabilidade e vigor de sementes de espécies herbáceas, oriundos das buscas no Scopus e Web of Science no período de 01/01/20004 a 01/01/2024.

Testes	Nº de trabalhos	Autores
Raio - X	2	1: LEÃO-ARAÚJO <i>et al.</i> (2019); 2: MICHELON <i>et al.</i> (2020).
Tetrazólio	46	1: HÖSSEL <i>et al.</i> (2013).; 2: THAI <i>et al.</i> (2005).; 3: CATÃO <i>et al.</i> (2018).; 4: ANGSUMALEE <i>et al.</i> (2019).; 5: PEREIRA <i>et al.</i> (2015).; 6: CARLOTA NERY <i>et al.</i> (2007).; 7: ABATI <i>et al.</i> (2022).; 8: GIBBERT <i>et al.</i> (2019).; 9: LEVIEN <i>et al.</i> (2008).; 10: FERREIRA <i>et al.</i> (2021).; 11: RODRIGUES <i>et al.</i> (2022).; 12: OLIVEIRA <i>et al.</i> (2014).; 13: FRANÇA-NETO <i>et al.</i> (2019).; 14: SILVA <i>et al.</i> (2013).; 15: SILVA <i>et al.</i> (2012).; 16: PARAÍSO <i>et al.</i> (2019).; 17: VEIGA <i>et al.</i> (2020).; 18: GARCIA <i>et al.</i> (2014).; 19: PINHO <i>et al.</i> (2009).; 20: TEIXEIRA <i>et al.</i> (2020).; 21: MONROY-VÁZQUEZ <i>et al.</i> (2017).; 22: SILVA <i>et al.</i> (2021).; 23: FERRADOUS <i>et al.</i> (2017).; 24: OLIVEIRA <i>et al.</i> (2008).; 25: KRZYZANOWSKI <i>et al.</i> (2019).; 26: ABATI <i>et al.</i> (2022).; 27: PEREIRA <i>et al.</i> (2020).; 28: CORTE <i>et al.</i> (2010).; 29: SILVA <i>et al.</i> (2011).; 30: PARREÑO-DE GUZMAN <i>et al.</i> (2011).; 31: GARCÍA QUINTANA <i>et al.</i> (2023).; 32: CARVALHO <i>et al.</i> (2012).; 33: CORDEIRO <i>et al.</i> (2022).; 34: SUKKAEW <i>et al.</i> (2023).; 35: PAIVA <i>et al.</i> (2017).; 36: REZENDE <i>et al.</i> (2015).; 37: NOGUEIRA <i>et al.</i> (2014).; 38: SOUZA <i>et al.</i> (2018).; 39: SIVASUBRAMANIAM

		<i>et al.</i> (2012).; 40: RAMÍREZ <i>et al.</i> (2021).; 41: ELIAS <i>et al.</i> (2013).; 42: NASCIMENTO <i>et al.</i> (2019).; 43: SUJATHA <i>et al.</i> (2011).; 44: JUNIOR <i>et al.</i> (2022).; 45: ZORATO <i>et al.</i> (2007).; 46: WU <i>et al.</i> (2011).
pH do exsudato	4	1: SOUTO <i>et al.</i> (2019).; 2: CARVALHO <i>et al.</i> (2018).; 3: KHAJEH-HOSSEINI e REZAZADEH (2011); 4: SANTOS <i>et al.</i> (2011).
Atividade respiratória	2	1: SILVA <i>et al.</i> (2021).; 2: DODE <i>et al.</i> (2013).
Imagem hiperespectral	4	1: FENG <i>et al.</i> (2019).; 2: KANDPAL <i>et al.</i> (2016).; 3: PANG <i>et al.</i> (2022).; 4: JIN <i>et al.</i> (2022).
Condutividade elétrica	25	1: BATISTA <i>et al.</i> (2021).; 2: SOUZA <i>et al.</i> (2020).; 3: ROSADO <i>et al.</i> (2019).; 4: ZANZIBAR <i>et al.</i> (2021).; 5: FERREIRA <i>et al.</i> (2015).; 6: OLIVEIRA <i>et al.</i> (2014).; 7: RAHMAWATI <i>et al.</i> (2019).; 8: GUEDES <i>et al.</i> (2011). 9: BANDEIRA <i>et al.</i> (2014).; 10: GARCIA <i>et al.</i> (2014).; 11: MERZAH <i>et al.</i> (2020).; 12: DEMELASH <i>et al.</i> (2004).; 13: PINHO <i>et al.</i> (2009).; 14: MENESES <i>et al.</i> (2014).; 15: TEIXEIRA <i>et al.</i> (2020).; 16: CORTE <i>et al.</i> (2010).; 17: SILVA <i>et al.</i> (2011).; 18: MATTHEWS <i>et al.</i> (2018).; 19: DODE <i>et al.</i> (2013).; 20: PARREÑO-DE GUZMAN <i>et al.</i> (2011).; 21: KHAJEH-HOSSEINI <i>et al.</i> (2011).; 22: LV, Yan Y <i>et al.</i> (2017).; 23: PEREZ <i>et al.</i> (2005).; 24: NASCIMENTO <i>et al.</i> (2019).; 25: DEMELASH <i>et al.</i> (2004).
Câmara de crescimento	1	1: PRATCHLER <i>et al.</i> (2014).

Envelhecimento acelerado

33

1: SONG *et al.* (2021).; **2:** JO *et al.* (2011).; **3:** KRUEGER *et al.* (2012).; **4:** DEVRIES *et al.* (2017).; **5:** ANGSUMALEE *et al.* (2019).; **6:** PEREIRA *et al.* (2015).; **7:** BIRUEL *et al.*(2007).; **8:** SOUZA *et al.* (2020).; **9:** ROSADO *et al.* (2019).; **10:** SAINI *et al.* (2022).; **11:** LEVIEN *et al.* (2008).; **12:** SILVA *et al.* (2022).; **13:** RODRIGUES *et al.* (2022).; **14:** CARVELHO *et al.* (2012).; **15:** SILVA *et al.* (2017).; **16:** KRZYZANOWSKI *et al.* (2019).; **17:** SILVA *et al.* (2011).; **18:** NERLING *et al.* (2018).; **19:** ASHRAF *et al.* (2011).; **20:** GUEDES *et al.* (2011).; **21:** HORNKE *et al.* (2020).; **22:** TEXEIRA *et al.* (2020).; **23:** CORTE *et al.* (2010).; **24:** MBOFUNG *et al.* (2013).; **25:** MENESES *et al.* (2011).; **26:** VEIGA *et al.* (2020).; **27:** GARCIA *et al.* (2014).; **28:** SILVA *et al.* (2021).; **29:** DEMELASH *et al.* (2004).; **30:** FAVARATO *et al.* (2011).; **31:** TOKUHISA *et al.* (2009).; **32:** SANTOS *et al.* (2011).; **33:** ZORATO *et al.* (2007).

Lixiviação de sódio e potássio

1

1: FAVARATO *et al.* (2011).

Por outro lado, o segundo teste rápido mais utilizado foi do teste de envelhecimento acelerado, sendo empregado em 33 artigos. Este teste simula as condições adversas que as sementes poderiam enfrentar no ambiente natural, como altas temperaturas e umidade elevada, para estimar sua longevidade e vigor (Marcos-Filho, 2015). De acordo com Guedes *et al.* (2009), a popularidade deste teste entre os pesquisadores pode ser atribuída à sua capacidade de prever o potencial de armazenamento das sementes e sua subsequente performance no campo.

O teste de condutividade elétrica, utilizado em 25 artigos, é o terceiro mais empregado nos artigos coletados, esse testes baseia-se na medição da quantidade de eletrólitos liberados na água após a imersão das sementes, deste modo, os resultados do teste indicam sobre a integridade das membranas celulares das sementes e assim fornecendo uma indicação valiosa sobre o vigor das sementes (Figueiredo *et al.*, 2021).

Sendo assim, esses testes são os mais comumente utilizados para avaliação de qualidade de sementes de forma rápida, facilitando a tomada de decisão em relação a esse tipo de material vegetal. Por tanto, a diversidade de espécies vegetais estudadas e os métodos de teste rápidos empregados são aspectos fundamentais para compreender a qualidade e o vigor das sementes.

Entre os testes de análise de imagem, ao utilizar o raio-X tem a capacidade de avaliar a morfologia interna das sementes, permitindo classificá-las como cheias ou vazias. Por outro lado, a análise de imagem computadorizada representa um avanço significativo na otimização do tempo necessário para a obtenção de dados sobre o vigor das sementes, além de reduzir a tendenciosidade das análises. Este teste é menos influenciado pelo analista, a depender das imagens radiográficas obtidas, o que resulta em decisões mais ágeis e precisas (Luz *et al.*, 2022).

A Figura 1 destaca uma visão abrangente, indicando as espécies vegetais investigadas em cada estudo, juntamente com os testes rápidos específicos utilizados. Essa análise comparativa permite identificar padrões e tendências na avaliação da qualidade das sementes.

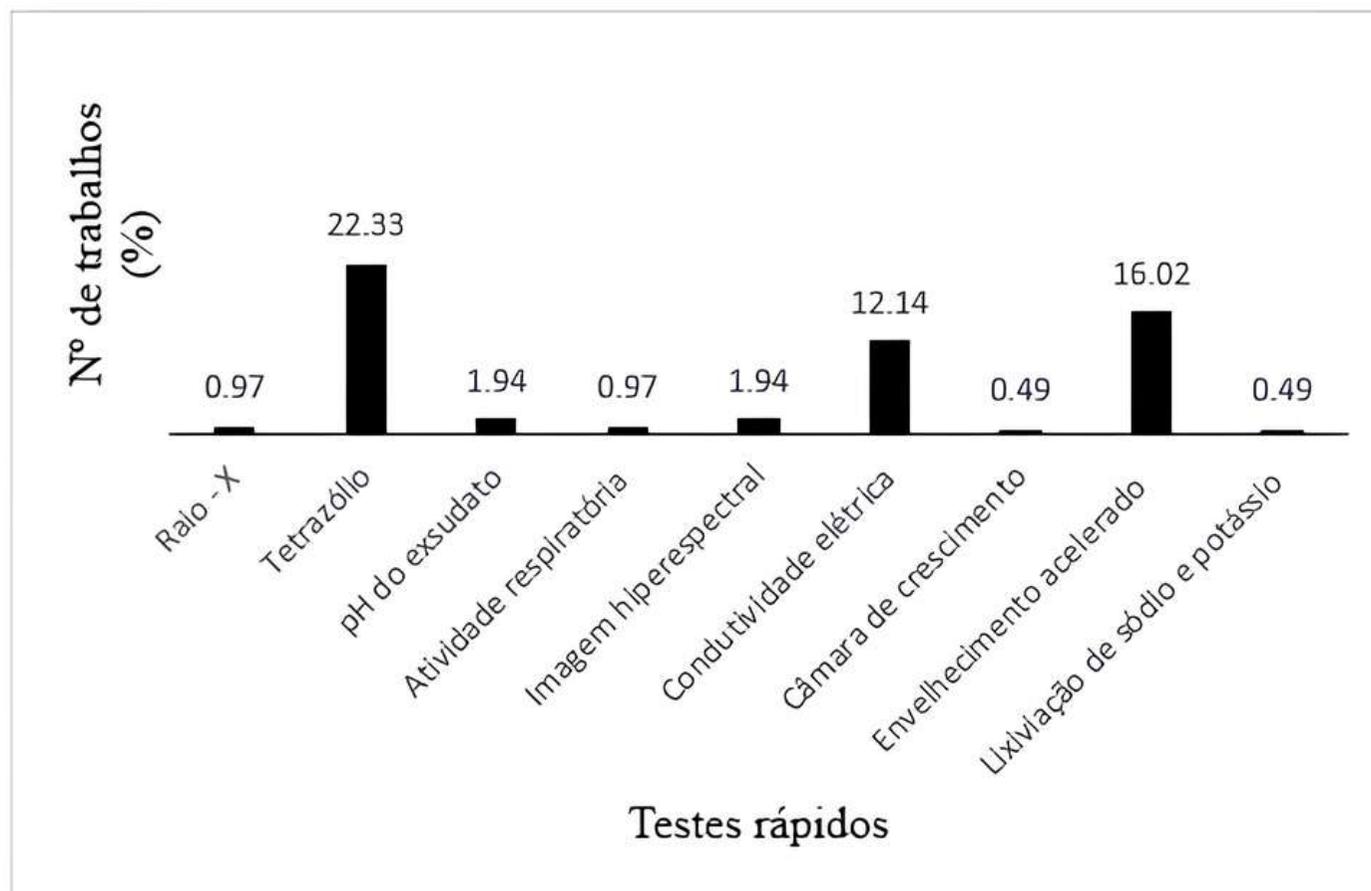


Figura 1 – Porcentagem de utilização de cada teste rápido nos artigos científicos oriundos das buscas no Scopus e Web of Science no período de 01/01/20004 a 01/01/2024.

Fonte: autor, 2024.

Ainda mais, os dados analisados em relação às espécies herbáceas demonstram que há um claro predomínio de algumas culturas agrícolas específicas, como a soja, o milho e o grão de bico, enquanto tem-se uma menor quantidade de trabalhos com diferentes espécies florestais. Mais especificamente, a espécie mais frequente foi a soja, em um total de 16 artigos, representando aproximadamente 42,1% do total. Em seguida, tanto o milho quanto o grão de bico apareceram 5 vezes cada, correspondendo a 13,2% cada. As demais espécies foram fonte de estudos em 4 artigos e, em sua maioria, aparecem apenas uma vez.

O fato da soja ser a espécie mais estudada está em consonância com sua importância global como uma cultura-chave, devido à sua versatilidade e demanda no mercado de grãos para alimentação humana, animal e produção de biocombustíveis (Nascimento *et al.* 2016). A presença significativa do milho também é esperada, pois é uma das culturas mais amplamente cultivadas no mundo, usada em diversos setores, incluindo alimentação e bioenergia.

Da mesma forma, o grão de bico, embora menos globalmente difundido do que as outras duas espécies mencionadas, possui um papel relevante em sistemas agrícolas voltados à produção de proteínas vegetais e alimentação humana em algumas regiões específicas (Roorkiwal *et al.*, 2016). As demais espécies, possivelmente representam cultivos de menor escala ou de menor relevância comercial em comparação às espécies dominantes. Isso pode refletir a existência de nichos agrícolas ou práticas específicas para atender demandas locais ou ecológicas, assim como o maior interesse em pesquisa de espécies com maior plantio e importância econômica.

Já em relação às espécies florestais, não houve um grande número de trabalhos com uma determinada espécie. Sendo assim, essa menor repetição de espécies florestais em estudos reflete a diversidade de objetivos e contextos que caracterizam a pesquisa nesse campo. Isso também destaca a importância de estratégias adaptadas às realidades locais e à preservação da biodiversidade, que são aspectos importantes em estudos florestais. A diversidade das espécies não só enriquece o conhecimento científico, mas também contribui para abordagens mais inclusivas e sustentáveis no manejo dos recursos naturais. Além disso, esse padrão pode ser atribuído à dificuldade de obtenção de sementes florestais e à forte demanda agrícola, que direciona o interesse para espécies amplamente cultivadas nesse setor (Tabela 2).

Tabela 2 - Espécies investigadas e os testes rápidos utilizados nos trabalhos resultantes das buscas no Scopus e Web of Science no período de 01/01/2004 a 01/01/2024.

Arbóreas/arbustiva	Testes	Herbáceas	Testes
<i>Argania spinosa</i>	Tetrazólio	<i>Cucurbita pepo</i>	Condutividade elétrica
<i>Libidibia ferrea</i>	pH do exsudato	<i>Cucumis melo</i>	Imagem hiperespectral
<i>Moringa oleifera</i>	Tetrazólio	<i>Oryza sativa</i>	Tetrazólio, imagem hiperespectral, envelhecimento acelerado
<i>Pinus Patula</i>	Envelhecimento acelerado	<i>Cicer arietinum</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado
<i>Fraxinus excelsior</i>	Envelhecimento acelerado	<i>Cucumis anguria</i>	Tetrazólio
<i>Dalbergia nigra</i>	Envelhecimento acelerado	<i>Hymenachne amplexicauli</i>	Tetrazólio
<i>Melanoxylon brauna</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Tetrazólio
<i>Araucaria angustifolia</i>	Condutividade elétrica, envelhecimento acelerado	<i>Coriandrum sativum</i>	Tetrazólio
<i>Plinia trunciflora</i>	Tetrazólio	<i>Citrus limonia</i>	pH do exsudato
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Tetrazólio	<i>Triticum aestivum</i>	Imagem hiperespectral
<i>Sophora japonica Linn</i>	Imagem hiperespectral	<i>Carica papaya</i>	Condutividade elétrica

<i>Anacardium occidentale</i>	Tetrazólio	<i>Glycine max</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica, imagem hiperespectral, atividade respiratória, envelhecimento acelerado
<i>Myrcianthes pungens</i>	Tetrazólio	<i>Sphenostylis stenocarpa</i>	Envelhecimento acelerado
<i>Toona sureni</i>	Condutividade elétrica	<i>Zea mays</i>	Condutividade elétrica, imagem hiperespectral, envelhecimento acelerado
<i>Anadenanthera peregrina</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica	<i>Trifolium pretense</i>	Tetrazólio, envelhecimento acelerado
<i>Switenia macrophylla</i>	Tetrazólio	<i>Pterogyne nitens</i>	Envelhecimento acelerado
<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Tetrazólio	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Envelhecimento acelerado
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Raio-x	<i>Punica granatum</i>	Envelhecimento acelerado
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Tetrazólio	<i>Allium cepa</i>	Envelhecimento acelerado
<i>Campomanesia reitziana</i>	Tetrazólio	<i>Gossypium hirsutum</i>	Envelhecimento acelerado
<i>Campomanesia littoralis</i>	Tetrazólio	<i>Lactuca sativa</i>	Tetrazólio, envelhecimento acelerado
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Tetrazólio	<i>Citrullus lanatus</i>	Tetrazólio, imagem hiperespectral
<i>Chorisia speciosa</i>	Condutividade elétrica	<i>Helianthus annuus</i>	Tetrazólio
<i>Campomanesia adamantium</i>	Raio-x	<i>Ochroma pyramidale</i>	Tetrazólio
<i>Himatanthus sucuuba</i>	Tetrazólio	<i>Crambe abyssinica</i>	Tetrazólio
<i>Tabebuia chrysotricha</i>	Tetrazólio	<i>Phaseolus lunatus</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica

<i>Tamarindus indica</i>	Tetrazólio	<i>Elymus nutans</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica
<i>Syzygium cumini</i>	Tetrazólio	<i>Lolium perenne</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica
<i>Jatropha curcas</i>	Tetrazólio	<i>Leymus chinensis</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica
<i>O. streptacantha</i>	Tetrazólio	<i>Avena sativa</i>	Tetrazólio, condutividade elétrica
<i>Opuntia hyptiacantha,</i>	Tetrazólio	<i>Brassica napus</i>	Condutividade elétrica
<i>Opuntia megacantha</i>	Tetrazólio	<i>Kochia scoparia</i>	Câmara de crescimento
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Tetrazólio		

Ainda mais, foi identificado que o Brasil se destaca notavelmente na publicação de trabalhos sobre a avaliação de testes rápidos de sementes, em comparação com outros países (Tabela 3). Além disso, essa proeminência brasileira se justifica não apenas pela quantidade, mas também pela qualidade da produção científica nessa área. O país não só lidera em termos de volume de estudos publicados, mas também se destaca pela relevância e impacto de suas contribuições para o avanço do conhecimento em avaliação de testes rápidos de sementes.

Tabela 3 – Citações de produção científica global sobre testes rápidos de avaliação de sementes em artigos buscados nas bases de dados Scopus e Web of Science, no período de 01/01/2004 a 01/01/2024.

Países	Total de citações	
	Sementes Florestais	Sementes herbáceas
Brasil	354	461
USA	153	278
Holanda	46	-
Uruguai	35	35
China	164	243
Índia	14	62
Polônia	116	116
Coreia	102	103
Indonésia	33	45

Dentre as justificativas para esse destaque do Brasil, está o fato do país possuir um clima tropical e uma rica diversidade de espécies vegetais, em torno de 49,5 mil espécies de plantas, tendo um ambiente naturalmente propício para estudos na área de sementes, motivado pela crescente demanda por testes eficazes de avaliação de sementes (Santos, 2006; Gomes *et al.*, 2022). Além disso, o avanço do mercado florestal e agrícola ao longo dos anos tem impulsionado ainda mais o interesse e investimento em estudos relacionados. O destaque do Brasil nesse cenário está profundamente enraizado no setor agrônomo, especialmente devido à predominância das pesquisas voltadas para sementes agrícolas (Marchetti *et al.*, 2020). Ainda mais, também foram identificados os principais trabalhos mais citados (Tabela 4).

Tabela 4 - Artigos buscados nas bases de dados Scopus e Web of Science no período de 01/01/2004 a 01/01/2024, mais citados globalmente.

Autores	Ano	Revista	Fator de impacto da revista (2022)	DOI	Total de Citações
<i>Qiu et al.</i>	2018	Sensors	3.9	10.3390/s18041010	35
<i>Wu et al.</i>	2011	Acta Physiologiae Plantarum	2.6	10.1007/s11738-010-0536-4	49
<i>Feng et al.</i>	2019	Plant Methods	5.1	10.1186/s13007-019-0476-y	74
<i>Khan et al.</i>	2012	Plos One	3.7	10.1371/journal.pone.0043991	46
<i>Dutra et al.</i>	2011	Animal Scienci Journal	2	10.2527/jas.2010-3567	35
<i>Kurek et al.</i>	2019	Plants-Basel	4.5	10.3390/plants8060174	100
<i>Vitis et al.</i>	2020	Restoration Ecology	3.2	10.1111/rec.13174	80
<i>Burgos et al.</i>	2015	Weed Science	2.5	10.1614/WS-D-14-00019.1	55
<i>Kandpal et al.</i>	2016	Sensors And Actuators B-Chemical	8.4	10.1016/j.snb.2016.02.015	102
<i>Mbofung et al.</i>	2013	Crop Science	2.3	10.2135/cropsci2012.09.0530	47
<i>Franca-Neto et al.</i>	2019	Journal Of Seed Science	1	10.1590/2317-1545v41n3223104	51

A análise dos resultados revela uma clara predominância de publicações em revistas com fator de impacto superior a 1. Além disso, observa-se que a maioria dessas revistas são internacionais, e os artigos mais citados são, em sua grande maioria, provenientes de periódicos com fator de impacto superior a 3. Um exemplo notável é o artigo de Kandpal *et al.* (2016), que apresenta o maior número de citações (102) e foi publicado na revista *Sensors and Actuators B-Chemical*. Os autores realizaram aplicação da imagem hiperespectral no infravermelho próximo (NIR-HSI) para prever a viabilidade e o vigor de sementes de melão de forma rápida e não destrutiva. Utilizando um sistema de varredura espectral na faixa de 948–2494 nm, o estudo permitiu a análise detalhada da composição química das sementes, possibilitando a distinção entre aquelas com diferentes tempos de germinação e as não germinadas. Para a construção do modelo preditivo, foram empregados três métodos de seleção de variáveis (VIP, SR e sMC), que reduziram o conjunto inicial de 208 variáveis para cerca de 18 a 23 mais relevantes, otimizando a análise. O modelo de análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA) demonstrou alta precisão, sendo que a abordagem baseada no método SR atingiu 94,6% de acurácia na validação. Dessa forma, a pesquisa contribui significativamente para a agricultura de precisão, viabilizando um método eficiente para a seleção de sementes de alta qualidade, o que pode otimizar o processo de germinação e aumentar a produtividade agrícola.

É evidente que os estudos nesta área têm sido predominantemente publicados em língua inglesa. Esta tendência reflete positivamente na disseminação e reconhecimento internacional das pesquisas. Uma outra observação pertinente é que ocorreu uma estagnação na produção científica em 2022. Este cenário ressalta a urgência de promover o desenvolvimento de mais trabalhos com esse enfoque, especialmente dada a vasta diversidade vegetal existente, possibilitando uma abordagem mais abrangente e significativa sobre o tema.

3.4. Testes Fisiológicos mais usados nas pesquisas encontradas nos últimos 20 anos

3.4.1. Tetrazólio:

O teste de tetrazólio é um teste fundamentado na atividade das enzimas desidrogenases, as quais catalisam as reações respiratórias nas mitocôndrias durante processos metabólicos cruciais, como a glicólise e o ciclo de Krebs (AOSA, 2005). Por meio desse teste, a distinção entre tecidos vivos e mortos de sementes é realizada com base na presença ou ausência de coloração vermelha. Esta coloração é gerada pela ação do cloreto de tetrazólio (2,3,5-trifenil), uma solução indicadora que revela o processo de redução ocorrente nas células viáveis, conforme o processo detalhado na Figura 2 (França-Neto, 1999; Peters, 2005).

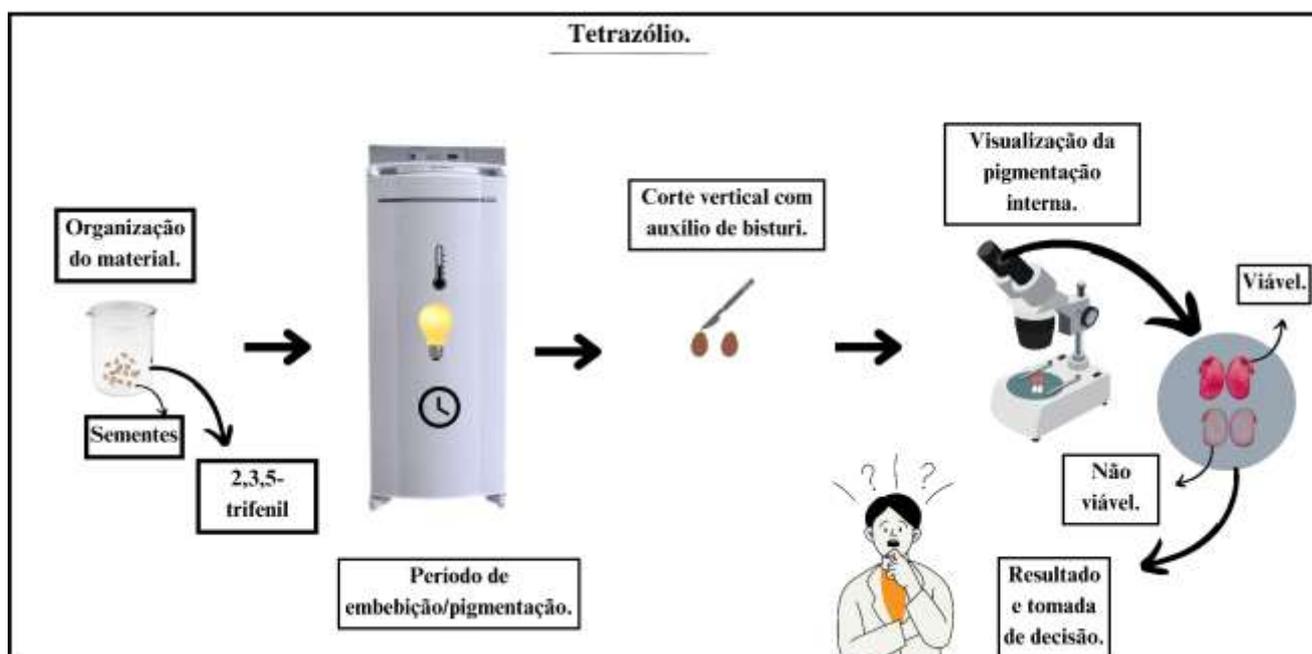


Figura 2. Processo metodológico da avaliação da qualidade de sementes através do teste de tetrazólio.

Fonte: autor, 2024.

O procedimento do teste envolve pré-condicionamentos, cujo propósito é facilitar a penetração da solução nos tecidos de interesse, além de auxiliar no corte transversal das sementes para a visualização interna. Em sementes de espécies florestais, é comum realizar-se um processo de corte, escarificação e imersão em água (Oliveira *et al.*, 2005; Mendonça *et al.*, 2006). Além de determinar o vigor das sementes, o teste de tetrazólio tem sido empregado para identificar danos mecânicos e aqueles causados por fatores como secagem, insetos e deterioração devido à umidade (França Neto; Krzyzanowski, 2018). Esta abordagem não apenas fornece informações vitais sobre a qualidade das sementes, mas também desempenha um papel crucial na avaliação da saúde e integridade do material genético vegetal, contribuindo assim para o sucesso de programas de conservação e melhoramento genético.

3.4.2. Envelhecimento acelerado:

O teste de envelhecimento acelerado é utilizado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes, com base em seu desempenho frente a condições adversas simuladas de armazenamento prolongado. Este teste se baseia na exposição das sementes a um ambiente controlado de alta umidade e temperatura por um período determinado, com o objetivo de induzir processos de envelhecimento prematuro (Marcos Filho, 2015). Durante o teste as sementes são colocadas em recipiente(s) apropriado(s), onde são submetidas à umidade relativa elevada, que pode chegar a 100%.

O teste mais comumente utilizado é o do “gerbox”, em que, uma amostra de sementes é colocada dentro de caixas de plástico transparente e com tampa (11 x 11 x 3,5 cm) sobre uma tela de alumínio, em camada única sem sobreposição das sementes (Silva *et al.*, 2019). Abaixo dessa tela, coloca-se uma determinada quantidade de água destilada ou deionizada, de forma a não entrar em contato com as sementes. Em seguida, o material é armazenado em estufa de circulação de ar-forçada, a uma temperatura constante de 40 °C por determinados períodos de tempo (Carvalho; Nakagawa, 2000). Conforme ilustrado na Figura 3:



Figura 3. Processo metodológico da avaliação da qualidade de sementes através do teste de envelhecimento acelerado.

Fonte: autor, 2024.

Assim, o conjunto é levado a uma câmara de germinação, em determinada temperatura e tempo definidos. Isto é realizado para simular as condições adversas de armazenamento prolongado, induzindo processos de deterioração nas sementes (Marcos Filho, 2015). Durante o processo de envelhecimento acelerado, diversas mudanças físicas e fisiológicas ocorrem nas sementes. Algumas das principais alterações estão listadas a seguir (Silva *et al.*, 2020; Gayathri *et al.*, 2023):

1. Perda de umidade: As sementes tendem a perder água, o que pode levar à redução do teor de umidade e à desidratação dos tecidos.
2. Degradação de proteínas e lipídeos: As altas temperaturas e a umidade elevada favorecem a degradação de proteínas e lipídios presentes nas sementes, o que pode comprometer a integridade das estruturas celulares e afetar o metabolismo energético.
3. Acúmulo de produtos de degradação: Durante o envelhecimento, ocorre a formação de produtos de degradação, como compostos tóxicos e radicais livres, que podem causar danos às células e afetar o vigor das sementes.

4. Alterações na respiração: O processo de envelhecimento acelerado pode afetar a taxa e os padrões de respiração das sementes, levando a mudanças no consumo de oxigênio e na produção de dióxido de carbono.
5. Redução da viabilidade e do vigor: Como resultado das alterações fisiológicas e bioquímicas, as sementes podem perder viabilidade e vigor durante o teste de envelhecimento acelerado, o que se reflete na redução da capacidade de germinação e crescimento das plântulas.

Ao final do período de envelhecimento, as sementes são retiradas do ambiente de estresse e submetidas a testes de germinação e vigor para avaliar sua qualidade (Carvalho; Nakagawa, 2000). Sementes que mantêm altos índices de germinação e vigor após o teste são consideradas de melhor qualidade, enquanto aquelas que apresentam baixo desempenho são consideradas de qualidade inferior. Sendo assim, o teste de envelhecimento acelerado é uma ferramenta importante na seleção de lotes de sementes para armazenamento a longo prazo, permitindo identificar lotes com maior potencial de conservação de viabilidade e vigor ao longo do tempo. Além disso, este teste também é utilizado para avaliar o efeito de diferentes práticas de colheita, beneficiamento e armazenamento na qualidade das sementes, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes.

3.4.3. Condutividade elétrica:

A condutividade elétrica é um parâmetro relevante para avaliar a integridade das membranas celulares e, por extensão, o nível de deterioração de sementes, conforme apontam Ribeiro *et al.* (2009). Este teste baseia-se na alteração da resistência elétrica que ocorre quando eletrólitos são lixiviados dos tecidos da semente para a água onde as sementes estão imersas (Figura 4).

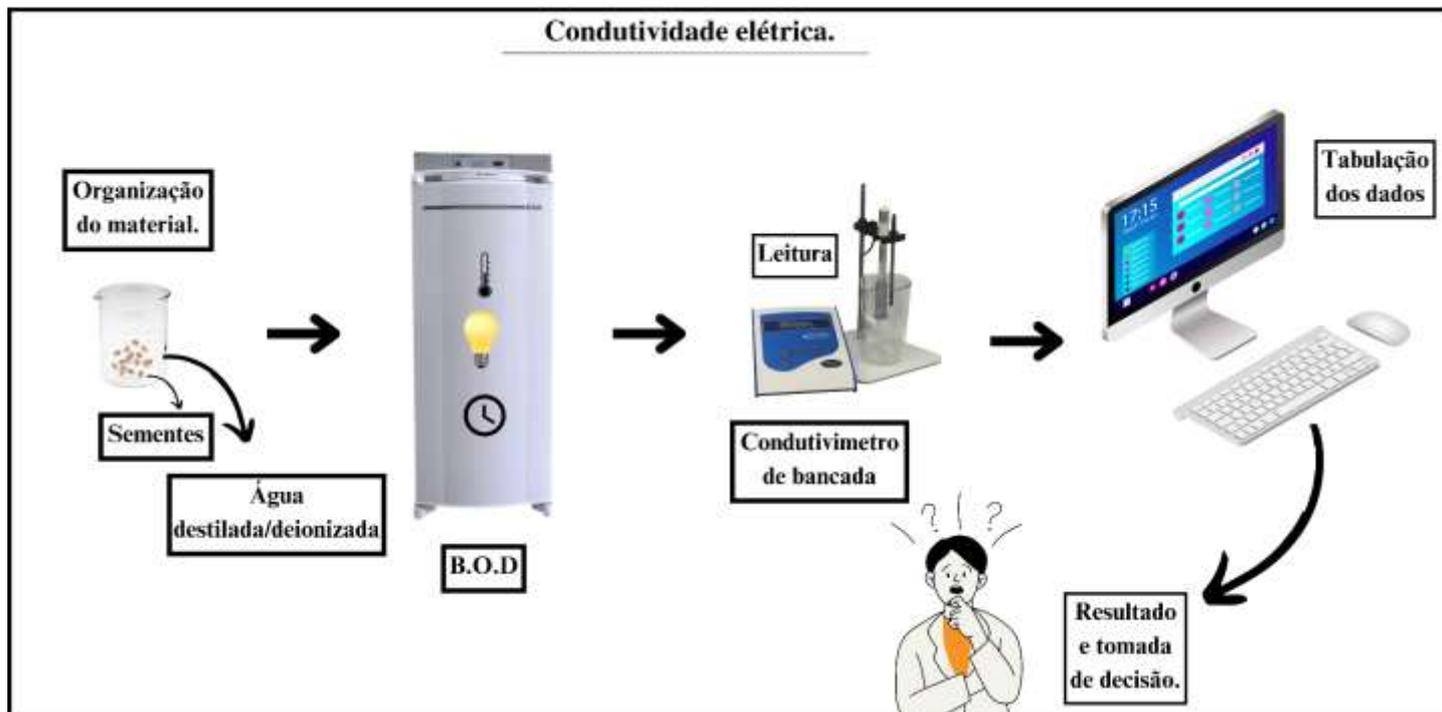


Figura 4. Processo metodológico da avaliação da qualidade de sementes por meio do teste de condutividade elétrica.

Fonte: autor, 2024.

À medida que as sementes envelhecem e se deterioram, a integridade das membranas celulares é comprometida, aumentando sua permeabilidade e consequentemente a liberação de eletrólitos (Krzyzanowsky *et al.*, 1999). Além dos íons, as sementes também liberam açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos no meio aquoso. É importante destacar que apenas concentrações elevadas de lixiviados (acima de 50-60 $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$, dependendo da espécie) indicam uma perda significativa na integridade das membranas, pois, menores valores de condutividade elétrica indicam maior qualidade das sementes (Flores *et al.*, 2014).

3.4.4. pH do exsudato:

A análise do pH do exsudato determina o nível de acidez ou alcalinidade de uma solução que contém sementes embebidas, ou seja, baseia-se na medição do pH do líquido exsudato pelas sementes quando em contato com água (Santos *et al.*, 2011). Durante o teste, uma amostra representativa de sementes é colocada em contato com água destilada ou deionizada por um período determinado, permitindo a liberação do exsudato das sementes para

o meio líquido. Este exsudato contém uma variedade de compostos orgânicos, incluindo ácidos orgânicos, aminoácidos e açúcares, que afetam o pH do meio (Carvalho *et al.*, 2002).

Porém, o pH do exsudato das sementes é influenciado por diversos fatores, incluindo a composição química das sementes, sua viabilidade e condições de armazenamento. Sementes viáveis e de alta qualidade tendem a liberar menos constituintes químicos, não alterando expressivamente o pH do exsudato do meio aquoso, refletindo um metabolismo saudável e uma boa capacidade de germinação. Por outro lado, sementes danificadas ou de baixa qualidade podem produzir exsudatos com pH alterado, indicando estresse fisiológico e comprometimento do vigor (Ramos *et al.*, 2012). O pH médio das sementes viáveis geralmente varia dentro de uma faixa específica, que pode depender da espécie vegetal em questão. Em muitos casos, sementes viáveis tendem a apresentar um pH médio ligeiramente ácido a neutro. Por exemplo, em algumas espécies de plantas, como as leguminosas, o pH do exsudato das sementes viáveis pode estar na faixa de 6,0 a 7,0 (Souto *et al.*, 2019).

No entanto, é importante ressaltar que esses valores podem variar dependendo de fatores como o tipo de solo, condições ambientais e estágio de maturação das sementes. Dentre as soluções mais usadas como indicadoras de pH está a solução de fenolftaleína, que ao ser adicionada em um meio básico ocorre um equilíbrio químico e a solução se torna rósea por os íons OH^- da solução básica reagirem com os íons H_3O^+ da fenolftaleína, entretanto, quando é em meio ácido ela fica incolor devido ao aumento da concentração de H^+ que desloca o equilíbrio, conforme ilustrado na Figura 5 (Kim *et al.*, 2017).

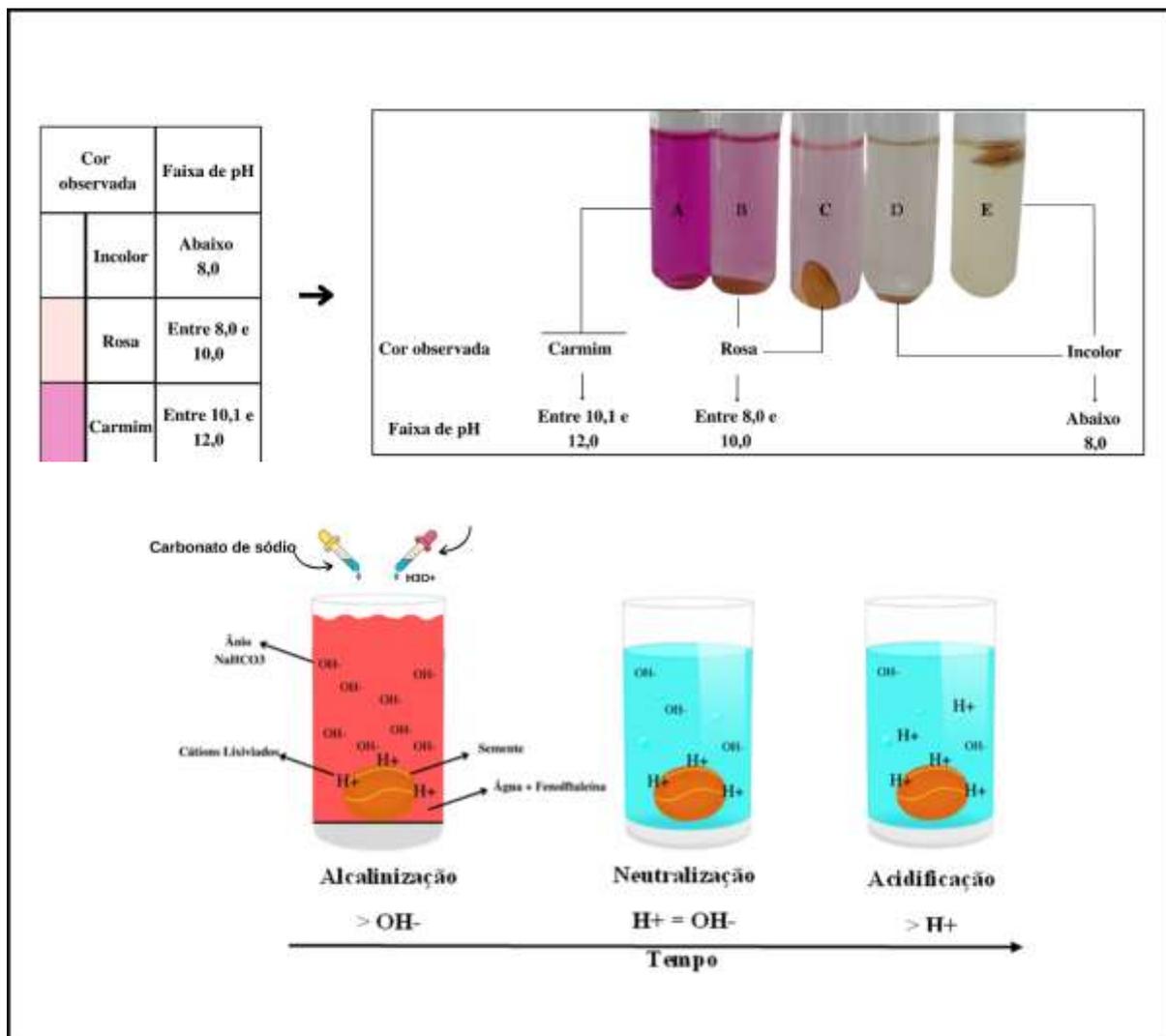


Figura 5. Processo da avaliação da qualidade de sementes por meio do teste do pH do exsudato e as faixas de coloração da solução aquosa com a fenolftaleína em diferentes faixas de pH do exsudato.

Fonte: autor, 2024.

Segundo Sabnis (2007), caso o pH esteja acima de 8, então a solução mantém-se básica e observa-se coloração que pode variar entre rosa e carmim, porém se os valores de pH forem abaixo de 8,0 a solução permanece incolor devido o poder de neutralização da solução de carbonato de sódio pelo material lixiviado pela semente, tornando-se uma solução ácida.

3.5. Testes físicos:

3.5.1.1. Imagem hiperespectral:

A imagem hiperespectral de sementes é um teste avançado e não destrutivo utilizado para avaliar a qualidade e características das sementes (Feng *et al.*, 2019). Ao contrário da imagem convencional, que captura apenas três bandas espectrais (vermelho, verde e azul), a imagem hiperespectral captura informações em centenas de bandas espectrais, desde o ultravioleta até o infravermelho próximo. Durante o processo de imagem hiperespectral, as sementes são iluminadas com uma fonte de luz e a radiação refletida é capturada por um sensor especializado. Cada banda espectral capturada fornece informações sobre as propriedades físicas e químicas das sementes, incluindo composição química, umidade, textura e uniformidade.

Os dados espectrais obtidos através da imagem hiperespectral são processados utilizando algoritmos e técnicas de análise de imagem para extrair características relevantes das sementes. Essas características podem incluir a detecção de defeitos, como danos mecânicos, deterioração e contaminação por patógenos, bem como a identificação de características de interesse, como tamanho, forma e cor (Figura 6) (Kamilaris, Prenafeta-Boldú, 2018).

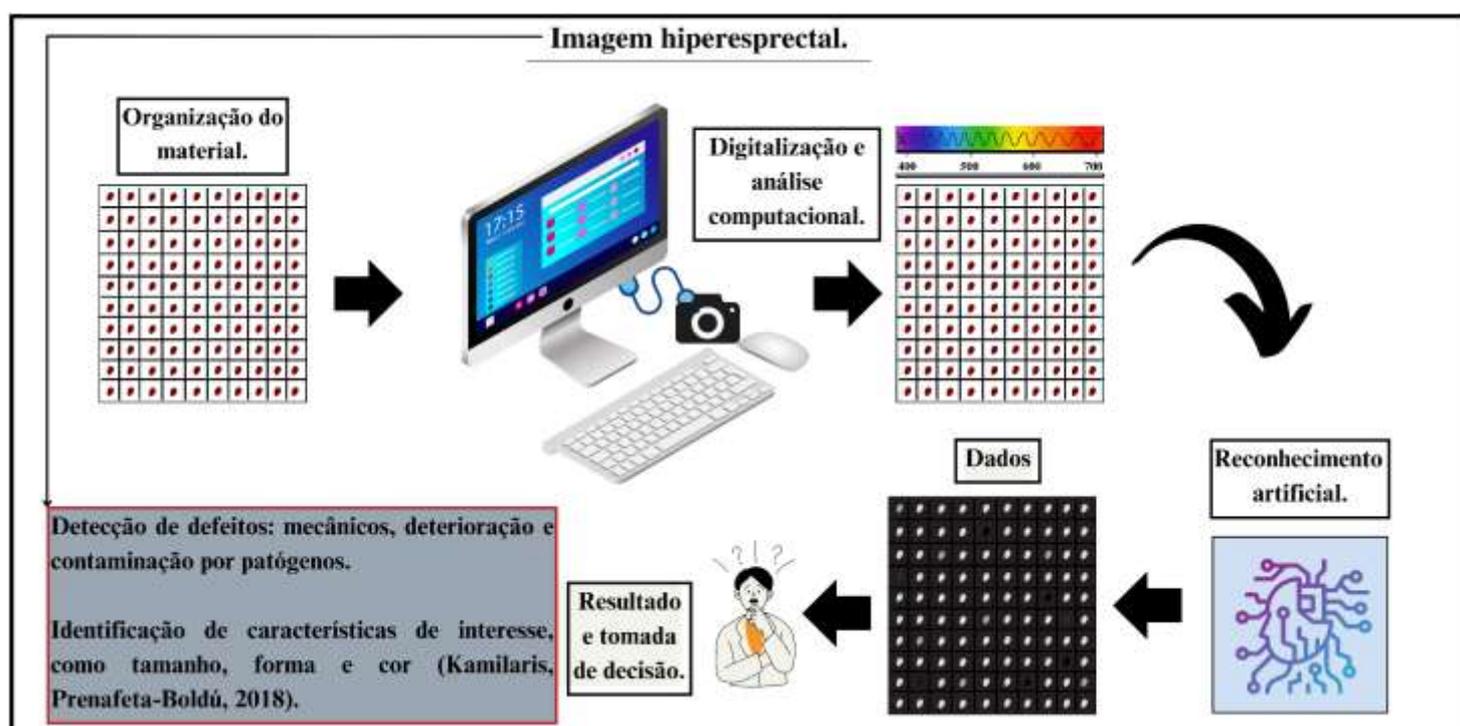


Figura 6. Processo da avaliação da qualidade de sementes por meio do teste de imagem hiperespectral.

Fonte: autor, 2024.

3.5.1.2. Raio - X:

O teste de raio-X de sementes é um teste não destrutivo utilizado para avaliar a qualidade interna das sementes, revelando informações sobre sua estrutura morfológica e integridade (Gomes Júnior *et al.*, 2012). De acordo com os referidos autores, esse teste baseia-se na capacidade dos raios-X de penetrar materiais opacos, como sementes, e produzir imagens detalhadas de seu interior. A qualidade das imagens obtidas por meio de raios-X é influenciada por diversos fatores, como a espessura, densidade e composição das sementes, além do comprimento de onda ao qual foram expostas. Uma vantagem notável dessas imagens é sua facilidade de conservação, reprodução e análise em qualquer momento, oferecendo uma abordagem flexível e acessível para a avaliação da qualidade das sementes (Menezes *et al.*, 2005).

Durante o teste de raio-X, as sementes são colocadas em uma plataforma de imagem e expostas a raios-X de baixa energia, estes atravessam as sementes e são capturados por um detector, que converte a radiação em uma imagem digital (Figura 7). Essa imagem revela características internas das sementes, como embrião, endosperma, danos físicos e presença de patógenos. A análise das imagens de raio-X permite identificar uma série de informações importantes sobre as sementes. Isso inclui a integridade do embrião, a presença de danos mecânicos, como rachaduras ou quebras, e a detecção de patógenos internos, como insetos ou fungos (Mattos; Medeiros, 2000).

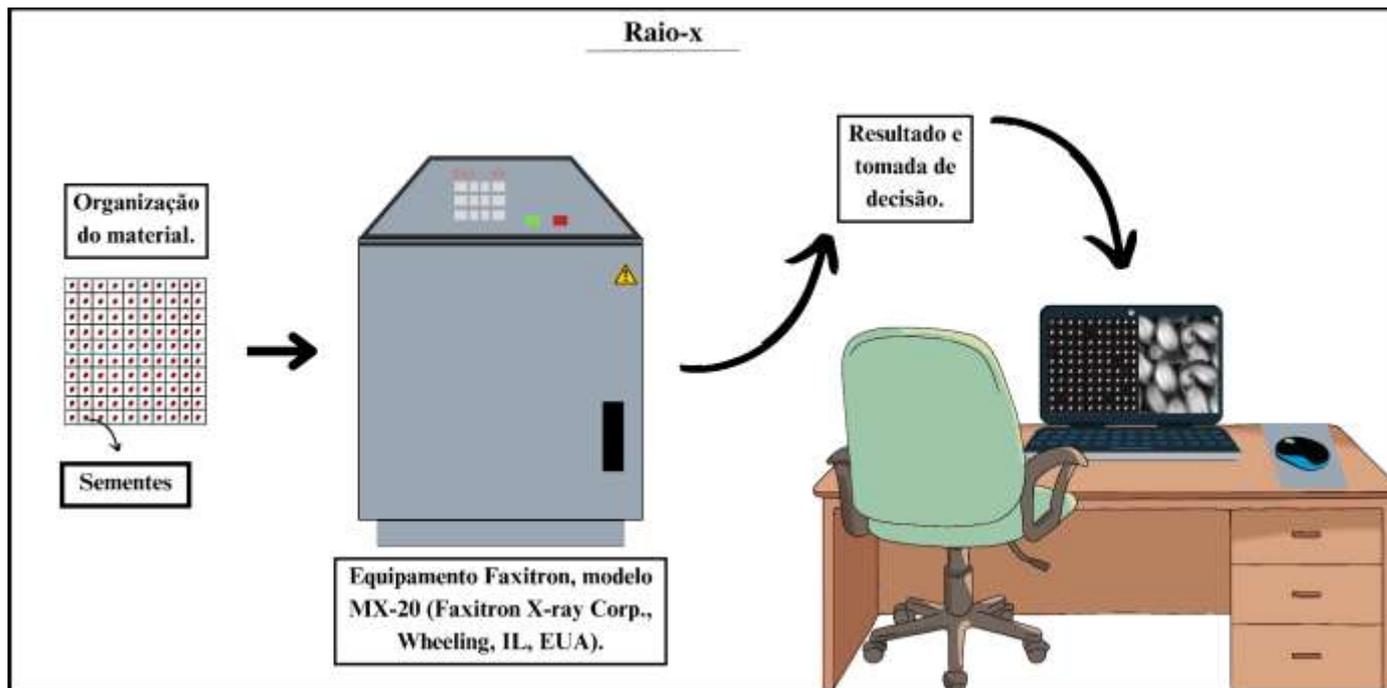


Figura 7. Processo da avaliação da qualidade de sementes por meio do teste de raio-X.

Fonte: autor, 2024.

3.6. Detalhes metodológicos dos testes:

Aprofundando a análise, a Tabela 5 fornece uma visão detalhada das variáveis utilizadas em cada teste, destacando as nuances específicas dos métodos. Para os testes que foram usados em mais de um artigo, calculamos a média (foram somados todos os valores de cada variável, contemplando também todos os valores utilizados em artigo de padronização de metodologia, e dividido pela quantidade total de valores) e o desvio padrão das variáveis (utilizada a equação DESVPAD, do programa Excel), oferecendo uma compreensão mais clara das práticas comuns empregadas pelos pesquisadores. Ao observar as variáveis dos diferentes testes, torna-se evidente que há uma diversidade significativa nas abordagens adotadas para avaliar o vigor das sementes. Essas variações refletem a complexidade dos processos biológicos subjacentes e as diferentes ênfases de cada teste.

Tabela 5 - Testes rápidos de avaliação da qualidade de sementes utilizados em artigos científicos.

Testes	Volume de água (mL)	Temperatura (°C)	Concentração (mg/L)	Tempo de embebição (h)
Raio - X	-	-	-	0,001
Tetrazólio	-	35,18 \bar{x} (5,92 s)	0,35 \bar{x} (0,37 s)	8,90 \bar{x} (20,57 s)
pH do exsudato	66,250 \bar{x} (122,524 s)	25 \bar{x} (4,082 s)	-	6,596 \bar{x} (8,064 s)
Atividade respiratória	17,500 \bar{x} (10,607 s)	25 \bar{x} (0,0 s)	-	4,500 \bar{x} (4,950 s)
Imagem hiperespectral	-	-	-	-
Condutividade elétrica	83,478 \bar{x} (48,087 s)	23,421 \bar{x} (2,388 s)	-	18,794 \bar{x} (8,804 s)
Câmara de crescimento	-	-	-	-
Envelhecimento acelerado	52,800 \bar{x} (45,691 s)	41,500 \bar{x} (1,905 s)	-	97,358 \bar{x} (113,882 s)
Lixiviação de sódio e potássio	75	25	-	2

Onde: \bar{x} : média; s: desvio padrão.

Interessantemente, ao analisar a temperatura de aplicação dos testes, observamos uma similaridade notável em três deles: pH do exsudato, atividade respiratória e lixiviação de sódio e potássio. Estes testes demonstraram consistentemente a aplicação em torno de 25 °C, sugerindo uma temperatura que é considerada ótima para essas avaliações específicas. Essa uniformidade na temperatura pode indicar um consenso entre os pesquisadores quanto à faixa ideal para conduzir esses testes, provavelmente baseada em estudos prévios e na compreensão dos processos fisiológicos das sementes. Além do mais, a temperatura média de 25 °C é frequentemente escolhida porque é próxima da temperatura ambiente padrão para muitas regiões.

Sendo assim, a determinação das condições ótimas (volume, temperatura, concentração e tempo de embebição) de acordo com as metodologias e espécies utilizadas é extremamente

importante para a obtenção de resultados verídicos. Um volume de água adequado é necessário para garantir uma representação fiel das substâncias liberadas pelas sementes durante o processo de embebição, enquanto o tempo de embebição e concentração ajustados permitem que as reações químicas ocorram completamente, refletindo resultados precisos de acordo com o teste utilizado e a forma de avaliação. Deste modo, a padronização desses valores em estudos científicos permite uma comparação consistente entre os resultados obtidos em diferentes pesquisas, contribuindo para o avanço do conhecimento na área da fisiologia das sementes e sua aplicação na prática. No entanto, em alguns casos específicos, as condições podem ser ajustadas dependendo das características das sementes sendo testadas ou dos objetivos do teste (Whitehouse *et al.*, 2020).

Especificamente, o teste de raio-X é rápido devido à capacidade tecnológica do equipamento utilizado, assim tendo resultados em um curto período. Inclusive, os testes de imagem, incluindo a imagem hiperespectral, são considerados avanços promissores na ciência de sementes devido à incorporação de tecnologias avançadas que oferecem um nível superior de precisão e detalhamento na avaliação da qualidade e vigor das sementes (Brosnan, Sun, 2002). O emprego dessas tecnologias facilita uma análise detalhada das propriedades físicas, químicas e estruturais das sementes, destacando padrões e anomalias que frequentemente são subestimadas por testes convencionais (Galletti *et al.*, 2020). Essa acuidade elevada é essencial para a detecção precoce de defeitos, contaminações por patógenos e outras anomalias que podem comprometer a germinação e o crescimento subsequente das plantas, desempenhando um papel fundamental na melhoria da eficiência e sustentabilidade da produção agrícola e florestal (Pinheiro *et al.*, 2022).

Adicionalmente, a integração da análise de imagens na tecnologia aplicada à ciência de sementes tem propiciado avanços significativos na forma como a qualidade e vigor das sementes são avaliados (Medeiros *et al.*, 2020a). Assim, esses progressos sublinham a necessidade de considerar não apenas os métodos de teste em si, mas também as variáveis específicas aplicadas em cada teste, reforçando a importância de adaptar e otimizar esses métodos conforme as exigências específicas de cada análise.

4. CONSIDERAÇÕES

Este estudo evidenciou a ampla diversidade de testes disponíveis para a avaliação de sementes, ressaltando a posição de destaque do Brasil nesse campo de pesquisa. Além disso, o constante desenvolvimento e aplicação de técnicas e tecnologias inovadoras, como a imagem

hiperespectral e o raio-X, demonstram-se fundamentais para aprimorar a eficiência das avaliações. É válido ressaltar que as considerações apresentadas são, especificamente, da análise das publicações indexadas nas bases Scopus e Web of Science, no período de 1º de janeiro de 2004 a 1º de janeiro de 2024, utilizando as determinadas palavras-chave apresentadas anteriormente.

5. REFERÊNCIAS

ABATI, J. *et al.* Water absorption and storage tolerance of soybean seeds with contrasting seed coat characteristics. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 44, p. e53096, 2022. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.53096>

ANGSUMALEE, D. *et al.* Efeitos do regulador de crescimento vegetal e da irrigação na maturidade fisiológica e de colheita do trevo vermelho em relação à qualidade da semente. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 572-580, 2019. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0191>

ASHRAF, A.; HABID, M. Ash (*Fraxinus excelsior*) seed quality in relation to seed deterioration under accelerated aging conditions. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 36, p. 6961-6972, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1234>

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. 2005. Aosa Rules For Testing Seeds. In: [place unknown].

BANDEIRA, J. M. *et al.* 2014. Antioxidative metabolism: a tool to detect small differences in the vigor of soybean seeds. **Iheringia, Série Botânica**. 69(2):285–292.

BIRUEL, R. P. *et al.* Efeitos do condicionamento seguido ou não de secagem em sementes de *Pterogyne nitens* Tul. sob estresse. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 119-128, 2007.

BRASIL. 2009. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. In: Regras para análise de sementes. [place unknown]; p. 395.

BRASILEIRA, R. F. Z. M. *et al.* Testes alternativos a qualidade de sementes esverdeada de soja sementes esverdeadas em soja: testes alternativos para determinar a sua qualidade. **Revista Brasileira de Sementes**. 29(1):1–10, 2007.

BROSNAN, T.; SUN, D. W. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems—a review. **Computers and electronics in agriculture**, v. 36, n. 2-3, p. 193-213, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00101-1)

CANTUÁRIA FIGUEIREDO, J. *et al.* Electrical conductivity test on flex seeds. **Investigación Agraria**, v. 23, n. 2, p. 81-85, 2021. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2021.diciembre.2302686>

CARVALHO, D. U. *et al.* pH exudate test as a method to estimate viability and vigor of Citrus limonia Osbeck seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 2, p. 156-163, 2018. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n2187156>

CARVALHO, J. A. *et al.* Testes rápidos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de Citromelo swingle. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, p. 263-270, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100037>

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. In: [place unknown]; p. 588, 2000.

CARVALHO, T. C.; NOVEMBRE, A. D. D. A. L. C. Qualidade de sementes de soja colhidas de forma manual e mecânica com diferentes teores de água. **Semin Cienc Agrar**. 33(1):155–166, 2012. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p155>

CATÃO, H. C. R. M. *et al.* Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de alface durante armazenamento em diferentes temperaturas. **Horticultura Brasileira**, v. 36, p. 118-125, 2018. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620180120>

CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. Métodos de sistematização de literatura em estudos científicos: bibliometria, meta-análise e revisão sistemática. **Internext**, v. 17, n. 2, p. 284-292, 2022.

CORDEIRO, L. N. *et al.* Suitability of tetrazolium test for *Tamarindus indica* L. seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 2, p. 509-522, 2022. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n2p509>

CORTE, V. B. *et al.* Physiological quality of *Melanoxylon brauna* seeds aged naturally and artificially. 2010.

DEVRIES, M.; GOGGI, A. S.; MOORE, K. J. Determinação do desempenho de sementes de lotes de sementes de milho danificados pela geada. **Crop science**, v. 47, n. 5, p. 2089-2097, 2007. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.01.0005>

DODE, J. S. *et al.* Respiration test soybean seed as related of physiological quality. **Ciência Rural**, v. 43, p. 193-198, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200001>

ELIAS, R. A. *et al.* Vigor and viability during seed storage of three *Campomanesia* species endemic to southern Brazil. **Trees**, v. 37, n. 5, p. 1417-1433, 2023. <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02433-1>

ENSSLIN, L. *et al.* ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Rio de Janeiro: **INPI**; 2010.

FAVARATO, L. F. *et al.* Teste de lixiviação de potássio para avaliação da qualidade em sementes de trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 670-674, 2011. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1547>

FENG, L. *et al.* Hyperspectral imaging for seed quality and safety inspection: A review. **Plant methods**, v. 15, p. 1-25, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0476-y>

FERRADOUS, A. *et al.* Mise en application opérationnelle du test de viabilité au tétrazolium chez les semences d'arganier (*Argania spinosa*) stockées pendant plusieurs années. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 47, n. 9, p. 1286-1292, 2017.

FERREIRA, R. A. *et al.* Watching the days go by: Aging during sunflower seed storage under distinct oxygen availability. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, p. e017921, 2021. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145017921>

FERREIRA, R. A. *et al.* Watching the days go by: Aging during sunflower seed storage under distinct oxygen availability. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, p. e017921, 2021.

FLORES, A. V. *et al.* Germinação de sementes de *Melanoxylon brauna schott* em diferentes temperaturas. **Revista Árvore**, v. 38, p. 1147-1154, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600019>

FRANÇA-NETO, J. B. *et al.* 2018. Metodologia do teste de tetrazólio em semente de soja. 1st ed. Londrina.

FRANÇA-NETO, J. B. Teste de tetrazólio para determinação do vigor de sementes. **ABRATES**. P. 1–7, 1999.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. **Journal of Seed Science**. 41(3):359–366, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3223104>

GALLETTI, P. A. *et al.* Integrating optical imaging tools for rapid and non-invasive characterization of seed quality: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and carrot (*Daucus carota* L.) as study cases. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 577851, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.577851>

GARCIA, Cristhyane *et al.* Conservation of the viability and vigor of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze seeds during the storage. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 857-866, 2014.

GARCÍA-QUINTANA, Y. *et al.* Viabilidade de sementes, germinação e padrões de qualidade de plântulas de três espécies florestais para restauração em condições amazônicas. **Enfoque UTE**, v. 14, n. 1, p. 18-32, 2023. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.890>

GAYATHRI, M.; JERLIN, R. Effect of Acceleratedly Aged Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Seeds on Physiological and Biochemical Properties. **Legume Research - An International Journal (Of)**, 2023. <https://doi.org/10.18805/lr-5161>

GIBBERT, P. *et al.* Conservation of seeds of *Myrcianthes pungens* (Berg) Legr. in different packaging in a controlled environment1. **Revista Árvore**, v. 43, n. 2, p. e430205, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000200005>

GOMES-JUNIOR, F. G. *et al.* Densitometria de raios X para avaliação da morfologia interna e qualidade de sementes. **Ciência e Tecnologia de Sementes**, v. 40, n. 1, p. 102-107, 2012. <https://doi.org/10.15258/sst.2012.40.1.11>

GUEDES, R. S. *et al.* Envelhecimento acelerado na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. **Semin Cienc Agrar**. 32(2):443–450, 2011. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p443>

GUEDES, R. S. *et al.* Resposta fisiológica de sementes de *Erythrina velutina* Willd. ao envelhecimento acelerado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 2, p. 323-330, 2009.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIAS DA INFORMAÇÃO, 6, 2005, Salvador. Anais eletrônicos... Salvador, 2005.

HORNKE, N. F. *et al.* Potencial fisiológico de sementes de cebola armazenadas em diferentes embalagens e ambientes. **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 312-318, 2020. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620200312>

HÖSSEL, C. *et al.* Conservation and tetrazolium test in jaboticaba seeds. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 255-261, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100029>

JIN, B. *et al.* Determinação da viabilidade e vigor de sementes de arroz envelhecidas naturalmente usando imagens hiperespectrais com aprendizado de máquina. **Infrared Physics & Technology**, v. 122, p. 104097, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104097>

JO, O.; OWOLADE, S. R. A. A. Variabilidade genética na qualidade de sementes de inhame africano (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich Harms). **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 27, p. 5848-5853, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1311>

JUNIOR, J. L. A. M. *et al.* Viabilidade e vigor de sementes de *Moringa oleifera* Lam. pelo teste de tetrazólio. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 6, p. 846-849, 2022. <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.06.p3636>

KAMILARIS, A.; PRENAFETA-BOLDÚ, F. X. Deep learning in agriculture: A survey. **Comput Electron Agric**, 2018. 147:70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>

KANDPAL, L. M. *et al.* Sistema de imagem hiperespectral de infravermelho próximo acoplado a métodos multivariados para prever viabilidade e vigor em sementes de melão. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 229, p. 534-544, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.02.015>

KIM, Hyunsu *et al.* Detecção colorimétrica de tiofenol com base em um derivado de fenolftaleína e sua aplicação como uma porta lógica molecular. **ChemPhysChem**, v. 18, n. 13, p. 1752-1754, 2017. <https://doi.org/10.1002/cphc.201601348>

KRUEGER, K. *et al.* A fertilização com fósforo e potássio não afeta a armazenabilidade da soja. **Agronomy journal**, v. 104, n. 2, p. 405-414, 2012. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0156>

KRZYZANOWSKI, F. C. *et al.* Physiological and sanitary performance of soybean seeds during storage after phosphine fumigation. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 280-285, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3205560>

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. 1999. Vigor de Sementes: Conceitos e Testes. In: Seed Vigour: Concepts and Tests. Londrina.

DEMELASH, L.; TIGABU, M.; ODEN, P. C. Evaluating the relative storability of IDS-treated and untreated *Pinus patula* seeds by accelerated ageing. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 206-217, 2004.

LEÃO-ARAÚJO, É. F. *et al.* Evaluation of the desiccation of *Campomanesia adamantium* seed using radiographic analysis and the relation with physiological potential. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 592-600, 2019. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.05.0302>

LEVIEN, A.; PESKE, S. Secagem estacionária de sementes de soja usando ar de secagem de diferentes umidades relativas. **Seed Science and Technology**, v. 36, n. 1, p. 148-156, 2008.

LUZ, P. B. *et al.* Utilização de análise de imagem para avaliação da qualidade de sementes de *Passiflora cincinnata* (maracujá-do-mato). **Multitemas**, p. 123-139, 2021. <https://doi.org/10.20435/multi.v26i64.3191>

LV, Y. Y. *et al.* The seed semipermeable layer and its relation to seed quality assessment in four grass species. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1175, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01175>

KHAJEH-HOSSEINI, M.; REZAZADEH, M. A condutividade elétrica da água de imersão de sementes de grão-de-bico fornece um teste rápido indicativo de emergência em campo. **Seed Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 692-696, 2011.

MARCHETTI, F. *et al.* Caminhos da reforma agrária no Brasil e suas implicações para a agrobiodiversidade. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 284-311, 2020. <https://doi.org/10.36920/esa-v28n2-2>

MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Abrates. Londrina, 2015.

MATTHEWS, S. *et al.* Potential for early counts of radicle emergence and leakage of electrolytes as quick tests to predict the percentage of normal seedlings. **Seed Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 1-18, 2018. <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.1.01>

MATTOS, P. P.; MEDEIROS, A. C. S. Uso de raios x na avaliação de sementes de pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*) e erva-mate (*Ilex paraguariensis*). 2000.

MBOFUNG, G. C. Y. *et al.* Efeitos da temperatura de armazenamento e da umidade relativa na viabilidade e vigor de sementes de soja tratadas. **Crop Science**, v. 53, n. 3, p. 1086-1095, 2013. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.09.0530>

MEDEIROS, A. D. de *et al.* Abordagem baseada em aprendizado profundo usando imagens de raios X para classificação da qualidade de sementes de *Crambe abyssinica*. **Industrial Crops and Products**, v. 164, p. 113378, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113378>

MEDEIROS, A. D.; PINHEIRO, D. T.; XAVIER, W.A.; SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. S. Quality classification of *Jatropha curcas* seeds using radiographic images and machine learning. **Ind Crops Prod.** P. 146, 2020.112162. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112162>

MENDONÇA, E. A. F.; COELHO, M. F. B.; LUCHESE, M. Teste de tetrazólio em sementes de mangaba-brava (*Lafoensia pacari* St. Hil-Lythraceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 2, p. 33-8, 2006.

MENEZES, N. L.; CÍCERO, S. M.; VILLELA, F. A. Identificação de fissuras em sementes de arroz após a secagem artificial, por meio de raios-X. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1194-1196, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500033>

MERZAH, K. A.; ABOOHANAH, M. A. Efeitos de aminoácidos pulverizados e nano-boro na viabilidade e vigor da semente de abóbora de verão. *Int. J. Agricult. Sci*, v. 16, n. Suplemento 1, p. 1041-1051, 2020.

MICHELON, T. B.; VIEIRA, E. S. N.; PANOBIANCO, M. Processamento de lotes de sementes de *Eucalyptus cloeziana* para melhorar pureza, germinação e vigor. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 4, p. e20190299, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0299>

MONROY-VÁZQUEZ, M. E. *et al.* Imbibición, viabilidad y vigor de semillas de cuatro especies de *Opuntia* con grado distinto de domesticación. **Agrociencia**, v. 51, n. 1, p. 27-42, 2017.

NASCIMENTO, M. G. R. *et al.* Testes de vigor em sementes crioulas de *Phaseolus lunatus* L. **Bioscience Journal**, p. 1463-1469, 2019. 35(5). <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n5a2019-42309>

NASCIMENTO, W. M. *et al.* Grão-debico. In: Hortaliças leguminosas. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, 2016, p.89-118.

NERLING, D.; COELHO, C. M. M.; BRÜMMER, A. Perfil bioquímico e seu papel na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 07-15, 2018. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n1172734>

NERY, M. C.; DE CARVALHO, M. L. M.; DE OLIVEIRA, L. M. Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 3, pág. 365-372, 2007.

NOGUEIRA, N. W.; TORRES, S. B.; FREITAS, R. M.O. Tetrazolium test in timbaúba seeds. 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p2967>

OLIVEIRA, A. K. M.; SCHELEDER, E. J. D.; FAVERO, S. Morphological characterization, viability, and vigor of *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex. DC.) Standl seeds. **Revista Árvore**, v. 32, p. 1011-1018, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000600006>

OLIVEIRA, C. M. G. *et al.* Relação entre a permeabilidade da vagem e a qualidade da semente de soja. **Journal of Seed Science**, v. 36, p. 273-281, 2014. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v36n3919>

OLIVEIRA, L.M.; DE CARVALHO, M. L. M.; NERY, M. C. Teste de tetrazólio em sementes de *Tabebuia serratifolia* Vahl Nich. e *T. impetiginosa* (Martius ex AP de Candolle) Standley-Bignoniaceae. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 169-174, 2005.

PAIVA, E. P. *et al.* Tetrazolium test for the viability of gherkin seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 118-124, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170013>

PANG, L. *et al.* Predição rápida da viabilidade de sementes de *Sophora japonica* por algoritmo de projeção sucessiva aprimorado e imagem hiperespectral. **Infrared Physics & Technology**, v. 123, p. 104143, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104143>

PARAÍSO, H. A. *et al.* Ajustes na metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 007-012, 2019. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1187777>

PARREÑO-DE GUZMAN, L. E. *et al.* Teste de viabilidade e vigor de sementes de *Jatropha curcas* L. **Philip J Crop Sci**, v. 36, n. 3, p. 10-18, 2011.

PEREIRA, K. T. O. *et al.* Physiological quality evaluation of *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke seeds by tetrazolium test. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, p. e20196712, 2020. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200019>

PEREIRA, T. *et al.* Qualidade Fisiológica de Sementes de Soja em Função da Dessecação Pré-Colheita. **Planta Daninha**, v. 33, p. 441-450, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000300007>

PEREZ, S. C. J. G. A.; JARDIM, M. M. Viabilidade e vigor de sementes de paineira após armazenamento, condicionamento e estresses salino e térmico. **Pesqui Agropecu Bras.** 40(6), p. 587–593, 2005.

PETERS, J. Tetrazolium testing handbook. Ithaca: Association of Official Seed Analysts. In: AOSA Contribution to the Handbook on Seed Testing, 29. [place unknown]; p. 88, 2005.

PINHEIRO, R. M. *et al.* Processamento de imagens como ferramenta importante para inteligência artificial no setor de sementes. **Rev Agrar Acad.** 5(1), p. 89–101, 2022. <https://doi.org/10.32406/v5n1/2022/89-101/agrariacad>

PINHO, D. S. *et al.* Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) SPEG.durante o armazenamento. **Revista Árvore.** 33(1):27–33, 2009.

PRATCHLE, J.; SHIRRIFF, S. W.; BECKIE, H. J. Quick test for qualitative detection of glyphosate-resistant kochia (*Kochia scoparia* L. Schrad.). **Canadian Journal of Plant Science**. 94(8):1413–1417, 2014.

RAHMAWATI, R.; SUWARTI, S.; AQIL, M. Maize Seed Quality Evaluation at the Temperature Room Storage with Open Package Condition. **Agrivita Journal of Agricultural Science**. 41(3), 2019. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i3.1269>

RAMOS, K. M. O. *et al.* Electrical Conductivity Testing as Applied to the Assessment of Freshly Collected *Kielmeyera coriacea* Mart. Seeds. **ISRN Agronomy**. 2012:1–5, 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/378139>

REZAZADEH, M. The electrical conductivity of soak-water of chickpea seeds provides a quick test indicative of field emergence. [S.l.], 2011.

REZENDE, R. G. *et al.*. Teste de tetrazólio em sementes de crambe. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2539, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2539>.

RIBEIRO, D. M. *et al.*. Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor de sementes em milho-pipoca (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 772–776, 2009.

RODRIGUES, M. *et al.* Physiological performance of soybean seeds in the accelerated aging test and their germination after several waiting periods. **Journal of Seed Science**, v. 44, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44257868>.

ROORKIWAL, M. *et al.* Genome-enabled prediction models for yield related traits in chickpea. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1666, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01666>

ROSADO, C. B. *et al.* Physiological quality of bean seeds after application of desiccant herbicides. **Ciência Rural**, v. 49, n. 9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180228>.

RUAS, T. L.; PEREIRA, L. How to build science, technology, and innovation indicators using web of science, Derwent World Patent Index, Bibexcel, and Pajek?. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 19, p. 52-81, 2014.

SABNIS, R. W. **Handbook of Acid-Base Indicators**. [S.l.]: CRC Press, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780849382192>.

SÁENZ-RAMÍREZ, L. H. *et al.* Viabilidade de sementes armazenadas de *Himatanthus sucuuba* Wood pelo teste de tetrazólio. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 333–349, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509842809>.

SAINI, M. *et al.* Accelerated ageing test reveals quantitative nature of inheritance of seed viability in soybean [*Glycine max* (L.) Merr]. **Research Square [Internet]**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1548652/v1>.

SALVINO, C. H. *et al.* Germination of cotton seeds under water stress Germination of cotton cultivar seeds under water stress induced by polyethyleneglycol-6000. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 2, p. 131–138, 2011.

SANTOS, J. F. *et al.* Avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 743–751, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000400016>.

SANTOS, M. A. C. dos. Levantamento de Espécies Vegetais Úteis das Áreas Sucuriju e Região dos Lagos, no Amapá. 2006.

SCARPIM, J. *et al.* Comparison of viability and vigor tests in soybean seeds (*Glycine max* (L.) Merrill.). **Applied Research & Agrotechnology**, v. 13, p. 6063, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/PAeT.V13.e6063>.

SILVA, J. G. *et al.* Flora Brasileira 2020: alavancando o poder de uma rede científica colaborativa. 2022. <https://doi.org/10.1002/tax.12640>

SILVA, J. G. *et al.* Pre-germinative treatments in pomegranate seeds (*Punica granatum* L.): effect on physiological quality. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, spe., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452017732>.

SILVA, J. N. *et al.* Testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica para sementes de espécies florestais nativas: Uma breve revisão. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 2, 2019.

SILVA, J. N. *et al.* Testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica para sementes de espécies florestais nativas: Uma breve revisão. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 2, 2020.

SILVA, K. S. *et al.* Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para sementes de *Hymenachne amplexicaulis*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1819–1824, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1819>.

SILVA, R. C. *et al.* Adaptação do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 105–113, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100014>.

SILVA, R. N. O. *et al.* Methodological adjustments to the tetrazolium test in coriander seeds. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v43251969>.

SILVA, R. P. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max.* L.) durante o beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1219–1230, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1219>.

SONG, P. *et al.* Evaluating the effect of aging process on the physicochemical characteristics of rice seeds by low field nuclear magnetic resonance and its imaging technique. **Journal of Cereal Science**, v. 89, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102805>.

SOUTO, P. C. *et al.* Exudate - phenolphthalein pH test for evaluation of validity in seeds of *Libidibia ferrea*. **An Acad Bras Cienc**, v. 91, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180734>.

SOUZA, A. A. T. *et al.* Tetrazolium test to estimate okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH) seed viability. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 4, p. 817–822, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n403rc>.

SOUZA, T. R. *et al.* Physiological quality of conventional soybean cultivars of seeds as a function of pod position in plant canopy. **Emir J Food Agric**, p. 336, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i5.2100>.

SUJATHA, K. *et al.* Quick Test for Viability Determination in Cashew Seed Nut. **In: I International Symposium on Cashew Nut 1080**, p. 321–323, 2011.

SUJATHA, K. *et al.* Quick test for viability determination in cashew seed nut. **Acta Hortic**, n. 1080, p. 321–323, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1080.42>.

SUKKAEW, N. *et al.* Tetrazolium Test for Evaluating Viability of Stored Rice (*Oryza Sativa*) Seeds. **Seed Science and Technology**, v. 51, n. 1, p. 97–109, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.15258/sst.2023.51.1.08>.

THAI, K.; RAYAMAJHI, M. B.; CENTER, T. D. Seed Longevity of *Melaleuca quinquenervia*: A Burial Experiment in South Florida. [Local desconhecido], 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1834/19468>.

WHITEHOUSE, K. J.; HAY, F. R.; LUSTY, C. Why Seed Physiology Is Important for Genebanking. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 584, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9050584>.

WU, X.; LIU, H. *et al.* Proteomic analysis of seed viability in maize. **Acta Physiol Plant**, v. 33, n. 1, p. 181–191, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0536-4>.

ZANZIBAR, M. *et al.* *Toona sureni* (blume) merr. Seeds invigoration using 60 Co Gamma-Rays irradiation. **Forest Sci Technol**, v. 17, n. 2, p. 80–87, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1924872>.

CAPÍTULO II:

ADEQUAÇÃO DOS TESTE DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E PH DO EXSUDATO
PARA SEMENTES DE *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **ADEQUAÇÃO DOS TESTE DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E PH DO EXSUDATO PARA SEMENTES DE *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.** 2024. Orientador: Marcone Moreira Santos. Coorientadores: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

RESUMO

A necessidade de testes rápidos para a avaliação do vigor de sementes florestais para fins de conservação e propagação de espécies é cada vez maior. O objetivo no presente trabalho foi adequar o teste de condutividade elétrica e pH do exsudato para a avaliação das sementes de *Astronium urundeuva*, popularmente conhecida como aroeira-do-sertão. O estudo foi conduzido no Laboratório de Análises de Sementes Florestais do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), utilizando 5 lotes. Para caracterização inicial dos lotes, os seguintes testes foram realizados: teor de água, peso de mil sementes, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, porcentagem de germinação e a curva de embebição. Para a adequação do teste de condutividade elétrica e pH do exsudato utilizou-se um condutivímetro e peagâmetro de bancada, em que, foram avaliadas três quantidades de sementes (25, 30 e 40 sementes de cada lote), três volumes de água deionizada (50, 75 e 100 mL) e quatro períodos de avaliações (3, 6, 12 e 24 horas), totalizando 36 tratamentos. O delineamento foi o inteiramente casualizado (DIC) em um esquema fatorial triplo (nº de sementes x volume de água x tempo), com 4 repetições para cada lote. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e a comparação das médias foi realizada por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o programa Rbio. Os resultados demonstraram que o teste de condutividade elétrica é válido para avaliar o vigor das sementes de *A. urundeuva*, proporcionando uma avaliação precisa, especialmente quando realizado com 50 mL de água destilada e um período de embebição de 12 horas, utilizando 25 sementes. Para o teste de pH do exsudato, foi identificado que a metodologia mais adequada é com 50 mL de água destilada, 6 horas de embebição e 25 sementes. Estas abordagens são eficientes e requerem uma quantidade reduzida de água, tempo e sementes, além de fornecer resultados confiáveis.

Palavras-chave: *Myracrodruon urundeuva*, qualidade fisiológica, testes rápidos, vigor, sementes florestais.

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **ADAPTATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND PH TESTS OF EXSUDATE FOR SEEDS OF *Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.** 2024. Advisor: Marcone Moreira Santos. Co-advisors: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

ABSTRACT

The need for rapid tests to assess the vigor of forest seeds for conservation and species propagation purposes is increasingly urgent. The objective of this study was to adapt the electrical conductivity and exudate pH tests for evaluating seeds of *Astronium urundeuva*, commonly known as "aroeira-do-sertão." The study was conducted in the Forest Seed Analysis Laboratory of the Department of Forest Science at the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE), using five seed lots. For the initial characterization of the lots, the following tests were performed: moisture content, thousand-seed weight, first germination count, germination speed index, germination percentage, and imbibition curve. To adapt the electrical conductivity and exudate pH tests, a benchtop conductivity meter was used to evaluate three seed quantities (25, 30, and 40 seeds per lot), three volumes of deionized water (50, 75, and 100 mL), and four evaluation periods (3, 6, 12, and 24 hours), totaling 36 treatments. The experimental design was completely randomized (CRD) in a triple factorial scheme (seed quantity × water volume × time), with four replicates per lot. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and mean comparisons were performed using Tukey's test ($p \leq 0.05$) with the Rbio software. The results demonstrated that the electrical conductivity test is effective for assessing the vigor of *A. urundeuva* seeds, providing precise evaluations, particularly when conducted with 50 mL of distilled water, a 12-hour imbibition period, and 25 seeds. For the exudate pH test, the most suitable methodology was found to involve 50 mL of distilled water, a 6-hour imbibition period, and 25 seeds. These approaches are efficient, requiring reduced amounts of water, time, and seeds while delivering reliable results.

Keywords: *Myracrodruon urundeuva*, physiological quality, rapid tests, vigor, forest seeds.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Astronium urundeuva* (M.Allemão) pertence à família Anacardiaceae e é popularmente conhecida como aroeira-do-sertão (Mitchell; Dally, 2017; Silva Luz *et al.*, 2020). Sua distribuição geográfica abrange diversos biomas brasileiros, incluindo a Caatinga, o Cerrado, a Mata Atlântica, o Pampa e o Pantanal (Pareyn *et al.*, 2018; Lorenzi, 1992). De acordo com Dantas e Kill, (2023), essa espécie é classificada como dioica (indivíduos com estruturas reprodutivas distintas), seus frutos são do tipo drupa, as sementes são ortodoxas, com tamanho variando entre 2 a 0,4 mm. Entre seus usos, destaca-se seu valor ornamental, apícola, madeireiro e medicinal.

A propagação da espécie é feita por sementes, sendo o vigor destas primordial para garantir seu potencial germinativo (Xavier *et al.*, 2020). Além disso, compreender o vigor das sementes facilita a tomada de decisões relacionadas à produção de mudas nativas, insumo fundamental para a recuperação de áreas degradadas e outras iniciativas de conservação (Vasconcelos *et al.*, 2020). Para tal, os testes de germinação são empregados para realizar a avaliação da qualidade dos lotes, e seguem as regras estabelecidas nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009), abrangendo sementes de espécies agrícolas, florestais, nativas e exóticas (Fiordalisi *et al.*, 2012).

No entanto, o teste de germinação, por ser conduzido em condições ideais de temperatura, umidade e substrato, superestima os resultados de qualidade dos materiais, o que limita sua capacidade de avaliar o vigor das sementes, justamente por causa das condições ótimas que não condizem com a realidade em campo (Cruz *et al.*, 2020). Sendo assim, é necessário o desenvolvimento e aplicação de testes com maior precisão e que tenham respostas rápidas. Além do mais, no caso da espécie *A. urundeuva*, assim como para outras espécies florestais nativas, há uma escassez de estudos sobre testes rápidos para avaliação do vigor de sementes, sendo importante a adequação das metodologias desses testes.

Essa lacuna é uma preocupação significativa, uma vez que o vigor determina o desempenho das sementes em condições adversas. Diante disso, Brandani (2017) afirma que há uma demanda crescente por parte dos produtores de sementes pelo desenvolvimento e aprimoramento de testes que permitam que as sementes sejam analisadas em laboratórios com redução de recursos (número de sementes e custos operacionais) e tempo, em comparação aos testes tradicionais. Além do mais, estes testes complementam as informações fornecidas pelo teste de germinação e outros atributos que compõem o vigor das sementes (ElMasry *et al.*, 2020; Medeiros *et al.*, 2020).

Dentre os testes rápidos comumente utilizados para avaliar o vigor das sementes tem-se o teste de condutividade elétrica, que consiste na quantificação de materiais lixiviados durante o período de embebição e está relacionado ao nível de deterioração das sementes (Torres *et al.*, 2015; Azeredo *et al.*, 2016). Já o teste de pH do exsudato é fundamentado na avaliação da permeabilidade das membranas por meio da lixiviação de solutos (Melo, 2021). Estes testes fornecem resultados rápidos e de fácil execução, podendo auxiliar na tomada de decisões quanto ao uso ou descarte dos lotes de sementes (Ramos *et al.*, 2012).

A partir disso, o objetivo do presente trabalho foi adequar o teste de condutividade elétrica e pH do exsudato para avaliar o vigor das sementes de *Astronium urundeuva*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local de estudo, obtenção e seleção das sementes

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análises de Sementes Florestais, pertencente ao Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Foram avaliados 5 lotes (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação, origem e data de coleta dos 5 lotes de sementes avaliados. Em que: Pernambuco (PE) e Paraíba (PB).

Lotes	Cidade	Estado	Data de Coleta	Latitude	Longitude
1	Sertânia	PE	15/10/2020	-8.066448471	-37.2824614
2	Petrolina	PE	26/08/2021	-9.202241811	-40.45448629
3	Petrolina	PE	13/09/2022	-9.116970237	-40.67197536
4	Cachoeira dos Índios	PB	25/10/2022	-6.983060072	-38.68289508
5	Cajazeiras	PB	06/10/2022	-7.01831283	-38.5806159

As sementes foram provenientes de doação da Rede de sementes do Projeto de Integração do São Francisco (PISF) do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (NEMA/ UNIVASF).

Foi realizado o beneficiamento das sementes, sendo realizada a eliminação das sementes com aspecto visivelmente choco, imaturas, danificadas por insetos ou injúrias e demais impurezas.

2.2. Avaliação das características físicas e químicas das sementes

2.2.1. Curva de embebição

O teste foi realizado com 4 repetições contendo 25 sementes para cada lote. Inicialmente as sementes foram pesadas em uma balança analítica de precisão de 0,0001 g (Shimadzu atx224) para determinar o peso inicial. Em seguida, cada repetição foi acondicionada em caixas do tipo gerbox, contendo duas camadas de papel germitest previamente autoclavadas e umedecidas com um peso equivalente a 2,5 vezes do peso do papel seco (Brasil, 2013). O material ficou mantido em câmara de germinação do tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D) SOLAR a uma temperatura constante de 25 °C. Durante o processo de embebição, as sementes foram pesadas em intervalos específicos de tempo: a cada 60 minutos durante as primeiras 12 horas, a cada 6 horas até completar 24 horas, e, subsequentemente, a cada 24 horas até que atingiram 50% de sementes germinadas (Silva *et al.*, 2023). A germinação foi determinada quando houve a protrusão da raiz primária (Figura 1).

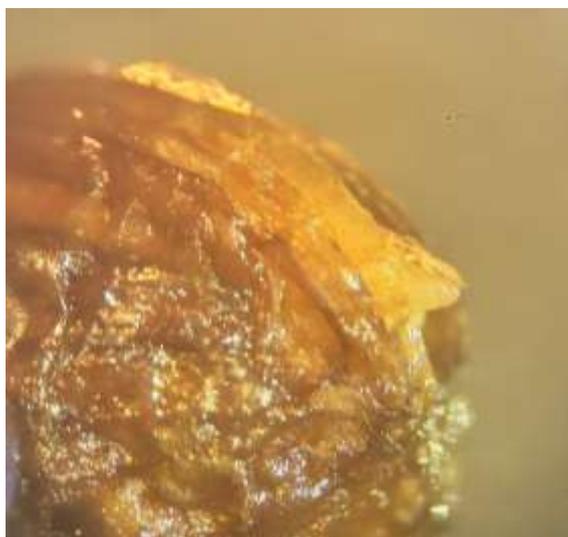


Figura 1. Início da protusão da raiz primária de semente de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Fonte: autor, 2024.

2.2.2. Peso de mil sementes

Inicialmente 800 sementes foram divididas em 8 repetições com 100 sementes, cada. O material foi pesado em balança analítica de precisão de 0,0001 g (Shimadzu atx224) para obtenção da massa úmida. O peso de mil sementes foi obtido a partir da seguinte fórmula, como proposto na Regra para Análise de Sementes (RAS):

$$\text{Peso de mil sementes (PMS)} = \text{peso da amostra} \times 1.000/n^{\circ} \text{ total de sementes}$$

2.2.3. Conteúdo de água das sementes

Foi obtido de acordo com a metodologia proposta pela RAS (Brasil, 2009), que consiste inicialmente na pesagem do material úmido e, posteriormente, sua desidratação em estufa a +/- 105 °C por 24 horas, sendo utilizadas cápsulas de alumínio. Após esse processo foi realizada a diferença existente entre o material úmido e seco.

$$\% CA = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

Em que: % CA = Conteúdo de água, base úmida; P_i = peso inicial da amostra (gramas); P_f = peso final da amostra (gramas).

2.2.4. Teste de germinação.

Inicialmente, as sementes passaram por um processo de higienização para prevenir contaminações, que consistiu em imersão em hipoclorito de sódio a 2% por 3 minutos (Figura 3-A). Os tratamentos foram conduzidos com 4 repetições contendo 25 sementes, cada. O material foi acondicionado em caixas gerbox, contendo duas folhas de papel germitest previamente autoclavadas e umedecidas com um peso equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco (Brasil, 2013) (Figura 3-B). Os tratamentos foram conduzidos em câmaras de germinação

do tipo B.O.D, com temperatura regulada a 25 °C e um fotoperíodo de 12 horas diárias (Brasil, 2013).

As avaliações foram realizadas diariamente, e os papéis foram umedecidos com água destilada sempre que necessário (Brasil, 2013). Para determinar a porcentagem de germinação das sementes (G%), foi utilizado o critério tecnológico, que considera como sementes germinadas aquelas que originam plântulas normais, evidenciando suas estruturas essenciais, conforme definido pelo Brasil (2009), conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2. Germinação e formação das plântulas de *Austronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

O teste de primeira contagem foi realizado simultaneamente ao teste de germinação, computando o número de plântulas normais obtidas nos cinco dias após a semeadura. A porcentagem de germinação de sementes (G%) (Fanti; Perez,1998) foi calculada com a seguinte fórmula:

$$G(\%) = 100 A/N$$

Em que: G(%) – porcentagem de germinação; A- número de sementes germinadas; N - número total de sementes colocadas para germinar em cada repetição.

Para o IVG, a contagem foi realizada diariamente até a estabilização de sementes germinadas. O índice foi calculado utilizando a equação proposta Maguire (1962), onde:

$$IVG = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (G/Nn).$$

Onde: G1, G2, Gn = número de plântulas na primeira, na segunda e na última contagem. N1, N2, Nn = número de dias de semeadura à primeira, segunda e última contagem. Os resultados foram expressos em índice de velocidade de germinação para cada lote.

3. Adequação dos testes rápidos

3.1. Testes de Condutividade elétrica e pH do exsudato

Foram avaliadas quantidades de sementes (25, 30 e 40 sementes de cada lote), volumes (50, 75 e 100 mL) de água destilada e períodos de embebição (3, 6, 12 e 24 horas). Todos os tratamentos foram realizados em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) contendo um total de 4 repetições com 25 sementes, respectivamente. Antes dos testes, as sementes foram desinfestadas em hipoclorito de sódio a 2% por 3 minutos, conforme Brasil (2013). Posteriormente, as sementes foram colocadas em Becker contendo os volumes de água destilada de acordo com os tratamentos. Em seguida, as bandejas onde as amostras estavam foram envoltas com papel alumínio e mantido em B.O.D, de acordo com os períodos citados anteriormente, sob temperatura de 25 °C constante e fotoperíodo de 12h diárias (Avelino *et al.*, 2018). Consecutivamente foi realizada a leitura do material em condutivímetro de bancada (Tec-4MP Condutivímetro), e os resultados foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}/\text{g}^{-1}$. Para o pH do exsudato, a leitura foi realizada em phmetro de bancada.

4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e a comparação de médias por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o programa Rbio.

5. RESULTADOS

5.1. Curva de embebição

A embebição das sementes de *Astronium urundeuva* apresentou diferenças entre os lotes analisados (L1, L2, L3, L4 e L5). Em que, na Fase I, ocorreu um rápido ganho de peso com destaque para L1, L2, L3 e L4, enquanto L5 mostrou menor absorção inicial. Durante a Fase II (3 a 18 horas), os lotes L1, L2, L3 e L4 apresentaram estabilização na taxa de absorção de água, seguida de um leve aumento, especialmente em L1. Em contraste, L5 manteve um padrão gradativo e contínuo de absorção ao longo de toda a fase. Na Fase III, o lote L3 destacou-se pelo maior ganho de peso acumulado, refletindo elevado vigor e potencial germinativo, seguido pelos lotes 1 e 4. Curiosamente, o L5 apresentou um incremento tardio significativo, superando o ganho de peso de L2 (Figura 3).

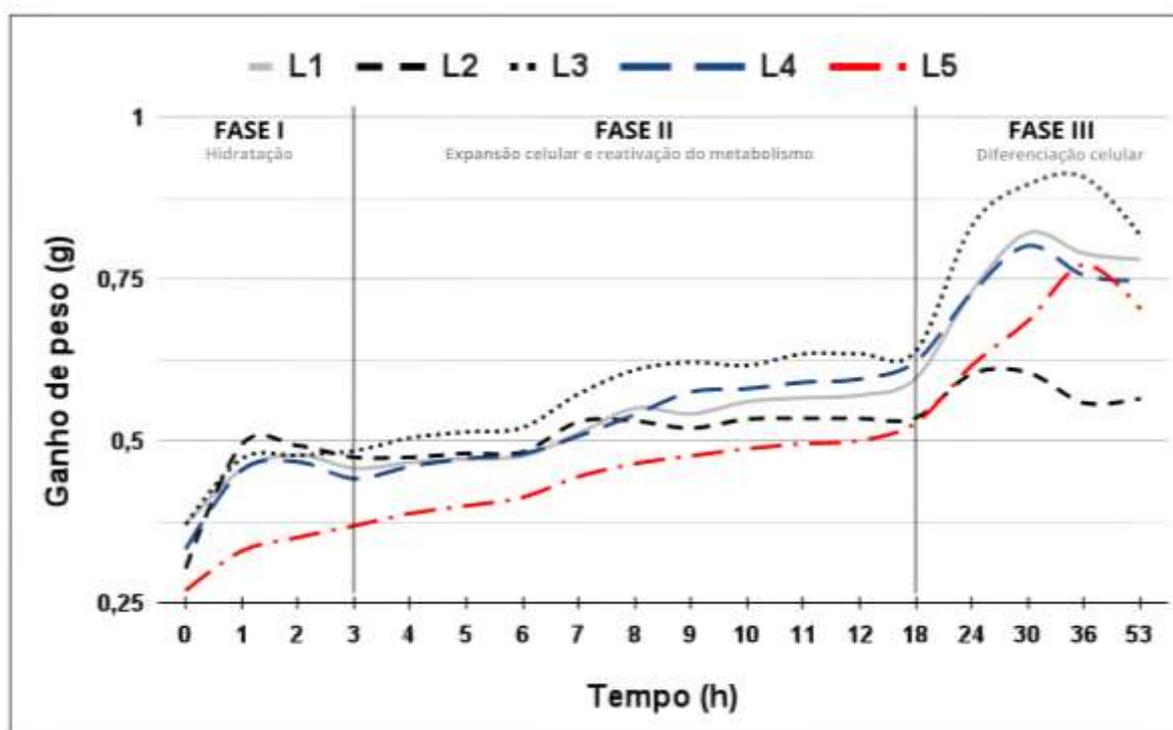


Figura 3. Curva de embebição das sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. dos diferentes lotes: Lote 1, Lote 2, Lote 3, Lote 4 e Lote 5.

Fonte: autor, 2024.

5.2. Avaliação do potencial fisiológico inicial das sementes

Na caracterização inicial dos lotes, os dados apresentados na Tabela 2 indicaram que não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre os lotes em relação ao teor de água, à porcentagem de sementes germinadas, ao comprimento da raiz e à massa seca das plântulas avaliadas.

Entretanto, no teste de primeira contagem e no índice de velocidade de germinação, o lote 5 se destacou significativamente em comparação aos demais. No que tange ao comprimento total, os lotes 1 e 3 apresentaram resultados estatisticamente diferentes apenas em relação ao lote 5.

Tabela 2. Teor de água (TA), peso de 1000 sementes (PM), germinação (G), primeira contagem (PC), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da parte aérea (CPA), raiz (CR), total (CT) e matéria seca (MS) plântulas de cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva*.

LOTES	TA (%)	PM (g)	G (%)	PC (%)	IVG	CPA (cm)	CR (cm)	CT (cm)	MS (g/p)
1	13 a	10.33 c	87 a	2 b	7.3 b	2 c	0.5 a	2.5 b	0.9 a
2	9 a	9.61 d	71 a	3 b	8.3 b	2.4 bc	0.4 a	2.8 ab	0.9 a
3	10 a	11.83 a	78 a	3.3 b	10 b	2.4 bc	0.4 a	2.8 b	0.9 a
4	11 a	10.73 b	72 a	5 b	9.5 b	2.6 ab	0.5 a	3.1 ab	0.9 a
5	9 a	8.84 e	79 a	11 a	13.20 a	3 a	0.6 a	3.5 a	0.9 a
C.V. (%)	24.78	-	20.62	23.95	11.75	5.62	31.11	7.18	2.56

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

5.3. Teste de condutividade elétrica em sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Ao comparar os resultados da condutividade elétrica obtidos pela metodologia, composta por 50 mL de água destilada, 30 e 40 sementes e 12 horas de embebição, com os resultados do teste de germinação, é visto que esses tratamentos são os mais eficientes devido à similaridade entre os resultados de ambos. Conforme apresentado na Figura 4, a seguir:

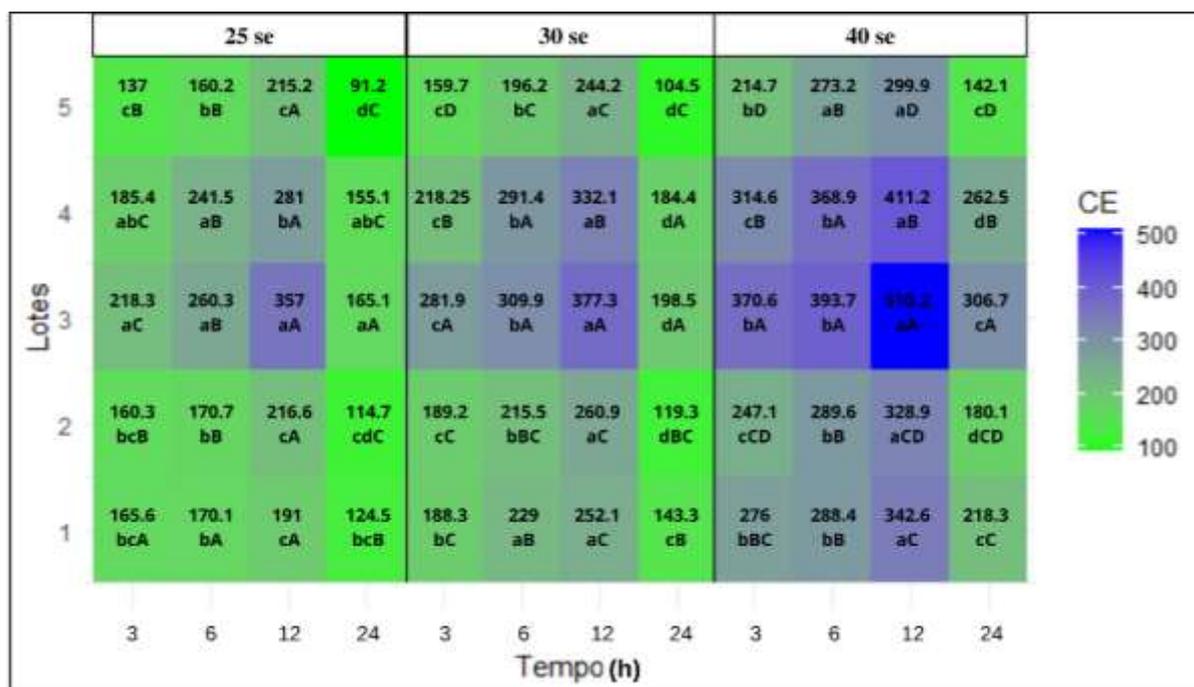


Figura 4. Heatmap representando a condutividade elétrica de cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. em 50 mL de água destilada, utilizando a média dos dados. Em que: “se” significa “sementes”.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha (comparação entre os tempos de embebição) e minúsculas na coluna (comparação entre os lotes na coluna) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2024.

Resultados similares foram encontrados ao aplicar a metodologia com um volume de 75 mL de água destilada e 25 sementes, demonstrando que a maior eficiência observada também foi com 12 horas de embebição (Figura 5).

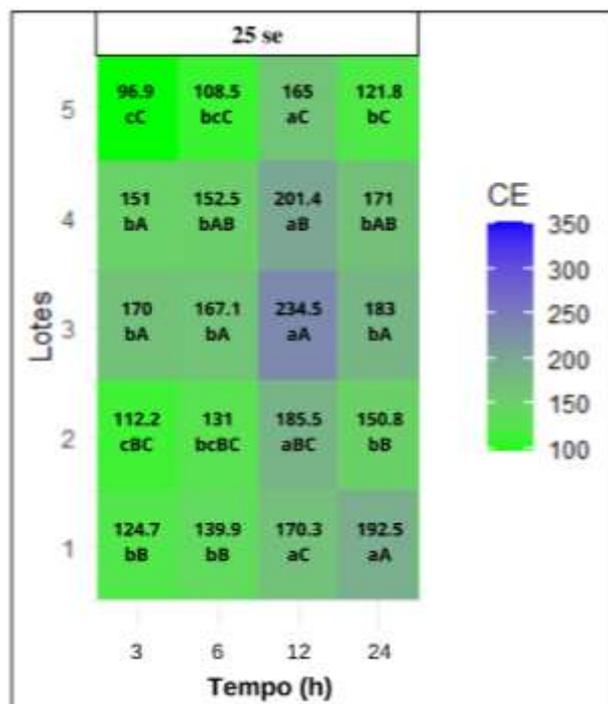


Figura 5. Heatmap representando a condutividade elétrica de cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. em 75 mL de água destilada com 25 sementes, utilizando a média dos dados. Em que: “se” significa “sementes”.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha (comparação entre os tempos de embebição) e minúsculas na coluna (comparação entre os lotes na coluna) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2024.

Os resultados da ANOVA demonstraram que não houve significância a 5% de probabilidade para os grupos de 30 e 40 sementes entre o tempo de embebição e o lote. Portanto, as comparações foram realizadas separadamente. A tabela 3 demonstra que, tanto com 30 quanto com 40 sementes, o período de 12 horas se sobressai em comparação aos demais justamente pelos resultados similares ao do teste de germinação. Além disso, o lote 3 novamente destacou-se estatisticamente em relação aos outros lotes.

Tabela 3. Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Tempo (h)	Tratamentos			Tempo (h)	Tratamentos		
	75 mL + 30 sementes				75 mL + 40 sementes		
	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	Lote	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)		Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	Lote	Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)
3	151 c	1	161.7 c	3	216.9 c	1	228.7 b
6	161.8 c	2	175.1 c	6	210.5 c	2	239.1 b
12	220.6 a	3	222.7 a	12	283.7 a	3	293.4 a
24	181.1 b	4	192.3 b	24	249.7 b	4	253.7 b
		5	141.4 d			5	185.9 c

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Ao utilizar 100 mL de água destilada, foi identificado que a metodologia com 25 sementes e 12 horas de embebição também foi eficiente. Além disso, a combinação de 40 sementes e 6 horas de embebição mostrou-se igualmente eficaz (Figura 6).

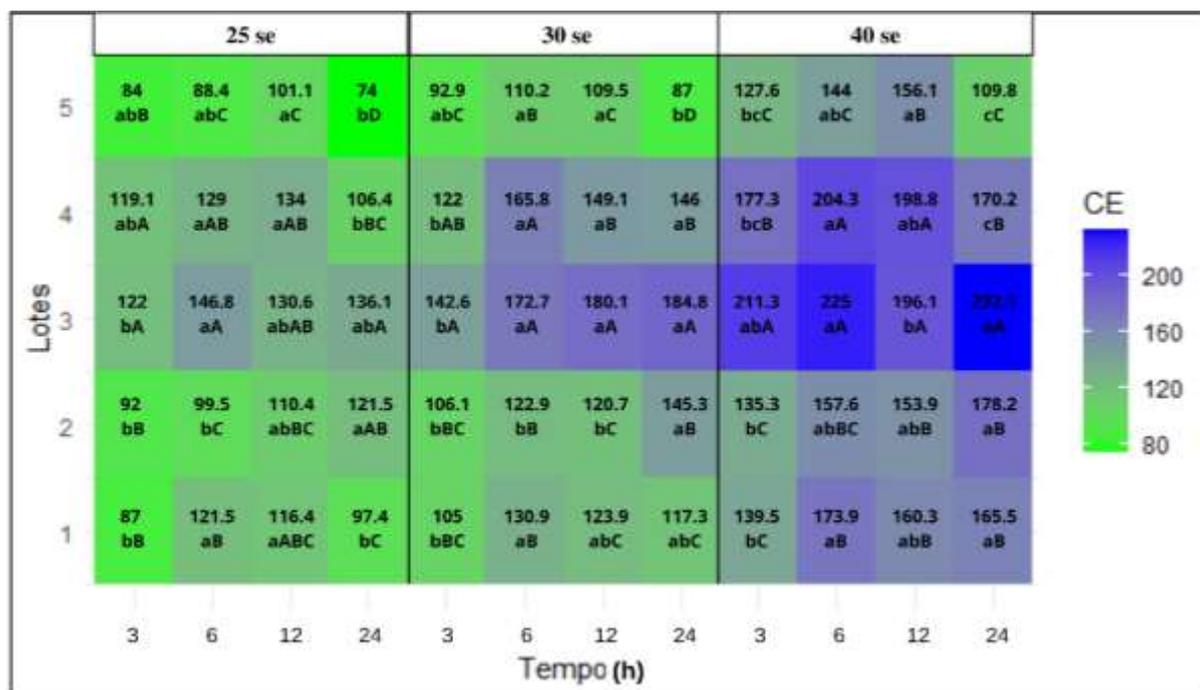


Figura 6. Heatmap representando a condutividade elétrica de cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. em 100 mL de água destilada, utilizando a média dos dados. Em que: “se” significa “sementes”.

Em que: Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha (comparação entre os tempos de embebição) e minúsculas na coluna (comparação entre os lotes na coluna) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2024.

5.4. Avaliação do teste de pH do exsudato em sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Os resultados indicaram que os tratamentos mais adequados, utilizando um volume de 50 mL, foram aqueles com 30 sementes embebidas por 12 horas ou com 40 sementes embebidas por 6 horas (Figura 7). Esses tratamentos apresentaram desempenho semelhante ao teste de germinação, destacando-se como condições ideais para o procedimento.

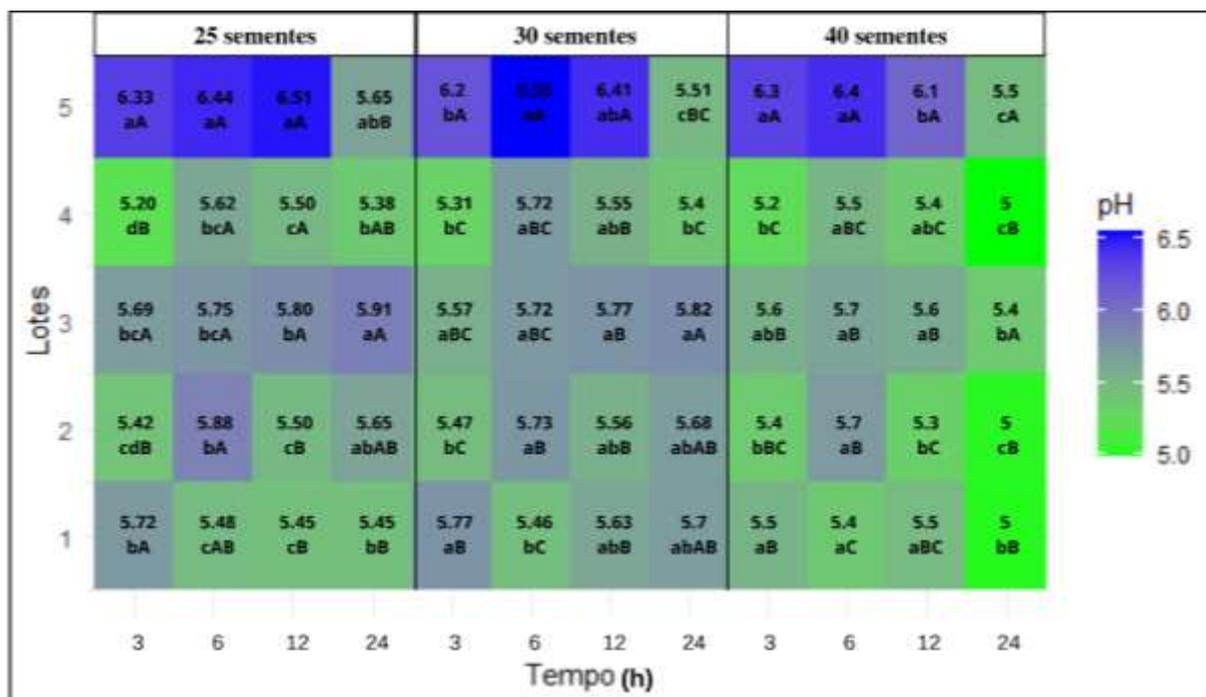


Figura 7. Heatmap representando o pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 50 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha (comparação entre os tempos de embebição) e minúsculas na coluna (comparação entre os lotes na coluna) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2024.

Nos tratamentos de 75 mL + 25 sementes, os resultados da anova para os grupos não foram significativos a 5% de probabilidade entre os tempos de embebição e os lotes. Deste modo, as comparações foram realizadas separadamente. Então, na tabela 4 é possível visualizar que não houve diferença estatística de acordo com o tempo, assim como entre os lotes.

Tabela 4. Análise do pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 25 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Tratamentos			
75 mL + 25 sementes			
Tempo (h)	pH	Lote	pH
3	6.5 a	1	5.8 a
6	5.8 a	2	6 a
12	8.5 a	3	5.9 a
24	5.8 a	4	5.6 a
		5	9.8 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No entanto, os tratamentos que envolveram períodos de embebição de 12 horas, tanto para os grupos de 30 quanto de 40 sementes, apresentaram resultados semelhantes aos observados no teste de germinação (Figura 8).

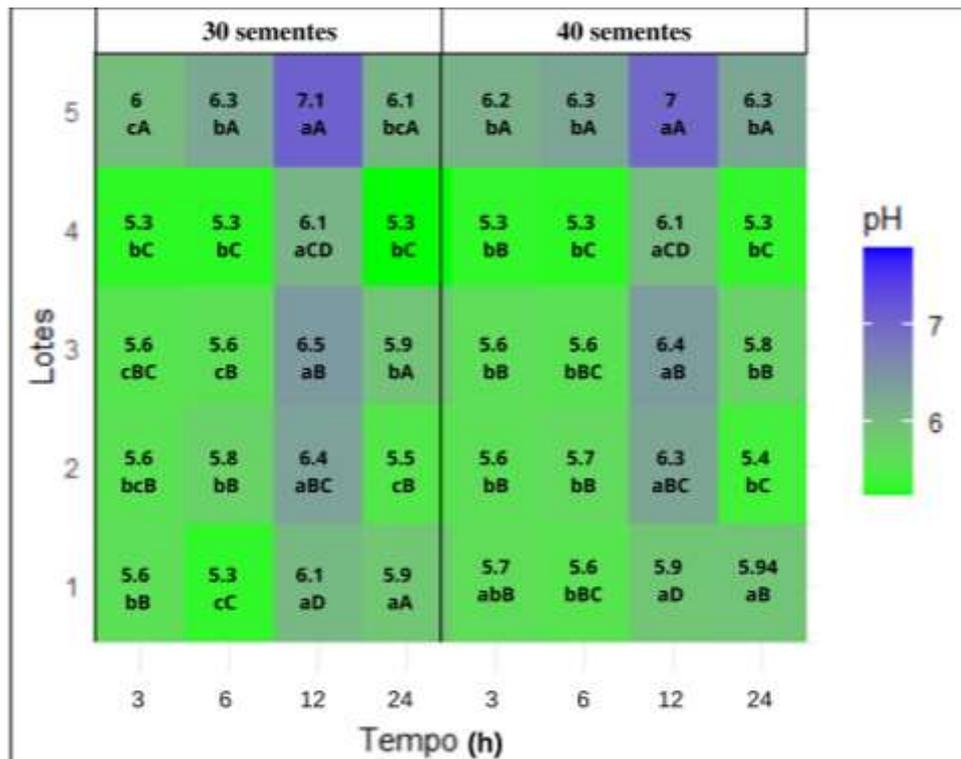


Figura 8. Heatmap representando o pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha (comparação entre os tempos de embebição) e minúsculas na coluna (comparação entre os lotes na coluna) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2024.

Para os tratamentos com volume de 100 mL, todos os grupos de sementes com um período de embebição de 24 horas apresentaram resultados mais próximos aos do teste de germinação. No entanto, esse volume mostrou uma diferenciação estatística significativa para o lote 5 em comparação aos demais lotes, em todos os tratamentos aplicados (Figura 9).

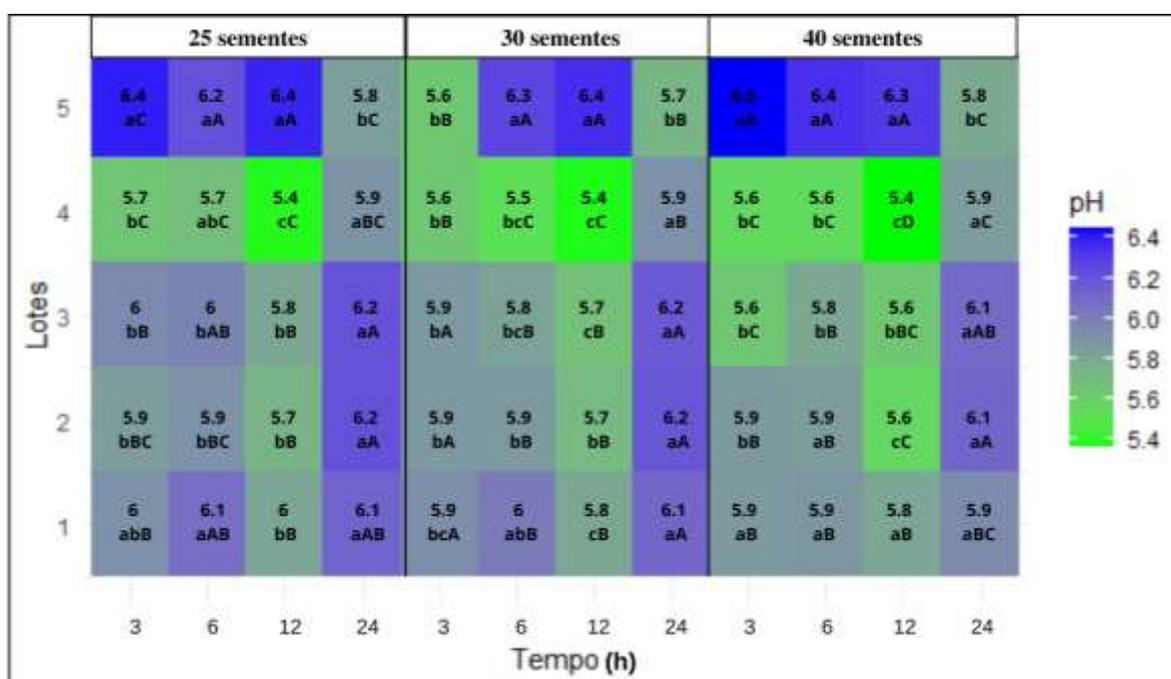


Figura 9. Heatmap representando o pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 100 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha (comparação entre os tempos de embebição) e minúsculas na coluna (comparação entre os lotes na coluna) não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: autor, 2024.

6. DISCUSSÃO

A variação na embebição das sementes de *Astronium urundeuva* entre os lotes analisados sugere diferenças na permeabilidade do tegumento e na taxa metabólica inicial. O rápido ganho de peso observado na Fase I para os lotes L1, L2, L3 e L4 indica uma maior capacidade de absorção de água nos primeiros momentos, o que pode estar relacionado à menor resistência do tegumento ou a um maior grau de maturidade fisiológica (Nery *et al.*, 2007). Por outro lado, o padrão mais lento e contínuo de absorção apresentado pelo L5 ao longo da Fase II sugere uma menor permeabilidade. A estabilização na taxa de absorção na Fase II para os lotes L1, L2, L3 e L4 reflete um equilíbrio osmótico necessário para a ativação metabólica antes da protrusão da radícula. O incremento tardio de L5 na Fase III, que superou o ganho de peso de L2, pode ser atribuído a uma ativação metabólica mais lenta, mas ainda viável.

Segundo Torres *et al.* (2020), no processo de embebição ocorre a reidratação dos tecidos da semente e a retomada do desenvolvimento embrionário, com isso ocorre uma intensificação da atividade respiratória e atividades metabólicas. Por conta disso, tem-se o fornecimento de energia e nutrientes necessários para que ocorra o processo de germinação da semente (Ferreira; Borghetti, 2004). Os autores ainda afirmam que na fase II é onde ocorre a mudança fisiológica devido a diferenciação celular, assim como síntese e reparo dos ácidos nucleicos e início da mobilização das reservas que marca o início da fase III.

Justamente por isso que é possível observar uma ligeira diminuição no ganho de peso até 53 horas, ou seja, menor absorção de água e início da utilização das reservas internas para a germinação e crescimento da futura plântula. Ao avaliar o teor de água dos lotes, foi identificado que tiveram variação menor que 1%, não diferindo estatisticamente entre si. Estes valores estão dentro da faixa recomendada para a realização do teste de condutividade elétrica, uma vez que a similaridade do teor de água das sementes dos diferentes lotes é fundamental para a padronização das avaliações e obtenção de resultados confiáveis e consistentes (Vieira; Marcos-Filho, 2020).

Em relação ao peso de mil sementes, foi identificado diferença estatística entre os lotes, em que o lote 3 se tem maior valor e o lote 5, menor. Ainda na caracterização inicial, não houve diferença estatística entre os lotes, com a porcentagem de germinação de todos os lotes, acima de 70%. Segundo Borghetti e Ferreira (2004), mesmo as sementes com porcentagem de germinação semelhante, podem ter comportamentos germinativos diferentes, como foi

observado na curva de embebição para o lote, que em comparação aos demais, atingiu 50% de sementes germinadas, em maior tempo.

Ainda mais, embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre os lotes em relação ao teor de água, à porcentagem de germinação, ao comprimento da raiz e à massa seca das plântulas, o lote 5 se destacou nos testes de primeira contagem e no índice de velocidade de germinação. O desempenho superior do lote 5 nos parâmetros de germinação sugere que, mesmo com características iniciais semelhantes, fatores como qualidade genética, o estado fisiológico das sementes ou práticas de manejo específicas podem ter influenciado positivamente seu desempenho germinativo. O destaque do lote 5 no índice de velocidade de germinação e na primeira contagem, além da diferença no comprimento total em comparação aos outros lotes, reforça a hipótese de que fatores intrínsecos à semente, como a viabilidade e vigor, desempenham um papel crucial no sucesso da germinação, independentemente das condições iniciais compartilhadas.

Os resultados do teste de condutividade elétrica com a metodologia utilizando 50 mL de água destilada e 12 horas de embebição foi a mais eficiente para avaliar o vigor das sementes de *A. urundeuva* utilizando-se 30 ou 40 sementes. Esses protocolos mostraram-se superiores em relação às outras combinações de volume de água, número de sementes e tempo de embebição. Ainda mais, a constatação de que resultados similares foram obtidos com 75 mL de água destilada e 25 sementes, com 12 horas de embebição, sugere que a duração da embebição é um fator crítico para a precisão das medições de condutividade elétrica.

Com um maior volume de água, há flexibilidade em relação ao número de sementes e ao tempo de embebição, sem comprometer a eficiência do teste. Segundo Santos e Paula (2005), isso acontece, pois, quanto maior for a quantidade de água nos tratamentos, maior será a diluição dos íons ocasionada pela diminuição da concentração de solutos.

Levando em consideração o custo-benefício, é o mais indicada a metodologia que utiliza 50 mL, 30 sementes e 12 h de embebição para realização do teste de condutividade elétrica em sementes de *A. urundeuva*, justamente por a confiabilidade dos resultados, menos gastos e perdas de sementes.

Dalanhol *et al.* (2014), ao também avaliarem o vigor de sublotes de *Bowdichia virgilioides* com volumes de 25, 50 e 100 mL de água destilada, também identificaram que o volume de 50 mL foi o mais promissor, estatisticamente. De modo geral, a análise dos diferentes períodos de embebição também revelou que período de 12 horas teve destaque em vários outros resultados, assim, sugere-se que neste período, ocorre uma liberação significativa de solutos

das sementes. Então, esse período pode ser considerado como um ponto de transição, no qual as sementes atingem um estágio crítico em seus processos metabólicos, preparando-se para a germinação.

É válido ressaltar que, quando sementes secas entram em contato com a água para o processo de embebição ocorre uma rápida e intensa lixiviação de eletrólitos, proporcional ao estado de desorganização das membranas, seguida de redução na perda de solutos, à medida que os tecidos são reidratados, até atingir o equilíbrio (Rosa *et al.*, 2000). Sendo assim, os altos valores de condutividade elétrica correspondem a desorganização das membranas celulares e dos níveis elevados de deterioração das sementes relacionado ao baixo vigor, por outro lado, sementes mais vigorosas apresentam baixos valores de condutividade elétrica, em comparação às sementes de menor vigor (Krzyzanowski *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2014).

A partir disso é visto que a utilização do teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor de sementes de *A. urundeuva* pode contribuir significativamente para o programa de controle de qualidade das sementes e a produção dessa cultura, diminuindo o tempo de espera dos resultados, evitando tanto gastos desnecessários de tempo quanto de recursos operacionais e quantidade de sementes avaliadas.

Ao avaliar a qualidade das sementes de *A. urundeuva* utilizando o teste de pH do exsudato, observou-se que os resultados sugerem que, ao utilizar 50 mL de água destilada, o número de sementes e o tempo de embebição estão inversamente relacionados: um maior número de sementes permite um tempo de embebição menor para alcançar resultados precisos no teste de pH do exsudato. Esse comportamento foi observado com 30 sementes em 12 horas e 40 sementes em 6 horas, ambos os tratamentos apresentando resultados semelhantes aos do teste de germinação. Isso destaca a flexibilidade do teste de pH do exsudato, adaptável de acordo com o número de sementes, e sugere que, ao otimizar o tempo, é possível obter uma análise rápida e eficaz da qualidade das sementes.

A consistência dos resultados com 12 horas de embebição, observada não só nos tratamentos com 50 mL, mas também com 75 mL e 30 ou 40 sementes, aponta que esse período é adequado para a avaliação pelo teste de pH do exsudato, sendo capaz de fornecer resultados confiáveis, similares ao teste de germinação, para diferentes configurações de volume e quantidade de sementes. Este achado reforça as 12 horas como um tempo padrão, aumentando a eficiência do teste sem comprometer a precisão.

Entretanto, os tratamentos com 100 mL de água destilada e 24 horas de embebição evidenciaram uma diferenciação estatística, especialmente no lote 5, que apresentou respostas

significativamente diferentes dos demais lotes. Esse comportamento pode estar associado ao aumento de volume e tempo de embebição, que favorecem uma maior liberação de solutos, indicando menor integridade de membrana em sementes de menor vigor, conforme discutido por Ferreira *et al.* (2020).

Esse resultado sugere que o uso de volumes elevados e tempos prolongados pode ser sensível a variações de qualidade entre lotes, revelando lotes menos vigorosos como o lote 5. No entanto, a alta variabilidade gerada por essas condições também limita a aplicabilidade do tratamento com 100 mL, pois a discrepância entre lotes difere dos padrões observados no teste de germinação.

Assim, o volume de 50 mL combinado com períodos de embebição entre 6 e 12 horas, ajustado conforme o número de sementes, mostrou-se como uma configuração ideal para o teste de pH do exsudato, unindo praticidade e precisão. Essa abordagem não só torna o teste mais eficiente, como também permite que seja implementado em contextos em que a disponibilidade de sementes pode ser limitada.

Dalanhol *et al.* (2014) observaram que, ao avaliarem o vigor de sementes de *Bowdichia virgilioides*, um tempo de embebição de 12 horas foi suficiente para fornecer resultados confiáveis. De forma complementar, Flávio e Paula (2010), utilizando um volume de 100 mL, relataram poucas variações nos padrões de lixiviação durante o início do processo de embebição em sementes de *Dictyoloma vandellianum*, independentemente da quantidade de sementes analisadas. Esses autores destacaram que a utilização de menores quantidades de sementes é viável para obtenção de resultados rápidos e igualmente confiáveis, sendo assim corroboram os achados do presente trabalho devido a similaridade dos resultados. Ainda mais, no presente estudo também foi constatado um aumento progressivo nos valores de condutividade elétrica com o prolongamento do tempo de embebição, corroborando os achados de Dalanhol *et al.* (2014).

Segundo Guollo *et al.* (2017), sementes com menor vigor tendem a liberar uma maior quantidade de solutos no meio externo durante a embebição, devido à menor velocidade de restabelecimento das membranas celulares. Isso possibilita a avaliação da viabilidade das sementes por meio do exsudato. Ferreira *et al.* (2020), ao utilizarem o teste de pH do exsudato com fenoltaleína, também concluíram sua eficiência na avaliação do vigor das sementes de *Peltogyne confertiflora*. Souto *et al.* (2019) corroboram esses achados, validando a eficiência do teste de pH do exsudato na avaliação da viabilidade de sementes de *Libidibia ferrea*,

conduzido por 30 minutos em água destilada e deionizada a uma temperatura constante de 25 ou 30 °C.

7. CONCLUSÃO

A metodologia recomendada tanto para o teste de condutividade elétrica quanto de pH do exsudato na avaliação do vigor de sementes de *Astronium urundeuva* consiste em utilizar 50 mL de água destilada, 12 horas de embebição e 30 sementes por repetição. Esta abordagem é eficiente porque requer uma quantidade reduzida de água, tempo e sementes, além de fornecer resultados confiáveis, válidos ao serem comparados com os resultados do teste de germinação.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. P. C. Influência do potencial osmótico e da salinidade na germinação de azevém. 2022.

AVELINO, M. C. S. *et al.* Testes bioquímicos de integridade de membranas na avaliação do vigor de sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 100-108, 2018.

AZEREDO, G. A.; PAULA, R. C.; VALERI, S. V. Electrical conductivity in *Piptadenia moniliformis* Benth. seed lots classified by size and color. **Revista Árvore**, v. 40, p. 855-866, 2016.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 1988.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**, Jaboticabal, 42 p. **SP: FUNEP**, 2003.

BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. Interpretação de resultados de germinação. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, p. 209-222, 2004.

BRANDANI, E. B. Análise de imagens na avaliação do vigor de sementes de soja. 2017. 54f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília. 2017.

BRASIL, Mapa. Instruções para análise de sementes de espécies florestais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**, 2013.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária. **Regras para análise de sementes**. 2009.

CRUZ, D. R. C. *et al.* Métodos de quebra de dormência em sementes de quiabo. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 9, p. 1-14, 13 set. 2020.

DALANHOL, S. J. *et al.* Teste de condutividade elétrica em sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth. *Floresta e ambiente*, v. 21, p. 69-77, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.013>

DANTAS, B. F.; KIILL, LHP. Aroeira-do-sertão *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.-Anacardiaceae. 2023.

DALANHOL, Samanta Jaqueline *et al.* Teste de condutividade elétrica em sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth. **Floresta e ambiente**, v. 21, p. 69-77, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.013>

ELMASRY, G. *et al.* Emerging thermal imaging techniques for seed quality evaluation: Principles and applications. **Food Research International**, v. 131, p. 109025, 2020.

FANTI, S. C.; PEREZ, SCJGA. Efeitos do estresse hídrico, salino e térmico no processo germinativo de sementes de *Adenanthera pavonina* L. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 20, n. 1, p. 167-177, 1998.

FERREIRA, C. D. *et al.* Potencial fisiológico de sementes de *Peltogyne confertiflora* (Mart. Ex Hayne) Benth. por testes bioquímicos. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 66428-66439, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-178>

FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

FIORDALISI, S. A. L. *et al.* Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de espécies olerícolas. 2012.

FLAVIO, J. J. P.; PAULA, R. C. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica em sementes de *Dictyoloma vendellianum* A. Juss. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 391-399, 2010.

GAGLIARDI, B.; MARCOS FILHO, J. Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v.68, n.4, p.411-416, 2011.

GUOLLO, K. *et al.* Avaliação da qualidade fisiológica de sementes florestais através do teste de condutividade elétrica. In: *Colloquium Agrariae*. ISSN: 1809-8215. 2017. p. 86-92.

IUCN. Red List of Threatened Species. União Internacional para a Conservação da Natureza, 2023. <https://www.iucnredlist.org/species/32020/9674552>.

KRZYZANOWSKI, F. C. *et al.* *Vigor de sementes: conceitos e testes*. 2020.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MEDEIROS, A. D. *et al.* IJCropSeed: An open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 105555, 2020.

MELO, L. A. M. **Técnicas de análise rápida do vigor das sementes de espécies arbóreas/florestais nativas do Cerrado**. 2021.

MITCHELL, J. D.; DALY, Douglas C. Notes on *Astronium Jacq* (Anacardiaceae), including a dwarf new species from the Brazilian Shield. **Brittonia**, v. 69, p. 457-464, 2017.

NERY, F. C. *et al.* Efeito da temperatura e do tegumento na germinação de sementes de *Calophyllum brasiliense*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1872-1877, 2007.

PAREYN, F. G. C. *et al.* *Myracrodruon urundeuva* – Aroeira. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F.G.C. (orgs.). *Espécies Nativas*, p. 766-772. 2018.

PINTO, T. L. F.; BRANCALION, P. H. S.; NOVEMBRE, A. D. L. C. N.; CICERO, S. M. Avaliação da viabilidade de sementes de coração-de-negro (*Poecilanthe parviflora* Benth. – Fabaceae-Faboideae) pelo teste de tetrazólio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 208-214, 2008.

RAMOS, K. M. O. *et al.* Testes de condutividade elétrica aplicados à avaliação de *Kielmeyera coriacea* Mart. sementes. **Avisos de Pesquisa Acadêmica Internacional**, v. 2012, 2012.

ROSA, S.D.V.F. *et al.* Eficácia do teste de condutividade elétrica para uso em estudos de danos de secagem em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n.1, p.54-63, 2000.

SABNIS, R. W. **Handbook of acid-base indicators**. CRC Press, 2007.

SANTOS, S.R.G.; PAULA, R.C. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sebastiania commersoniana* (Bail) Smith and Downs. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.2, p.136-145, 2005.

SILVA, V. N. *et al.* Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 206-213, 2014. <https://doi.org/10.19084/rca.16816>

SILVA, V. A. *et al.* Curva de embebição e influência da água sobre a germinação de sementes de mogno (*Swietenia macrophylla* King.). **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 10, p. 21836-21849, 2023.

SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; MITCHELL, J. D. Anacardiaceae in Flora do Brasil 2020 em construção. 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB115185>>.

SOUTO, P. C. *et al.* Teste de pH de exsudato-fenolftaleína para avaliação de validade em sementes de *Libidibia ferrea*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. e20180734, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180734>

TODA, Y. *et al.* Training instance segmentation neural network with synthetic datasets for crop seed phenotyping. **Communications biology**, v. 3, n. 1, p. 173, 2020.

TORRES, S. B. *et al.* Teste de condutividade elétrica na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de coentro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 622-629, 2015.

TORRES, M. F. O. *et al.* CURVA DE EMBEBIÇÃO E VIABILIDADE DE SEMENTES DE *Sapindus saponaria* L. **Global Science and Technology**, v. 13, n. 1, 2020.

VASCONCELOS, W. A. *et al.* Testes alternativos para a avaliação da viabilidade fisiológica de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. **Pubvet**, v. 14, n. 04, 2020.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11/12, p. 1957-1968, 1991.

VIEIRA, R.D.; MARCOS FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. **Vigor de sementes: conceitos e testes**, p. 601: il, 2020.

Capítulo III:

Qualidade de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. por meio do teste de raio-
X

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **QUALIDADE DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva* (M. ALLEMÃO) ENGL. ATRAVÉS DO TESTE DE RAIOS-X.** 2024. Orientador: Marcene Moreira Santos. Coorientadores: Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

RESUMO

Novas técnicas computadorizadas de análise rápida estão sendo aplicadas para avaliar a qualidade de sementes. Neste contexto, este estudo teve como objetivo realizar a caracterização física e fisiológica de sementes de *Astronium urundeuva* por meio do teste de raio-X. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, onde foram avaliados 5 lotes. Inicialmente, foi determinado o peso de mil sementes e o teor de água de cada lote. Em seguida, os lotes foram divididos em 4 repetições de 25 sementes cada, que foram identificadas e numeradas para rastreabilidade e armazenadas no Faxitron HP MX-20 digital. As imagens de raios X foram analisadas utilizando o *software* ImageJ®. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, e após sete dias, as plântulas foram avaliadas e classificadas como bem formadas, mal-formadas ou sementes mortas. Os experimentos seguiram um delineamento inteiramente casualizado (DIC), e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), a comparação das médias foi realizada por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o programa SISVAR, a análise de correlação e de componentes principais foi realizada através do programa Rstudio. A partir das imagens resultantes, foram identificadas as áreas preenchidas e vazias, assim como injúrias, em todos os lotes avaliados. Deste modo, os resultados indicam que o teste de raio-X é um teste promissor para a avaliação da qualidade de sementes de *A. urundeuva*.

Palavras-chave: qualidade fisiológica, vigor, sementes florestais, radiografia, viabilidade, teste rápido.

SILVA, CARLOS LUIZ DA. **QUALITY OF *Astronium urundeuva* (M. ALLEMÃO) ENGL. SEEDS THROUGH THE X-RAY TEST.** 2024. Advisor: Marccone Moreira Santos. **Co-advisors:** Ricardo Gallo; Raquel Maria de Oliveira Pires.

ABSTRACT

New computerized rapid analysis techniques are being applied to evaluate seed quality. In this context, the objective of this study was to perform a physical and physiological characterization of *Astronium urundeuva* seeds using the X-ray test. The research was conducted in the Seed Analysis Laboratory of the Department of Agriculture at the Federal University of Lavras, where five seed lots were evaluated. Initially, the thousand-seed weight and moisture content of each lot were determined. The lots were then divided into four replicates of 25 seeds each, which were identified and numbered for traceability and stored in a Faxitron HP MX-20 digital X-ray system. The X-ray images were analyzed using the ImageJ® software. Subsequently, the seeds were subjected to a germination test, and after seven days, the seedlings were evaluated and classified as well-formed, malformed, or dead seeds. The experiments followed a completely randomized design (CRD), and the data were subjected to analysis of variance (ANOVA). Mean comparisons were performed using Tukey's test ($p \leq 0.05$) with SISVAR software, while correlation and principal component analyses were conducted using RStudio. The resulting images allowed for the identification of filled and empty areas as well as injuries in all evaluated lots. These results indicate that the X-ray test is a promising method for assessing the quality of *A. urundeuva* seeds.

Keywords: physiological quality, vigor, forest seeds, radiography, viability, rapid test.

1. INTRODUÇÃO

As sementes são essenciais para a disseminação e perpetuação das espécies vegetais, desempenhando um papel vital tanto na produção de alimentos, seja pelo consumo direto ou pelo cultivo de culturas de interesse, quanto na recuperação de áreas degradadas (Guedes *et al.*, 2009). Deste modo, a qualidade das sementes é um fator crucial para o sucesso dessas atividades, pois afeta diretamente o desenvolvimento e o estabelecimento das plantas em condições de campo (Vasconcelos *et al.*, 2020; Javorski *et al.*, 2018).

Sementes de alta qualidade possuem atributos físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários que são fundamentais para a produção de plântulas vigorosas e produtivas (Marcos Filho, 2016). Para avaliar esses atributos, diversos testes foram desenvolvidos, sendo o teste de germinação o mais utilizado, seguindo as diretrizes das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). No entanto, esse teste é conduzido sob condições controladas de temperatura, umidade e substrato, e devido a isso tem limitações na avaliação do verdadeiro vigor das sementes (Gagliardi; Marcos Filho, 2011).

Para superar essas limitações, foram desenvolvidos testes alternativos, como o teste de raio-X, que permite a obtenção de resultados de forma mais rápida e não destrutiva. Este teste é altamente eficiente na avaliação da morfologia interna das sementes, utilizando imagens geradas por ondas eletromagnéticas que atravessam as sementes. Além de ser simples e rápido, com um tempo médio de exposição de cinco segundos, o teste de raio-X não oferece risco de mutações ou alterações no potencial germinativo das sementes (Rahman; Cho, 2016). As imagens geradas pelo teste de raio-X variam em tonalidade conforme a densidade das regiões atravessadas pelos raios, permitindo identificar sementes cheias, vazias, malformadas, com danos mecânicos ou ataques de insetos e fungos, além de detectar anomalias no embrião (Fernandes *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2020). Este teste também possibilita a identificação do estágio de desenvolvimento das sementes (Simak *et al.*, 1989).

O desenvolvimento de pesquisas sobre as sementes dessa espécie é essencial para apoiar sua conservação e propagação, contribuindo para a preservação da biodiversidade. Diante disso e da importância da preservação e propagação de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl., que é uma espécie nativa do Brasil pertencente à família Anacardiaceae, conhecida como aroeira-do-sertão e anteriormente já foi listada como ameaçada de extinção (MMA, Instrução

Normativa nº 6, 2008) (Brasil, 2008), este estudo teve como objetivo realizar a caracterização física e fisiológica das sementes dessa espécie utilizando a técnica de raio-X.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local de estudo e obtenção das sementes

O estudo foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes, pertencente ao Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram avaliados 5 lotes (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação, origem e data de coleta dos cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. avaliados. Sendo: Pernambuco (PE) e Paraíba (PB).

Lotes	Cidade	Estado	Data de Coleta	Latitude	Longitude
1	Sertânia	PE	15/10/2020	-8.066448471	-37.2824614
2	Petrolina	PE	26/08/2021	-9.202241811	-40.45448629
3	Petrolina	PE	13/09/2022	-9.116970237	-40.67197536
4	Cachoeira dos Índios	PB	25/10/2022	-6.983060072	-38.68289508
5	Cajazeiras	PB	06/10/2022	-7.01831283	-38.5806159

As sementes foram provenientes de doação da Rede de sementes do Projeto de Integração do São Francisco (PISF) do Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (NEMA/ UNIVASF).

2.2. Seleção das sementes

Foi realizado um beneficiamento das sementes, sendo realizada a eliminação das sementes com aspecto visivelmente choco, imaturas, danificadas por insetos ou injúrias e demais impurezas.

3. Avaliação das características físicas e químicas das sementes:

3.1. Peso de mil sementes

Inicialmente, 800 sementes foram divididas em 8 repetições de 100 sementes cada. O material foi pesado em uma balança analítica com precisão de 0,0001 g (Shimadzu ATX224) para determinar a massa húmida. O peso de mil sementes foi calculado utilizando a fórmula proposta nas Regras para Análise de Sementes (RAS):

$$\text{Peso de mil sementes (PMS)} = \text{peso da amostra} \times 1.000 / n^{\circ} \text{ total de sementes}$$

3.2. Conteúdo de água das sementes

A determinação da massa úmida seguiu a metodologia proposta pelas Regras para Análise de Sementes (RAS). Inicialmente, o material foi pesado, seguido de sua desidratação em estufa a aproximadamente 105 °C por 24 horas, utilizando cápsulas de alumínio (Brasil, 2009). Após esse processo, foi calculada a diferença entre o peso do material úmido e o seco.

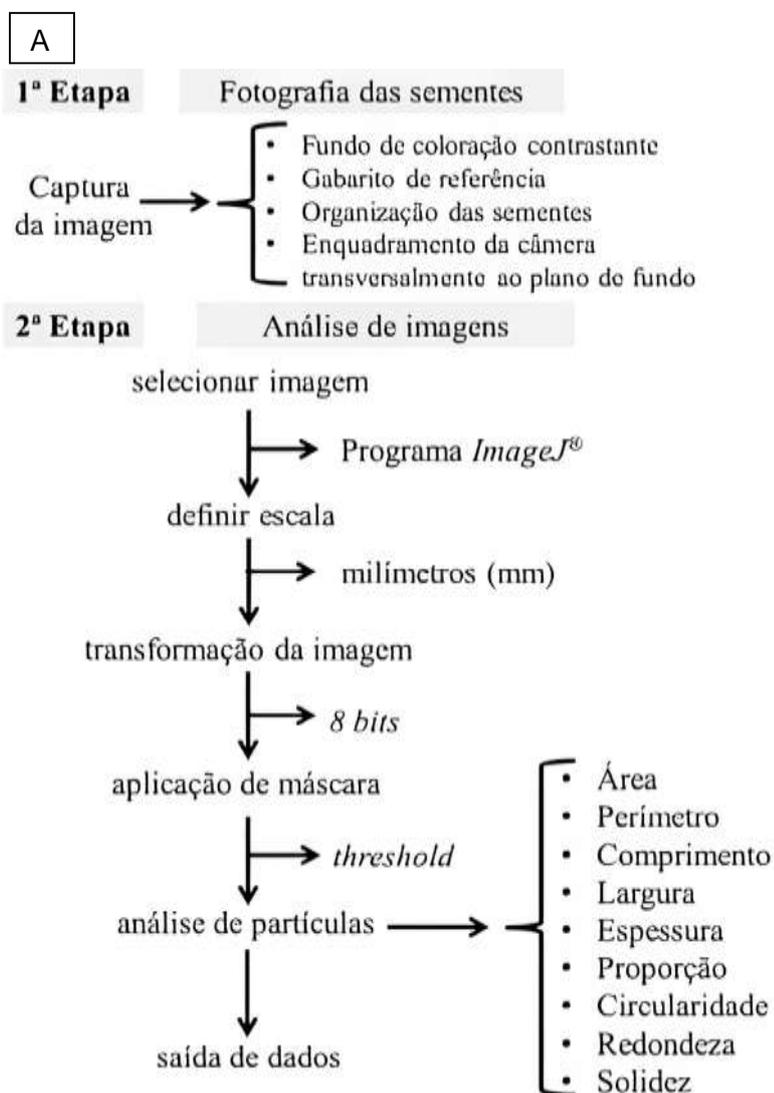
$$\% CA = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

Em que: % CA = Conteúdo de água, base úmida; P_i = peso inicial da amostra (gramas); P_f = peso final da amostra (gramas).

3.3. Teste de raio-X:

Os cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* foram divididos em 4 repetições de 25 sementes, cada. Estas foram identificadas e numeradas para sua rastreabilidade e armazenadas no Faxitron HP MX-20 digital, com calibração de 35 kv, 15 s e com uma distância focal de 30 e 15 cm. As imagens de raio-X foram analisadas no *software* ImageJ®, na escala de 62,4015 pixels mm^{-1} , e estimadas as características de cor, forma e textura para cada semente. A partir disso foram avaliadas as seguintes características (Ferreira; Rasband, 2012):

- Cor: densidade integrada (IntDen) ($\text{Cinza mm}^2 \text{ pinxel}^{-1}$);
- Forma: Área (mm^2), área (%), perímetro (mm), circularidade (mm), proporção de aspecto (AR), solidez (adimensional), largura e altura (mm) (Figura 1).



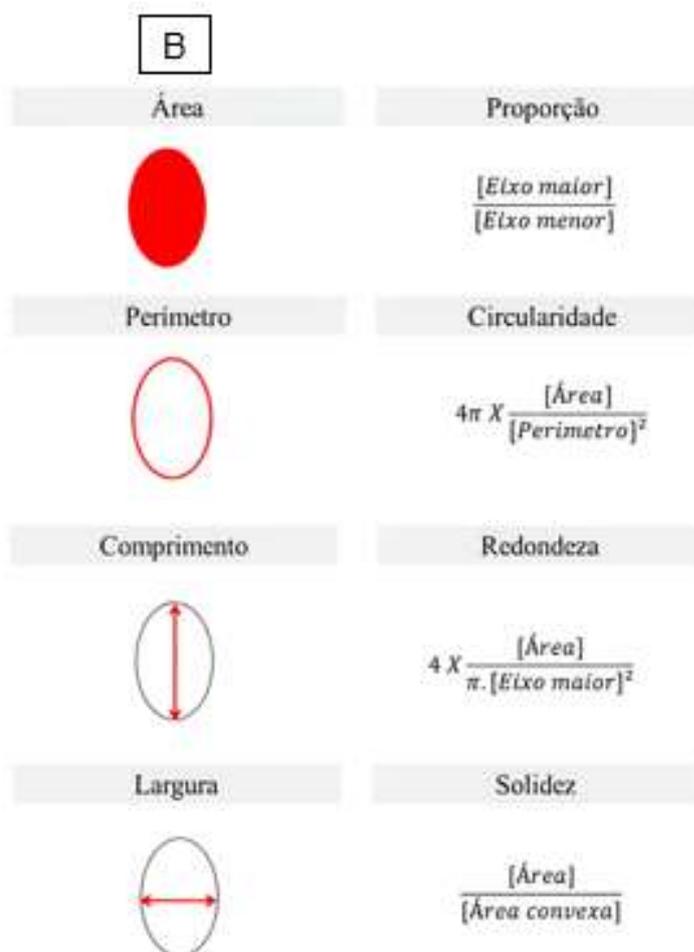


Figura 1. Etapas do processamento digital de imagens para captura da fotografia e utilização do programa ImageJ® (A). Atributos de forma aplicados na avaliação de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl (B).

Fonte: Felix *et al.*, 2018.

Após radiografadas, as sementes identificadas foram submetidas ao teste de germinação. Para isso, as 4 repetições contendo 25 sementes foram acondicionadas em caixas gerbox, contendo duas folhas de papel germitest previamente autoclavadas e umedecidas com um peso equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco (Brasil, 2013). O experimento foi conduzido em câmara de germinação do tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D) Solar, com temperatura regulada a 25 °C e um fotoperíodo de 12 horas diárias (Brasil, 2013). As avaliações foram realizadas diariamente, e os papéis foram umedecidos com água destilada sempre que

necessário (Brasil, 2013). Após sete dias, foi realizada a avaliação e classificadas da seguinte forma: plântulas normais, anormais e sementes mortas.

4. Análise estatística

Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições para cada lote, respectivamente. A partir disso, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), quando aceitos os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias. Consecutivamente, a comparação das médias foi realizada por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o programa SISVAR e as análises de correlação foram realizadas utilizando o programa Rstudio (Team, 2023).

5. RESULTADOS

As imagens radiografadas provenientes da distância focal de 30 cm ficaram menos nítidas, diferentemente das com 15 cm em que é possível visualizar os detalhes internos. Não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre os lotes para o teor de água. Contudo, ao avaliar o peso de mil sementes, o lote 3 apresentou maior significância estatística em comparação aos demais lotes (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de água (TA) e peso de 1000 sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

LOTES	TA (%)	PM (g)
1	13 a	10,33 c
2	9 a	9,61 d
3	10 a	11,83 a
4	11 a	10,73 b
5	9 a	8,84 e

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Através do teste de raio-X, foi identificado que as sementes do lote 3 apresentaram uma área significativamente maior em comparação aos demais lotes (Tabela 3), e ao avaliar a correlação com a largura é visível que as sementes do lote 3 se destacam em comparação às demais.

Contudo, ao avaliar a porcentagem de área foi identificada uma similaridade entre os lotes 3 e 4. Em relação ao perímetro, os maiores valores observados são das sementes dos lotes 2 e 3. Quanto à circunferência e solidez, as sementes do lote 4 mostraram-se estatisticamente superiores aos outros lotes. Não foram encontradas diferenças significativas entre os lotes em relação à razão de aspecto, circularidade das sementes e ao desenvolvimento de plântulas bem formadas. No entanto, observou-se que as sementes dos lotes 3 e 4 apresentaram uma maior incidência de plântulas malformadas em comparação aos demais lotes, destacando-se nesse aspecto.

Tabela 3. Valores médios e porcentagem de área, perímetro, largura, altura, circularidade (Circ), razão de aspecto (AR), solidez, redondo, densidade integrada (DenI) de cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Análise Imagej©										
Lotes	mm²		-----mm-----			cinza mm² pixel⁻¹				
	Área	%Área	Perímetro	Largura	Altura	Circ	AR	Solidez	Redondo	DenI
1	8.43 c	98 b	16.88 b	3.4 c	3.45 b	0.39 b	1.18	0.93 b	0.8558	793.46 c
2	8.56 bc	97 c	19.72 a	3.46 bc	3.54 b	0.31 c	1.21	0.91 c	0.832	758.03 c
3	11.27 a	99 a	19.48 a	4.19 a	3.75 a	0.39 b	1.20	0.93 b	0.8382	1032.08 a
4	9.04 b	99 ab	16.39 b	3.6 b	3.48 b	0.44 a	1.18	0.94 a	0.8513	871.76 b
5	8.01 c	97 d	16.73 b	3.44 c	3.21 c	0.39 b	1.21	0.94 ab	0.8348	872.41 b
CV (%)	16.07	1.39	18.89	10.59	10.71	25.81	8.86	2.78	8.44	22.09

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Através do teste de raio-X foi possível visualizar as estruturas e ocorrência de injúrias nas sementes de *A. urundeuva* nos lotes 1, 2 e 3 (Figura 2).

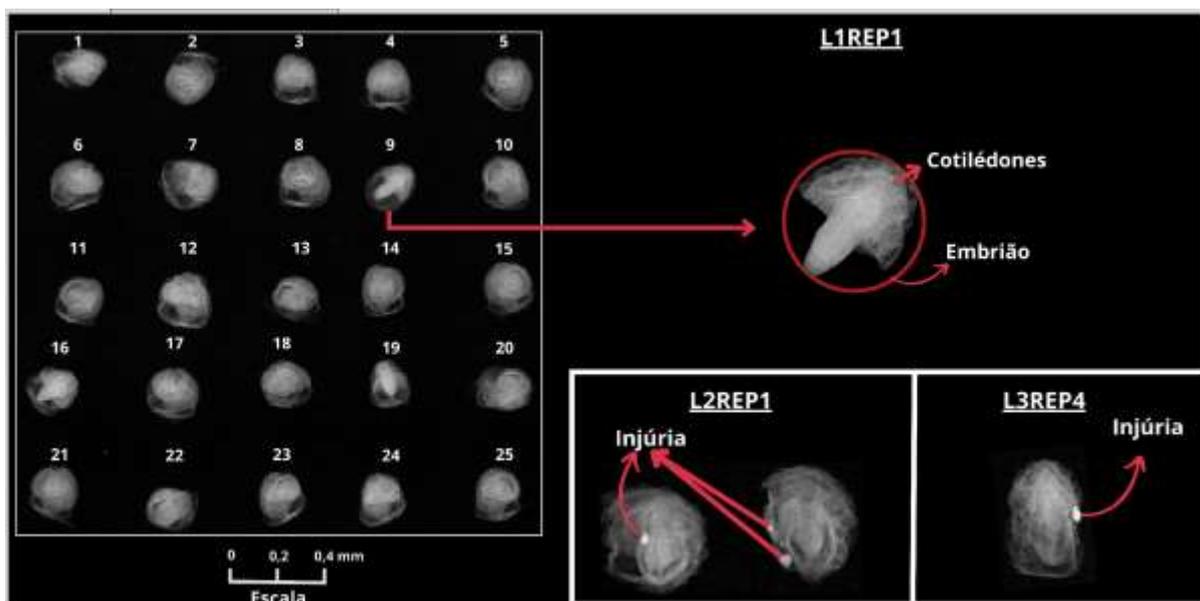


Figura 2. Radiografia de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. L1REP1: Lote 1, repetição 1; L2REP1: Lote 2, repetição 1; L3REP4: Lote 3, repetição 4.

Fonte: autor, 2024.

Com o teste de germinação, realizado após o teste de raio-X, foi possível validar os resultados visualizados nas imagens radiografadas. A partir disso, identificou-se como o estado dos componentes internos das sementes influenciam o processo de germinação e o desenvolvimento das plântulas (Figura 3).

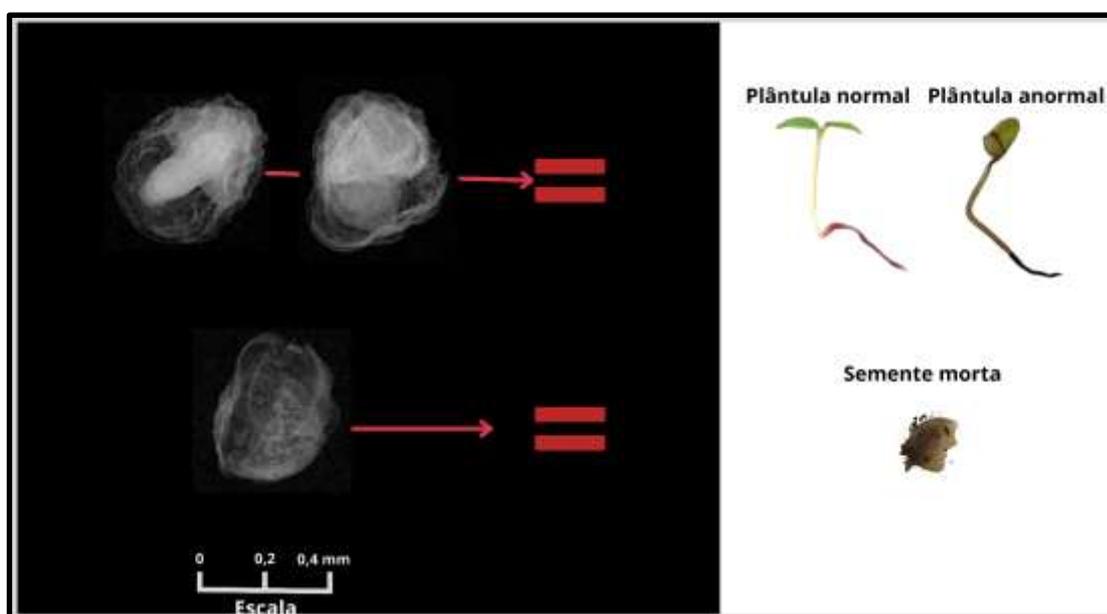


Figura 3. Composição interna das sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Os resultados evidenciaram uma alta correlação positiva entre a ocorrência de plântulas normais (P.N) e sementes cheias (S.C), conforme observado na figura 3 por meio da coloração em tonalidades de azul e o tamanho dos círculos. Ainda mais, os dados também indicam que a circularidade, solidez e redondeza apresentaram correlações positivas tanto com as plântulas normais (P.N) quanto com as sementes cheias (S.C), reforçando a associação entre esses atributos e a qualidade fisiológica das sementes.

Também é possível visualizar uma correlação positiva entre a área e o perímetro das sementes, sugerindo que sementes com maior área tendem a ter um perímetro maior. A correlação entre a área e a largura é extremamente alta, indicando que sementes maiores geralmente têm uma largura proporcionalmente maior. Por outro lado, a correlação entre a área e a circunferência é baixa, mostrando pouca relação entre essas variáveis.

Foi observada uma correlação negativa significativa entre o perímetro e a solidez, sugerindo que sementes com maior perímetro tendem a ser menos sólidas. Além disso, a razão de aspecto e a redondeza apresentam uma forte correlação negativa, indicando que sementes mais alongadas tendem a ser menos arredondadas. Esses resultados destacam a importância da área e do perímetro na definição da forma e estrutura das sementes, com implicações diretas na análise morfológica (Figura 4).

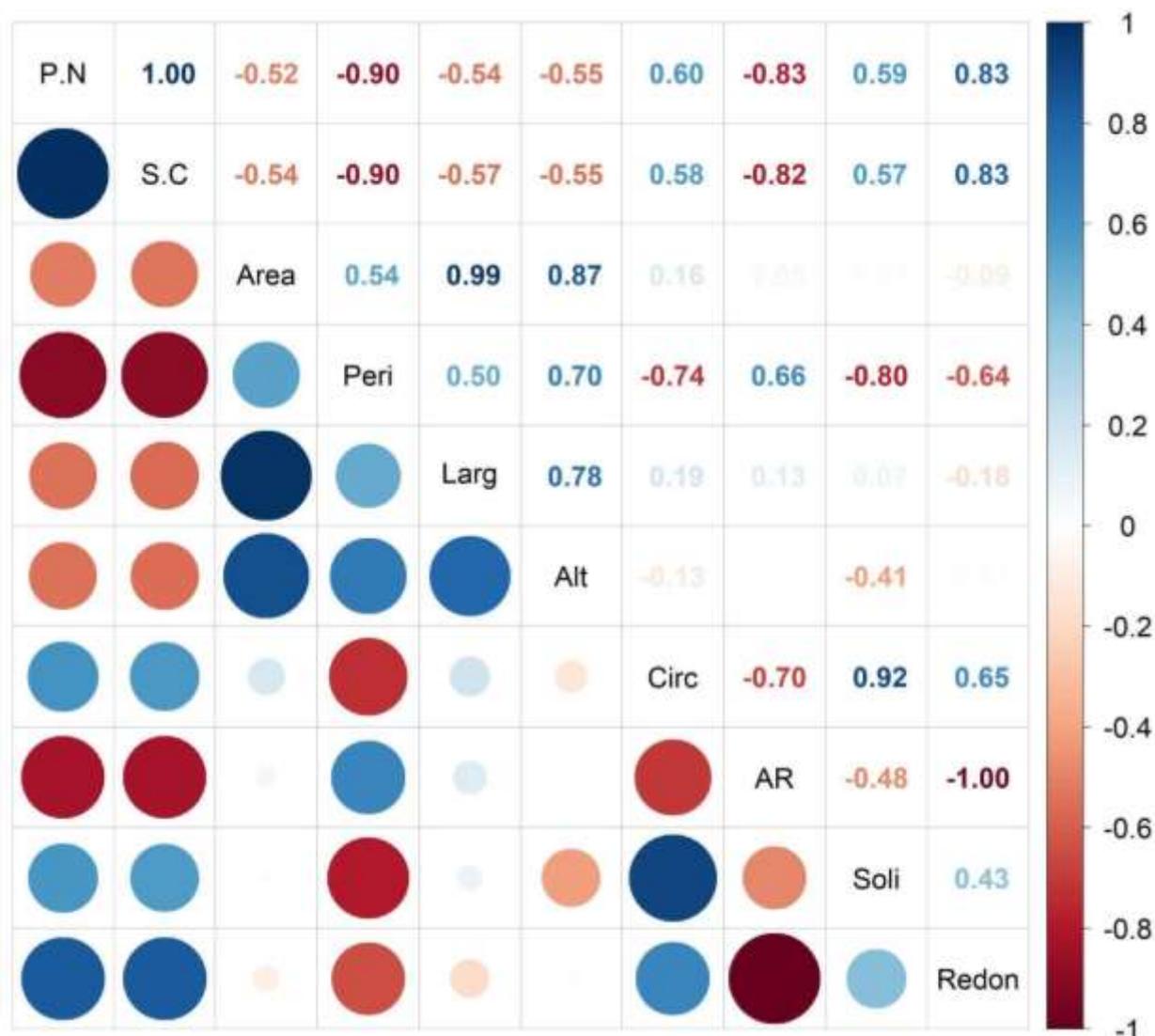


Figura 4. Correlação de Pearson entre as variáveis geradas da análise automatizada das radiografias de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. Em que: Plântula normal (P.N); Semente cheia (S.C); Área; Perímetro (Per); Largura; Altura; Circunferência (Circ); Proporção de aspecto (AR); Solidez (Soli); Redondo. O tamanho do círculo e a coloração indicam a magnitude e a direção de cada correlação, respectivamente.

Fonte: autor, 2024.

A análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de plântulas normais (P.N) (proveniente do teste de germinação) e sementes cheias (S.C) (proveniente do teste de raio-X) de cada lote revelou que é possível diferenciá-los estatisticamente ao serem correlacionadas. Conforme apresentado na Tabela 4.

A análise da contribuição das variáveis para os componentes principais revelou que as características mais influentes foram a porcentagem de área (no L3 e L4) e o perímetro (no L2 e L3). Notavelmente, o lote 3 destacou-se com o melhor desempenho em diferentes variáveis, incluindo área, porcentagem de área, perímetro, altura e densidade integrada. O lote 4 também apresentou desempenho superior em múltiplas variáveis, como porcentagem de área, circunferência, solidez e redondeza. Em contraste, o lote 1 obteve bom desempenho apenas na variável redondeza. A análise de agrupamento pelo método de Tocher, com linha de corte na escala 1.2, formou um grupo composto pelos lotes L1, L4 e L5, indicando maior similaridade entre eles. Por outro lado, os lotes 2 e 3 foram classificados em grupos distintos, devido às maiores variações nas características avaliadas (Figura 5).

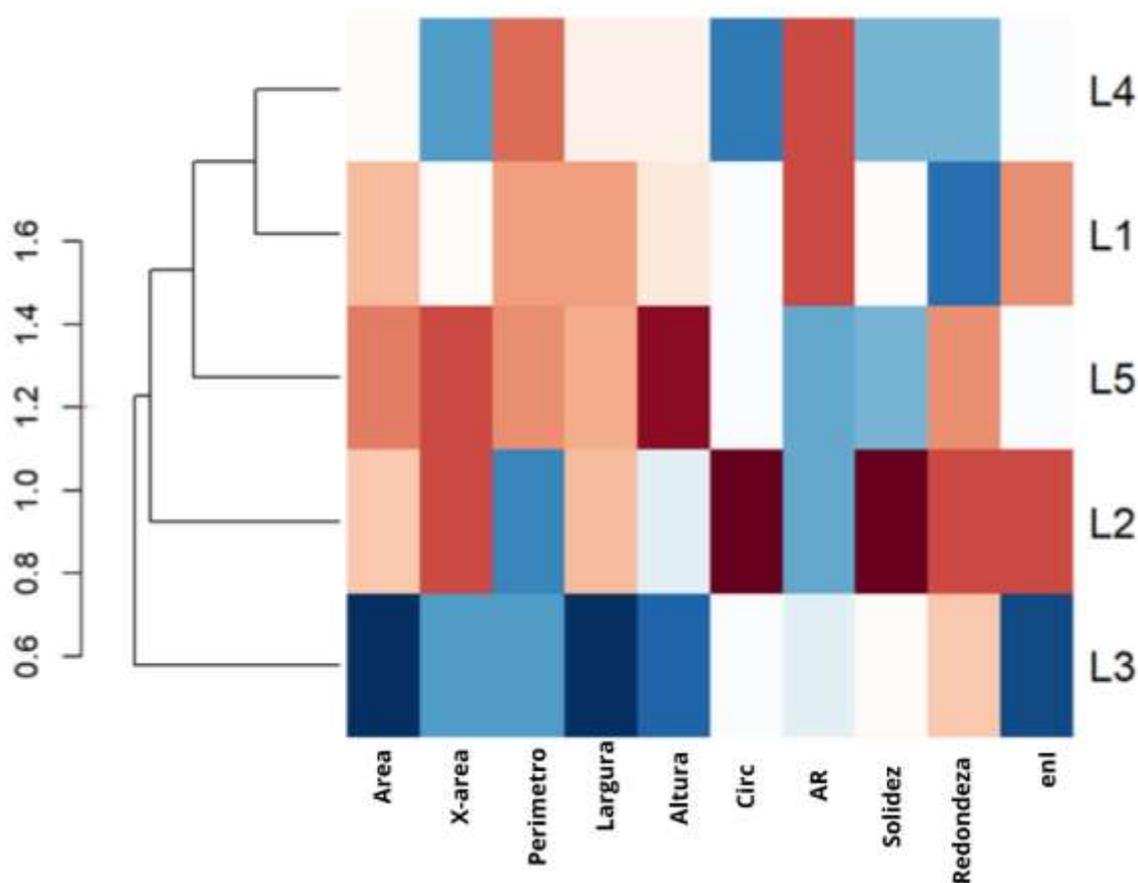


Figura 5. Contribuição das características avaliadas nos cinco lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. Em que: porcentagem de área (X área), altura, largura, densidade integrada (Deni), circunferência (Circ), redondeza, solidez, perímetro e prospecção de aspecto (AR). Em que: cores vermelhas são médias mais baixas, e tons azuis valores mais altos.

Fonte: autor, 2024.

A partir das análises das variáveis nos dois primeiros componentes principais CP1 (43.91%) e CP2 (40.89%), o lote 2 possui um melhor desempenho na proporção de aspecto. O lote 3 em área, altura, largura, densidade e em relação ao perímetro. Já o lote 4 possui melhor desempenho em relação a circunferência, área, solidez e redondeza. Além disso, nenhuma variável se destaca especificamente para os lotes 1 e 5 (Figura 6).

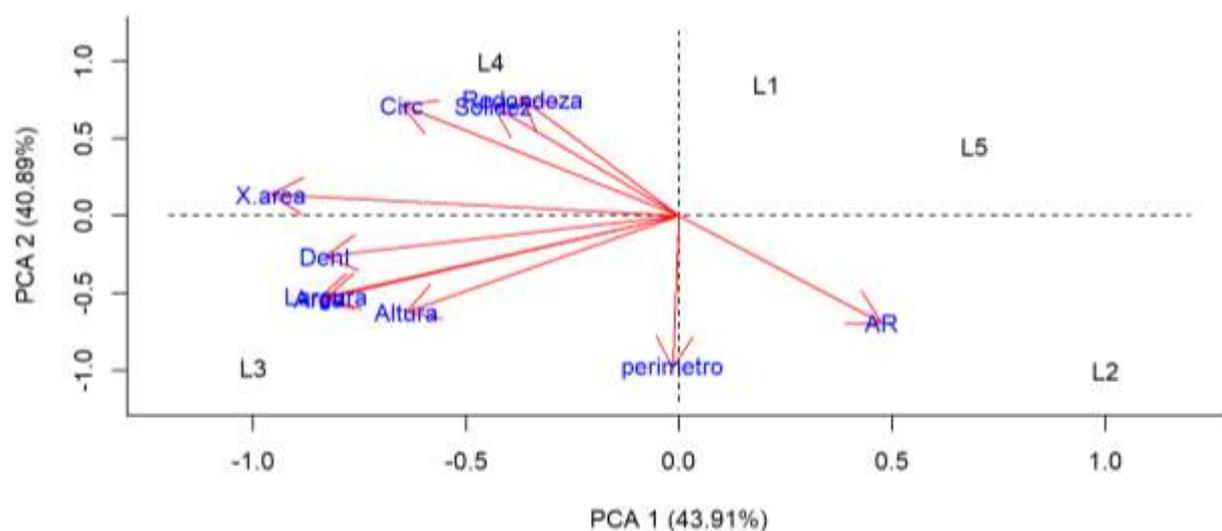


Figura 6. Análise de componentes principais de cinco lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl., comparando as características: área, porcentagem de área (X área), altura, largura, densidade integrada (Deni), circunferência (Circ), redondeza, solidez, perímetro e prospecção de aspecto (AR). Em que: L1: lote 1; L2: lote 2; L3: lote 3; L4: lote 4; L5: lote 5. Os lotes que se encontram mais próximos dos vetores indicam que possuem um melhor desempenho para essas características.

Fonte: autor, 2024.

Deste modo, tem-se o Cluster 1 composto por os lotes 1, 4 e 5, o Cluster 2 com o lote 2 e o Cluster 3 composto por o lote 3, respectivamente. Através da distância intra e intercluster foi identificado uma correlação cofenética de 0.8185498 e um p valor de 0.048, baseado no teste Mantel. Inclusive, ocorreu variação interna apenas no C1, com um valor de 0.98, e a menor distância observada é entre o C1 e C2, com um valor correspondente a 1.48 (Figura 7).

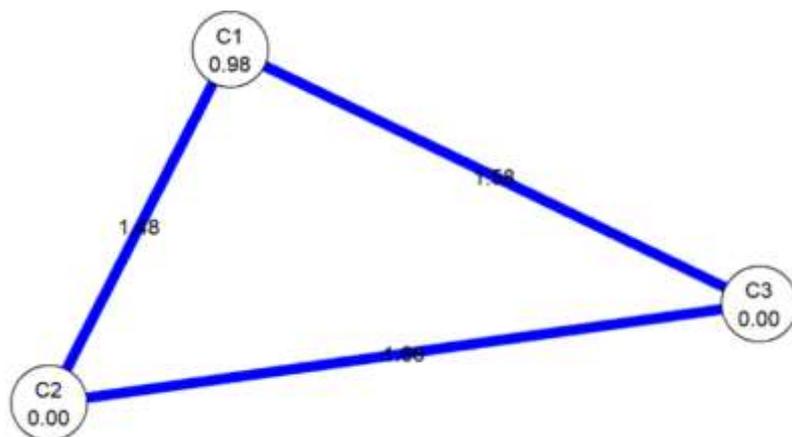


Figura 7. Distância intra e interclustero dos grupos de matriz de Matriz dissimilaridade dos 5 lotes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Fonte: autor, 2024.

O gráfico de dispersão mostra a correlação entre as variáveis Dist1 e Dist2. Visivelmente o valor de $r = 0.8185$ indica uma correlação positiva entre as variáveis analisadas. Sugerindo que são diretamente proporcionais (Figura 8).

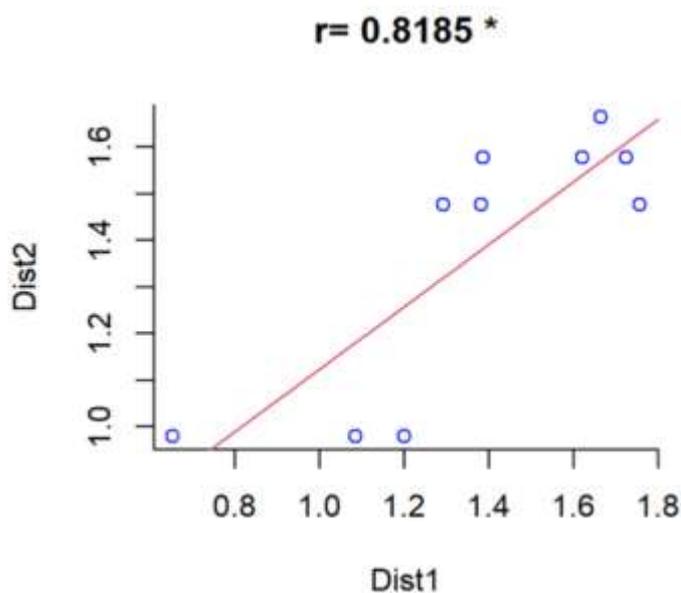


Figura 8. Análise de correlação dos componentes principais de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

Fonte: autor, 2024.

6. DISCUSSÃO

O fato da distância focal de 30 cm não ter se mostrado ideal para a radiografia das sementes de *Astronium urundeuva*, é justificado devido ao tamanho das sementes (em torno de 2 mm). Esse fator compromete a qualidade da imagem, dificultando a análise detalhada das estruturas internas das sementes. A similaridade no teor de água entre os lotes é essencial para a padronização das avaliações e a obtenção de resultados confiáveis e consistentes (Vieira; Marcos-Filho, 2020). Até porque, a uniformidade no teor de água em sementes é amplamente reconhecida como um fator crítico para assegurar resultados consistentes em testes subsequentes. Isso é enfatizado em estudos que destacam como o controle da umidade inicial melhora a sensibilidade dos testes de vigor, permitindo classificações precisas dos lotes de sementes (Ducatti *et al.*, 2019). Além disso, métodos que ajustam e uniformizam o teor de umidade garantem que as variações observadas sejam atribuídas a características intrínsecas das sementes e não a diferenças de umidade (Hay *et al.*, 2023).

Áreas preenchidas e vazias foram visualizadas em todos os lotes avaliados. Em que, as áreas com tonalidade escura indicaram ausência de tecido ou presença de tecido de baixa densidade, enquanto as áreas claras representam tecidos com maior densidade. É válido ressaltar que, fatores como espaços vazios, injúrias mecânicas e manchas nas sementes, indicam deterioração do tecido vegetal, ou malformações das estruturas das sementes, que devem ser observadas durante a análise visual (Marchi; Gomes Junior, 2017).

Observou-se também que as sementes cuja visualização interna foi comprometida devido a manchas, que podem ser ocasionadas por má formação ou imaturidade fisiológica, foram justamente as que formaram plântulas anormais ou simplesmente não houve germinação. Inclusive, estas foram as que resultaram em plântulas mal desenvolvidas ou mortas. Essas diferenças de preenchimento interno podem ocorrer durante o processo de formação e maturação das sementes, pois o potencial fisiológico de uma semente depende do suprimento de assimilados durante seu desenvolvimento (Rabbani *et al.*, 2013).

Jorge e Ray (2005) aplicaram o teste de raios-X para diferenciar sementes cheias e vazias de guaiúle (*Parthenium argentatum*), demonstrando a eficiência do teste em separar sementes viáveis de não viáveis. Sood *et al.* (2016) usaram imagens radiográficas para detectar rachaduras internas em sementes de feijão, evidenciando a capacidade do teste em identificar danos internos que podem comprometer a germinação e o desenvolvimento das plântulas. O teste também foi aplicado em outras espécies, como ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*)

(Amaral *et al.*, 2011) e mamona (*Ricinus communis*) (Kobori *et al.*, 2012), com conclusões semelhantes sobre sua eficácia na avaliação da morfologia interna das sementes.

Deste modo, o teste de raios-X é eficiente para separação da qualidade de sementes, e conseqüentemente, de diferentes lotes. Como identificado no presente estudo, a utilização de imagens radiográficas mostrou-se uma ferramenta valiosa para a avaliação física, sanitária e fisiológica das sementes de *A. urundeuva*, mesmo com as dificuldades devido ao pequeno tamanho das sementes. O teste permitiu a visualização do embrião, tegumento e endosperma, além de detectar danos mecânicos, conforme apresentados anteriormente.

Além disso, o teste de raios-X é rápido, o que reduz o tempo de avaliação da qualidade dos lotes de sementes, proporcionando vantagens técnicas, econômicas e científicas que aumentam a autonomia das atividades nos sistemas de produção (Vilela *et al.*, 2009). No entanto, esse teste ainda é mais comumente aplicado na avaliação de sementes de espécies agrícolas, resultando em uma escassez de estudos que explorem sua aplicação em espécies florestais. É importante ressaltar que o vigor e a viabilidade das sementes não são comprometidos devido às baixas intensidades de radiação utilizadas, o que permite a realização de testes adicionais com as mesmas sementes (Oliveira *et al.*, 2003).

Na presente pesquisa, por exemplo, após a realização do teste de raios-X, foi conduzido o teste de germinação, demonstrando a versatilidade e a eficácia do teste na análise da qualidade das sementes. Os resultados obtidos através da análise dos componentes principais e do método de agrupamento Tocher indicam uma clara distinção entre os lotes de sementes de *A. urundeuva* analisados. A contribuição significativa das variáveis porcentagem de área e perímetro para a variância total sugere que essas características são cruciais para diferenciação dos lotes. O conjunto de características do lote 4 inclui boa uniformidade e qualidade geral das sementes.

A correlação positiva entre a Dist1 e Dist2, refletida pelo coeficiente cofenético, indica que as características das sementes tendem a variar de forma consistente, mostrando uma relação direta entre as variáveis analisadas. Essa correlação positiva é importante para entender como as diferentes características das sementes se inter-relacionam e como podem influenciar o desempenho geral das plantas.

Através da análise dos componentes principais também é possível identificar características distintas entre os lotes de sementes analisados. Devido o lote 2 ter se destacado principalmente na proporção de aspecto, isso indica que as sementes deste lote apresentam uma forma mais alongada ou uma relação largura/altura mais distinta em comparação aos outros lotes. Os resultados do lote 3 sugerem que as sementes deste lote têm um perfil mais robusto e consistente em termos de tamanho e densidade. O lote 4 apresentou resultados que indicam que

as sementes deste lote possuem uma forma mais regular e uma superfície mais completa e sólida, características desejáveis para a uniformidade de crescimento e desenvolvimento.

A análise dos resultados indica uma significativa relação entre os parâmetros avaliados pelo teste de raios-X e a qualidade das sementes, evidenciada pela sua correlação com o desempenho no desenvolvimento de plântulas normais. O teste de raios-X fornece informações essenciais sobre a densidade interna e a integridade estrutural das sementes, fatores diretamente associados à germinação e ao vigor das plântulas. Oliveira *et al.* (2003), ao avaliarem sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* Sprengel) por meio do teste de raio-X, também identificaram que as sementes completamente preenchidas foram justamente as que tiveram taxas superiores de germinação, resultado consistente com os achados do presente estudo.

Sementes com baixa densidade ou com rachaduras internas tendem a apresentar uma menor capacidade de germinação e desenvolvimento, resultando em plântulas mal-formadas e menos vigorosas. Oliveira *et al.* (2004), ao utilizarem o teste de raio-X para avaliar a viabilidade de sementes de *Terminalia argentea*, também conseguiram estabelecer critérios para a identificação de sementes classificadas como cheias (totalmente formadas), vazias ou malformadas, com base nas imagens radiografadas. No entanto, conforme destacado por Carvalho e Oliveira (2006), o teste de raio-X não é capaz de detectar todos os problemas relacionados à qualidade fisiológica das sementes. Apesar dessa limitação, a técnica oferece um diagnóstico rápido e não destrutivo, sendo uma ferramenta valiosa e essencial para pesquisas realizadas em laboratórios de análise de sementes agrícolas e florestais.

A análise física de sementes por meio da técnica de raios-X destaca-se pela capacidade de realizar uma avaliação rápida das estruturas internas do embrião, além de identificar certos tipos de danos mecânicos e infestações por insetos (Simak, 1991). Assim como essa mesma eficiência foi comprovada no presente estudo, permitindo uma visualização detalhada das características internas das sementes.

Ainda mais, o uso de imagens radiografadas pode complementar as análises tradicionais realizadas em laboratório, contribuindo para uma avaliação mais eficiente da qualidade fisiológica de lotes em um curto intervalo de tempo. Essa integração tem o potencial de otimizar os processos de análise, garantindo maior agilidade e precisão, o que, por sua vez, pode refletir diretamente na alta produtividade em campo (Zhang *et al.*, 2018).

Este estudo confirma que a aplicação do teste de raios-X é uma ferramenta eficaz para a identificação de características internas das sementes. A capacidade do teste de raios-X de fornecer uma análise não destrutiva das sementes complementa os dados obtidos pelo teste de germinação, oferecendo uma visão abrangente da qualidade das sementes.

Deste modo, os resultados obtidos neste estudo reforçam ainda mais a viabilidade do uso do teste de raios-X para avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de *A. urundeuva*.

7. CONCLUSÃO

O teste de raios-X com um comprimento de 15 cm e com o *software* ImageJ® permitiu a caracterização física, sanitária e fisiológica de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.

8. REFERÊNCIAS

ABUD, H. F.; CICERO, S. M.; GOMES JUNIOR, F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.40, p.1-9. 2018. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.34950>.

AMARAL, J. B. *et al.* Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 33, n. 4, p. 601 - 607, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000400001>

CARVALHO, M. L. M.; OLIVEIRA, L. M. Raios x na avaliação da qualidade de sementes. **Informativo Abrates**, v. 6, n. 1, 2, 3, p. 93-99, 2006.

CARVALHO, M. L. M.; OLIVEIRA, L. M. Raios x na avaliação da qualidade de sementes. **Informativo Abrates**, v. 6, n. 1, 2, 3, p. 93-99, 2006.

DELL'AQUILA, A. Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis. *Biologia Plantarum*, v.51, p.777-781. 2007. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0159-9>.

DUCATTI, K. R.; COIMBRA, R. A.; NAKAGAWA, J. Adjustment of initial moisture content and accelerated aging test for supersweet corn (sh2) seeds. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 4, p. 24-29, 2019.

FELIX, F. C. *et al.* Biometria de sementes de espécies florestais da Caatinga por meio da análise de imagens. **Informativo Abrates**, v. 28, p. 46-50, 2018.

GAGLIARDI, B.; MARCOS FILHO, J. Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v.68, n.4, p.411-416, 2011.

GUEDES, R. S. *et al.* Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Myracrodruon urundeuva* Freire Allemão. *Revista Árvore*, 33(6): 997-1003, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000600002>

HAY, F. R. *et al.* Determination and control of seed moisture. **Seed Science and Technology**, v. 51, n. 2, p. 267-285, 2023. <https://doi.org/10.15258/sst.2023.51.2.11>

JAVORSKI, M. *et al.* M. Image analysis to evaluate the physiological potential and morphology of pearl millet seeds. *Journal of Seed Science*, v.40, p.127-134. 2018. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n2176904>.

JORGE, M. H. A.; RAY, D. T. Germination characterization of guayule seed by morphology, mass and, X-ray analysis. **Industrial Crops and Products**, v. 22, n. 1, p. 59-63, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.05.007>

KOBORI, N. N.; CICERO, S. M.; MEDINA, P. F. Teste de raios X na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 125-133, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000100016>

MARCOS FILHO, J. *Seed Physiology of Cultivated Plants*. Abrates. 616p. 2016.

MARCHI, J. L. DE; GOMES JUNIOR, F. G. Use of image analysis techniques to determine the embryo size of *Senna multijuga* (Rich.) seeds and its relation to germination and vigor. **Journal of Seed Science**, v.39, n.1, p.13- 19, 2017. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n1165423>

NORONHA, B. G.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 393-402, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509831615>

OLIVEIRA, L. M.; CARVALHO, M. L. M.; DAVIDE, A. C. Utilização do teste de raios-X na avaliação da qualidade de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, p. 116-120, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000100018>

OLIVEIRA, L. M. *et al.* Avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia serratifolia* Vahl Nichi. e *T. impetigiosa* (Martius ex A. P. de Candolle Standley) - (Bignoniaceae) pelo teste de raios x. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 2, p.138-143, 2004.

RABBANI, A. R. C. *et al.* Pré-embebição em sementes de moringa. *Scientia plena*, v. 9, n. 5, 2013.

RAHMAN, A.; CHO, B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review. *Seed Science Research*, v.26, p.285–305. 2016. <https://doi.org/10.1017/S0960258516000234>.

SIMAK, M.; BERGSTEN, U.; HENRIKSSON, G. Evaluation of ungerminated seeds at the end of germination test by radiography. *Seed Science and Technology*, v.17, n.2, p.361-29369, 1989.

SILVA, V. N.; CICERO, S. M.; BENNETT, M. Relationship between eggplant seed morphology and germination. *Revista Brasileira de Sementes*, v.34, n.4, p.597–604. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000400010>.

SOOD, S. *et al.* Internal crack detection in kidney bean seeds using X-ray imaging technique. In: **2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)**. IEEE, 2016. p. 2258-2261. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2016.7732388>

VILELA, F. L. *et al.* Testes para avaliação do vigor de sementes de café. 2009.

VIEIRA, R. D.; MARCOS FILHO, J. Teste de condutividade elétrica. **Vigor de sementes: conceitos e testes**, p. 601: il, 2020.

CONCLUSÕES GERAIS:

A partir desta pesquisa, conclui-se que existe uma ampla variedade de testes rápidos utilizados para avaliar a viabilidade e o vigor das sementes, com um significativo número de estudos realizados ao longo dos últimos 20 anos (de 1º de janeiro de 2004 a 1º de janeiro de 2024). Nesse contexto, o Brasil se destaca como um dos principais líderes em pesquisas relacionadas a esses testes, refletindo um intenso interesse e investimento no aprimoramento dessas. A utilização de tecnologias inovadoras, como a imagem hiperespectral e o raio-X, tem se mostrado essencial para otimizar a eficiência dos testes, proporcionando resultados cada vez mais precisos e detalhados.

Em relação aos testes rápidos de condutividade elétrica e pH do exsudato, foi evidenciado que esses métodos são promissores para a avaliação do vigor das sementes de *Astronium urundeuva*, e recomenda-se a metodologia que consiste no uso de 50 mL de água destilada, 12 horas de embebição e 30 sementes por repetição. Esta abordagem não apenas proporciona resultados confiáveis, como também reduz significativamente o uso de materiais e o tempo necessário para finalização das avaliações, tornando o processo mais econômico e eficiente.

Além disso, o teste de raio-X revelou-se uma ferramenta valiosa para a caracterização física e fisiológica das sementes de *A. urundeuva*. A análise das imagens radiográficas, juntamente com a avaliação das dimensões das sementes por meio do software ImageJ®, permite uma análise mais detalhada da qualidade física e fisiológica das sementes, incluindo a identificação de anomalias, avaliação do preenchimento e da integridade interna das sementes. Esse teste amplia as possibilidades de análise, oferecendo uma visão mais abrangente sobre a qualidade das sementes, o que é crucial para a melhoria das práticas de conservação e manejo de espécies florestais nativas, por exemplo.

Portanto, os resultados desta pesquisa destacam não apenas a viabilidade e a importância da utilização de testes rápidos para a avaliação da viabilidade e do vigor das sementes de espécies florestais nativas, mas também a necessidade de padronização metodológica dos testes para cada espécie, o que contribuirá para a comparação de resultados entre diferentes estudos e para o avanço dos testes de avaliação. Além disso, a contínua incorporação de tecnologias avançadas é fundamental para o aprimoramento dos testes e suas metodologias, promovendo maior precisão, confiabilidade e eficiência nas análises, e consequentemente, favorecendo a conservação e o uso sustentável das espécies florestais nativas.

APÊNDICES

Tabela 2. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. nos volumes de 50 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos											
	50 mL + 25 sementes				50 mL + 30 sementes				50 mL + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	165.6 bcA	170.1 bA	191 cA	124.5 bcB	188.3 bC	229 aB	252.1 aC	143.3 cB	276 bBC	288.4 bB	342.6 aC	218.3 cC
2	160.3 bcB	170.7 bB	216.6 cA	114.7 cdC	189.2 cC	215.5 bBC	260.9 aC	119.3 dBC	247.1 cCD	289.6 bB	328.9 aCD	180.1 dCD
3	218.3 aC	260.3 aB	357 aA	165.1 aA	281.9 cA	309.9 bA	377.3 aA	198.5 dA	370.6 bA	393.7 bA	510.2 aA	306.7 cA
4	185.4 abC	241.5 aB	281 bA	155.1 abC	218.25 cB	291.4 bA	332.1 aB	184.4 dA	314.6 cB	368.9 bA	411.2 aB	262.5 dB
5	137 cB	160.2 bB	215.2 cA	91.2 dC	159.7 cD	196.2 bC	244.2 aC	104.5 dC	214.7 bD	273.2 aB	299.9 aD	142.1 cD

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 25 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos			
	3h	6h	12h	24h
1	124.7 bB	139.9 bB	170.3 aC	192.5 aA
2	112.2 cBC	131 bcBC	185.5 aBC	150.8 bB
3	170 bA	167.1 bA	234.5 aA	183 bA
4	151 bA	152.5 bAB	201.4 aB	171 bAB

5 96.9 cC 108.5 bcC 165 aC 121.8 bC

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 100 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos											
	100 mL + 25 sementes				100 mL + 30 sementes				100 mL + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	87 bB	121.5 aB	116.4 aABC	97.4 bC	105 bBC	130.9 aB	123.9 abC	117.3 abC	139.5 bC	173.9 aB	160.3 abB	165.5 aB
2	92 bB	99.5 bC	110.4 abBC	121.5 aAB	106.1 bBC	122.9 bB	120.7 bC	145.3 aB	135.3 bC	157.6 abBC	153.9 abB	178.2 aB
3	122 bA	146.8 aA	130.6 abAB	136.1 abA	142.6 bA	172.7 aA	180.1 aA	184.8 aA	211.3 abA	225 aA	196.1 bA	232.1 aA
4	119.1 abA	129 aAB	134 aAB	106.4 bBC	122 bAB	165.8 aA	149.1 aB	146 aB	177.3 bcB	204.3 aA	198.8 abA	170.2 cB
5	84 abB	88.4 abC	101.1 aC	74 bD	92.9 abC	110.2 aB	109.5 aC	87 bD	127.6 bcC	144 abC	156.1 aB	109.8 cC

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 50 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos											
	50 mL + 25 sementes				50 mL + 30 sementes				50 mL + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h

1	5.72 bA	5.48 cAB	5.45 cB	5.45 bB	5.77 aB	5.46 bC	5.63 abB	5.7 abAB	5.5 aB	5.4 aC	5.5 aBC	5 bB
2	5.42 cdB	5.88 bA	5.50 cB	5.65 abAB	5.47 bC	5.73 aB	5.56 abB	5.68 abAB	5.4 bBC	5.7 aB	5.3 bC	5 cB
3	5.69 bcA	5.75 bcA	5.80 bA	5.91 aA	5.57 aBC	5.72 aBC	5.77 aB	5.82 aA	5.6 abB	5.7 aB	5.6 aB	5.4 bA
4	5.20 dB	5.62 bcA	5.50 cA	5.38 bAB	5.31 bC	5.72 aBC	5.55 abB	5.4 bC	5.2 bC	5.5 aBC	5.4 abC	5 cB
5	6.33 aA	6.44 aA	6.51 aA	5.65 abB	6.2 bA	6.55 aA	6.41 abA	5.51 cBC	6.3 aA	6.4 aA	6.1 bA	5.5 cA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 25 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Tratamentos			
75 mL + 25 sementes			
Tempo (h)	pH	Lote	pH
3a	6.5	1	5.8a
6a	5.8	2	6a
12a	8.5	3	5.9a
24a	5.8	4	5.6a
		5	9.8a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos							
	75 mL + 30 sementes				75 mL + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	5.6 bB	5.3 cC	6.1 aD	5.9 aA	5.7 abB	5.6 bBC	5.9 aD	5.94 aB
2	5.6 bcB	5.8 bB	6.4 aBC	5.5 cB	5.6 bB	5.7 bB	6.3 aBC	5.4 bC
3	5.6 cBC	5.6 cB	6.5 aB	5.9 bA	5.6 bB	5.6 bBC	6.4 aB	5.8 bB
4	5.3 bC	5.3 bC	6.1 aCD	5.3 bC	5.3 bB	5.3 bC	6.1 aCD	5.3 bC
5	6 cA	6.3 bA	7.1 aA	6.1 bcA	6.2 bA	6.3 bA	7 aA	6.3 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 100 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos											
	100 ml + 25 sementes				100 ml + 30 sementes				100 ml + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	6 abB	6.1 aAB	6 bB	6.1 aAB	5.9 bcA	6 abB	5.8 cB	6.1 aA	5.9 aB	5.9 aB	5.8 aB	5.9 aBC
2	5.9 bBC	5.9 bBC	5.7 bB	6.2 aA	5.9 bA	5.9 bB	5.7 bB	6.2 aA	5.9 bB	5.9 bB	5.6 cC	6.1 aA
3	6 bB	6 bAB	5.8 bB	6.2 aA	5.9 bA	5.8 bcB	5.7 cB	6.2 aA	5.6 bC	5.8 bB	5.6 bBC	6.1 aAB
4	5.7 bC	5.7 abC	5.4 cC	5.9 aBC	5.6 bB	5.5 bcC	5.4 cC	5.9 aB	5.6 bC	5.6 bC	5.4 cD	5.9 aC
5	6.4 aC	6.2 aA	6.4 aA	5.8 bC	5.6 bB	6.3 aA	6.4 aA	5.7 bB	6.5 aA	6.4 aA	6.3 aA	5.8 bC

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas (comparação entre lotes) na linha e maiúsculas (comparação entre tempos) na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 9. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 50 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos											
	50 mL + 25 sementes				50 mL + 30 sementes				50 mL + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	5.72 bA	5.48 cAB	5.45 cB	5.45 bB	5.77 aB	5.46 bC	5.63 abB	5.7 abAB	5.5 aB	5.4 aC	5.5 aBC	5 bB
2	5.42 cdB	5.88 bA	5.50 cB	5.65 abAB	5.47 bC	5.73 aB	5.56 abB	5.68 abAB	5.4 bBC	5.7 aB	5.3 bC	5 cB
3	5.69 bcA	5.75 bcA	5.80 bA	5.91 aA	5.57 aBC	5.72 aBC	5.77 aB	5.82 aA	5.6 abB	5.7 aB	5.6 aB	5.4 bA
4	5.20 dB	5.62 bcA	5.50 cA	5.38 bAB	5.31 bC	5.72 aBC	5.55 abB	5.4 bC	5.2 bC	5.5 aBC	5.4 abC	5 cB
5	6.33 aA	6.44 aA	6.51 aA	5.65 abB	6.2 bA	6.55 aA	6.41 abA	5.51 cBC	6.3 aA	6.4 aA	6.1 bA	5.5 cA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 75 mL de água destilada com grupos de 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos							
	75 mL + 30 sementes				75 mL + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	5.6 bB	5.3 cC	6.1 aD	5.9 aA	5.7 abB	5.6 bBC	5.9 aD	5.94 aB

2	5.6 bcB	5.8 bB	6.4 aBC	5.5 cB	5.6 bB	5.7 bB	6.3 aBC	5.4 bC
3	5.6 cBC	5.6 cB	6.5 aB	5.9 bA	5.6 bB	5.6 bBC	6.4 aB	5.8 bB
4	5.3 bC	5.3 bC	6.1 aCD	5.3 bC	5.3 bB	5.3 bC	6.1 aCD	5.3 bC
5	6 cA	6.3 bA	7.1 aA	6.1 bcA	6.2 bA	6.3 bA	7 aA	6.3 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Análise de pH do exsudato de 5 lotes de sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. após pré-condicionamento nos volumes de 100 mL de água destilada com grupos de 25, 30 e 40 sementes durante os períodos de 3, 6, 12 e 24h.

Lotes	Tratamentos											
	100 ml + 25 sementes				100 ml + 30 sementes				100 ml + 40 sementes			
	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h	3h	6h	12h	24h
1	6 abB	6.1 aAB	6 bB	6.1 aAB	5.9 bcA	6 abB	5.8 cB	6.1 aA	5.9 aB	5.9 aB	5.8 aB	5.9 aBC
2	5.9 bBC	5.9 bBC	5.7 bB	6.2 aA	5.9 bA	5.9 bB	5.7 bB	6.2 aA	5.9 bB	5.9 bB	5.6 cC	6.1 aA
3	6 bB	6 bAB	5.8 bB	6.2 aA	5.9 bA	5.8 bcB	5.7 cB	6.2 aA	5.6 bC	5.8 bB	5.6 bBC	6.1 aAB
4	5.7 bC	5.7 abC	5.4 cC	5.9 aBC	5.6 bB	5.5 bcC	5.4 cC	5.9 aB	5.6 bC	5.6 bC	5.4 cD	5.9 aC
5	6.4 aC	6.2 aA	6.4 aA	5.8 bC	5.6 bB	6.3 aA	6.4 aA	5.7 bB	6.5 aA	6.4 aA	6.3 aA	5.8 bC

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.