

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL**

**HENRIQUE DE FREITAS RAMOS**

**MORFOMETRIA E QUALIDADE DE SEMENTES DE VARIEDADES LOCAIS DE  
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) DO AMAZONAS**

**MANAUS – AM**

**2025**

HENRIQUE DE FREITAS RAMOS

**MORFOMETRIA E QUALIDADE DE SEMENTES DE VARIEDADES LOCAIS DE  
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como parte das exigências para a obtenção do grau de mestre em Agronomia Tropical.

**Orientadora:** Angela Maria da Silva Mendes

MANAUS – AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

- R175m Ramos, Henrique de Freitas  
Morfometria e qualidade de sementes de variedades locais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) do Amazonas. / Henrique de Freitas Ramos. - 2025.  
67 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Angela Maria da Silva Mendes.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Manaus, 2025.
1. Análise de sementes. 2. Análise de imagens. 3. Vigor de sementes. 4. Vigor-S. I. Mendes, Angela Maria da Silva. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical. III. Título
-

HENRIQUE DE FREITAS RAMOS

**MORFOMETRIA E QUALIDADE DE SEMENTES DE VARIEDADES LOCAIS DE  
FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia Tropical  
como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Agronomia Tropical,  
área de concentração Produção Vegetal.

Aprovado em 16 de outubro de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **ANGELA MARIA DA SILVA MENDES**  
Data: 17/12/2025 15:57:39-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Angela Maria da Silva Mendes – Presidente

Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente  
 **SONIA MARIA FIGUEIREDO ALBERTINO**  
Data: 18/12/2025 08:36:37-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino

Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL FELIPE DE OLIVEIRA GENTIL**  
Data: 18/12/2025 09:07:11-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Daniel Felipe de Oliveira Gentil

Universidade Federal do Amazonas

*“Alegrem-se na esperança, sejam pacientes na tribulação, perseverem na oração”*

**Bíblia Sagrada.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela luz e força durante a realização desse trabalho.

À minha família, em especial meu pai Osvaldo Ramos Netto e à minha mãe Emília Teixeira de Freitas, pelo apoio constante e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais difíceis.

A professora Angela Maria da Silva Mendes, pela excepcional orientação, zelo, disponibilidade e aprendizado durante todas as fases deste trabalho.

Aos meus amigos Natasha Koide, Felipe Maciel, Nathalia Luniere, Gabriele Lima, Wesley Praia e Cleber Nunes, pelo companheirismo e auxílio nos momentos necessários.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical (PPGATR/UFAM), pela oportunidade única e pela contribuição à minha formação acadêmica.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP/ESALQ), em nome do Prof. Dr. Francisco Guilhien Gomes Junior, pela oportunidade e supervisão durante o estágio técnico-científico no Laboratório de Análise de Imagens “Professor Silvio Moure Cicero”, sendo primordial para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fundamental fomento e concessão da bolsa de estudos, que possibilitou a execução desta pesquisa.

A todos, o meu mais sincero agradecimento.

## MORFOMETRIA E QUALIDADE DE SEMENTES DE VARIEDADES LOCAIS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) DO AMAZONAS

### RESUMO

A análise de sementes por sistemas computacionais é um processo de avaliação que vem sendo bastante difundido na área de qualidade de sementes por ser um método não destrutivo. A determinação da qualidade de um lote de semente é parte fundamental do processo de produção e comercialização de sementes. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de três lotes de sementes de três variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) por métodos convencionais e imagem. O experimento foi realizado com três lotes de feijão-caupi (2023, 2024 e 2025) de variedades locais (Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha), totalizando nove tratamentos. As características biométricas e peso de mil sementes foram avaliadas por meio do Scanner GROUND EYE S800, utilizando 100 sementes de cada lote. O teste de germinação e grau de umidade foram realizados de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes brasileira. O vigor das plântulas foi analisado por imagens digitais das plântulas pelo Software Vigor-S. Na análise física das sementes, foi utilizado o Raio-X XPERT 80. Para analisar as plântulas no Vigor-S, foram utilizadas as mesmas sementes posicionadas na captura das imagens pelo Raio-X. Após a captura das imagens, as sementes foram colocadas para germinar nas mesmas condições do teste de germinação, em cinco repetições de 20 sementes para cada lote. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3, três variedades e três lotes, com quatro repetições de 100 sementes para o teste de germinação e cinco repetições de 20 sementes para o teste de vigor. As sementes dos lotes 2023, 2024 e 2025 das variedades Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha apresentaram variação no tamanho das sementes. Os lotes de 2023 e 2024 apresentaram germinação superior a 80% para todas as variedades testadas, percentual exigido como critério de comercialização de sementes de feijão-caupi no Brasil, conforme o teste padrão de germinação. A análise do Vigor-S indicou Fígado-de-galinha-2025 e Filipinho-2025 como os lotes com os maiores valores de vigor, mesmo com o teste padrão de germinação indicando uma germinação abaixo de 80%; porém, foram sementes que apresentam plântulas com maior comprimento total (hipocótilo e radícula). O Manteiguinha-2025 apresentou a menor porcentagem de germinação e teve o menor valor de vigor. Sementes com manchas próximo a região do eixo-embrionário apresentaram plântulas anormais ou sementes mortas, conforme imagem capturada do Raio-X; entretanto, outros fatores além da qualidade física afetaram o potencial germinativo dos diferentes lotes.

**Palavras-Chave:** Análise de sementes, Análise de imagens, Vigor de sementes.

## MORPHOMETRY AND SEED QUALITY OF LOCAL VARIETIES COWPEA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) FROM THE AMAZON

### ABSTRACT

The analysis of seeds by computer systems is an evaluation process that has become widespread in seed quality because it is a non-destructive method. Determining the quality of a seed lot is a fundamental part of the seed production and marketing process. Thus, the objective of this study was to evaluate the quality of three seed lots of three varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) using conventional methods and imaging. The experiment was conducted with three batches of cowpea (2023, 2024, and 2025) of local varieties (Fígado-de-galinha, Filipinho, and Manteiguinha), totaling nine treatments. Biometric characteristics and thousand-seed weight were evaluated using the GROUND EYE S800 Scanner, using 100 seeds from each batch. The germination test and moisture content were performed according to the recommendations of the Brazilian Rules for Seed Analysis. Seedling vigor was analyzed using digital images of the seedlings with Vigor-S software. The XPERT 80 X-ray was used for the physical analysis of the seeds. To analyze the seedlings in Vigor-S, the same seeds used in the X-ray image capture were used. After image capture, the seeds were placed to germinate under the same conditions as the germination test, in five replicates of 20 seeds for each batch. The experiments were conducted in a completely randomized experimental design, in a 3 x 3 factorial scheme, three varieties and three batches, with four replicates of 100 seeds for the germination test and five replicates of 20 seeds for the vigor test. The seeds from batches 2023, 2024, and 2025 of the Fígado-de-galinha, Filipinho, and Manteiguinha varieties showed variation in seed size. The 2023 and 2024 lots for all varieties tested showed germination above 80%, which is required as a criterion for marketing cowpea seeds in Brazil, according to the standard germination test. The Vigor-S analysis indicated Fígado-de-galinha-2025 and Filipinho-2025 as the lots with the highest vigor values, even though the standard germination test indicated germination below 80%; however, these seeds produced seedlings with greater total length (hypocotyl and radicle). Manteiguinha-2025 had the lowest germination percentage and the lowest vigor value. Seeds with spots near the embryonic axis region presented abnormal seedlings or dead seeds, according to the X-ray image; however, factors other than physical quality affected the germination potential of the different lots.

**Keywords:** Seed analysis, Image analysis, Seed vigor.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Amostras de sementes de variedades locais de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....                                                                                                                                                         | 27 |
| <b>Figura 2.</b> Metodologia da análise morfométrica das sementes de três variedades de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....                                                                                                                               | 28 |
| <b>Figura 3.</b> Metodologia para análise do vigor das sementes de três variedades de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), por meio do Software Vigor-S. ....                                                                                                  | 30 |
| <b>Figura 4.</b> Metodologia para aquisição de imagens radiográficas das sementes de três variedades de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....                                                                                                               | 32 |
| <b>Figura 5.</b> Análise automatizada das três variedades de feijão-caupi no Vigor-S.....                                                                                                                                                                                      | 42 |
| <b>Figura 6.</b> Sementes com presença de manchas por lotes, capturadas por imagem de raio X nas sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), variedades Fígado-de-galinha (FG), Filipinho (FL) e Manteiguinha (MG).....                                   | 49 |
| <b>Figura 7.</b> Avaliação das sementes com manchas por lote, expressa pela proporção de plântulas normais, anormais e mortas nas sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), variedades Fígado-de-galinha (FG), Filipinho (FL) e Manteiguinha (MG). .... | 49 |
| <b>Figura 8.</b> Imagem do aspecto das sementes com manchas na região próxima ao eixo-embrionário das sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.). ....                                                                                                    | 51 |
| <b>Figura 9.</b> Imagem do estado das sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....                                                                                                                                                                     | 52 |
| <b>Figura 10.</b> Imagem do estado das sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).....                                                                                                                                                                    | 52 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Características biométricas e físicas de sementes de três lotes (2023, 2024, 2025) de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), variedade Fígado-de-galinha....  | 34 |
| <b>Tabela 2.</b> Características biométricas e físicas de sementes de três lotes (2023, 2024, 2025) de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), variedade Filipinho..            | 35 |
| <b>Tabela 3.</b> Características biométricas e físicas de sementes de três lotes (2023, 2024, 2025) de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), variedade Manteiguinha. ....     | 35 |
| <b>Tabela 4.</b> Análise de variância para as variáveis de qualidade fisiológica das sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), em função das variedades e lotes. .... | 37 |
| <b>Tabela 5.</b> Características de germinação de três lotes de sementes, de três variedades locais de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).                                  | 38 |
| <b>Tabela 6.</b> Análise de variância para as variáveis do Vigor-S das sementes de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.), em função das variedades e lotes.....                | 43 |
| <b>Tabela 7.</b> Variáveis do Vigor-S de três lotes de sementes de três variedades locais de feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).                                            | 44 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                | 10 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....                                                                     | 13 |
| 2.1 Aspectos gerais do feijão-caupi.....                                                          | 13 |
| 2.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi .....                                              | 14 |
| 2.3 Qualidade de sementes.....                                                                    | 16 |
| 2.4 Vigor de sementes .....                                                                       | 21 |
| 2.5 Análise de sementes por imagem.....                                                           | 23 |
| 3. OBJETIVOS .....                                                                                | 26 |
| 3.1 Objetivo geral .....                                                                          | 26 |
| 3.2 Objetivos específicos.....                                                                    | 26 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                        | 27 |
| 4.1 Procedência das sementes .....                                                                | 27 |
| 4.2 Características morfométricas e físicas das sementes .....                                    | 27 |
| 4.3 Análise fisiológica das sementes.....                                                         | 29 |
| 4.4 Avaliação do potencial fisiológico das sementes pelo Vigor-S.....                             | 30 |
| 4.5 Avaliação da relação das características físicas e o potencial germinativo das sementes ..... | 31 |
| 4.6 Análise estatística .....                                                                     | 33 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                    | 34 |
| 5.1 Características morfométricas e físicas das sementes .....                                    | 34 |
| 5.2 Aspectos da qualidade fisiológica das sementes.....                                           | 37 |
| 5.3 Avaliação do vigor dos lotes de sementes.....                                                 | 42 |
| 5.4 Análise radiográfica.....                                                                     | 48 |
| 6. CONCLUSÃO .....                                                                                | 54 |
| 7. REFERÊNCIAS .....                                                                              | 55 |

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma das mais destacadas plantas leguminosas de origem africana que ganhou proeminência no mundo, devido à sua importância como fonte alimentar de alto valor nutritivo, ocupando a posição de terceira leguminosa mais cultivada globalmente, tanto para a produção de grãos quanto para obtenção de sementes (Ratnaningsih *et al.*, 2020; Gonçalves *et al.*, 2024; Viana *et al.*, 2025).

No mundo, o feijão-caupi é cultivado de forma expressiva em países africanos, sendo a Nigéria indicada como o maior produtor, no ano de 2023, com uma área colhida de 4,77 milhões de hectares e produção de 4,29 milhões de toneladas de grãos, seguido por Níger que produziu 2,69 milhões de toneladas de grãos, e Burkina Faso com uma produção de 731 mil toneladas de grãos (FAO, 2025).

No Brasil, o feijão-caupi é considerado uma das culturas mais importante na economia do país, cultivado por pequenos, médios e grandes produtores em diversas regiões brasileiras, consistindo uma das leguminosas de maior relevância no Nordeste, com sua produção voltada tanto para grãos secos quanto para vagens verdes (Ratnaningsih *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021; Silva Júnior *et al.*, 2021; Sousa *et al.*, 2022).

Conforme as estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025), no Brasil na safra 2024/2025, foram cultivados 1,268 milhões de hectares de feijão-caupi, responsável pela produção de cerca de 636 mil toneladas, deixando o país na quarta colocação entre os maiores produtores mundiais. Na região Norte e Nordeste, ainda que o feijão-caupi seja uma cultura fundamental para a alimentação humana de várias maneiras, seu potencial produtivo necessita de uma maior exploração e pesquisas sobre o manejo e recomendação de cultivares (Valeriano *et al.*, 2019).

A participação do feijão-caupi na região Norte tanto em área cultivada quanto na produção, quando comparada em âmbito nacional, ainda é abaixo da média. No entanto, a cultura possui grande destaque, tanto como alimento quanto como gerador de emprego e renda, além de ser um componente básico e fundamental na alimentação das populações rurais e urbanas da região Norte (Freire-Filho *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2019). No Amazonas, devido a característica do cultivo em várzea, o feijão-caupi é popularmente conhecido como feijão-de-praia. De acordo com Pereira (2010), o cultivo do feijão-caupi no Amazonas é mais comum na área de várzea, porque o solo é fértil.

Apesar da Embrapa Amazônia Ocidental realizar pesquisas sobre sistemas de produção de feijão-caupi no Amazonas desde 1974 (Oliveira *et al.*, 2019), com o objetivo de lançar cultivares adaptadas à região, as variedades locais de feijão-caupi, mantidas

até hoje pelos agricultores, representam um elemento chave da cultura agrícola do Amazonas. As pesquisas são unânimes em demonstrar que a diversidade agrícola está ameaçada, e ela constitui a base da sobrevivência das populações rurais, notadamente as de baixa renda e, mesmo que não se possa estimar exatamente a dimensão da perda, os agricultores desempenham um papel fundamental na conservação *in-situ* da agrobiodiversidade (Calvet-Mir *et al.*, 2012; Santilli, 2012).

Nesse cenário amazônico, observa-se que a produção de grãos de feijão-caupi avança; no entanto, não se tem referências sobre a produção de sementes nas condições amazônicas. A baixa qualidade das sementes é um dos problemas mais comuns enfrentados pelos agricultores. Tradicionalmente, os agricultores guardam parte de sua produção para ser utilizado como sementes no plantio seguinte, o que pode aumentar ainda mais a perda de qualidade, pois sementes de boa qualidade são um fator fundamental para garantir uma germinação efetiva (Hanapiah; Sinniah; Yusoff, 2022). Essa prática, sem os devidos cuidados, principalmente no armazenamento, ocasiona a perda da viabilidade das sementes. Mediante esse aspecto de influência na produção que surge o estudo da qualidade de sementes, onde a implantação adequada das plantas no campo, é o resultado da qualidade das sementes usadas, pois contribui para a emergência de plântulas em menor tempo e com maior uniformidade (Pereira *et al.*, 2019).

A qualidade das sementes é evidenciada por meio do seu potencial para desempenhar funções essenciais e formar plântulas normais, mesmo sob condições adversas após a semeadura (Pereira *et al.*, 2011). Para ajudar na análise dos lotes de sementes, surgiu o conceito de vigor, juntamente com diversos testes para quantificar esse atributo (Baldini *et al.*, 2018). Devido à competitividade do mercado, a demanda por sementes de alto vigor é crescente, e essa qualidade deve ser verificada e mantida em todas as etapas de produção em campo e pós-colheita.

O teste de germinação é o método tradicional para a avaliação do potencial fisiológico das sementes, o qual está padronizado na Regras para Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2025). Mas, os testes que melhor diferenciam o potencial fisiológico entre os lotes são os testes de vigor e de viabilidade, como o teste de tetrazólio. No entanto, essas análises são destrutivas, demandam tempo considerável e podem estar sujeitas a subjetividade na interpretação dos resultados (Elmasry *et al.*, 2019). Atualmente, com os avanços da tecnologia, é possível realizar essa análise por meio de imagens. As análises de imagens computacionais permitem quantificar a qualidade fisiológica das sementes de forma mais rápida (Marques *et al.*, 2015).

A análise de imagens, combinada com recursos computacionais, é uma prática consolidada na avaliação da qualidade das sementes, pois possibilita obter uma vasta quantidade de informações a partir das características das sementes, sem precisar destruir a amostra (Rego *et al.*, 2023). A análise radiográfica fornece descritores quantitativos da integridade física que se correlacionam de forma significativa com os atributos fisiológicos das sementes (Silva *et al.*, 2020). A técnica mostra-se especialmente eficiente para identificar sementes com baixo potencial fisiológico (Pinheiro *et al.*, 2022).

Diante do exposto, torna-se necessário estabelecer padrões de qualidade das sementes de variedades de feijão-caupi, por meio do uso de imagens, em comparação com as informações fornecidas pelos testes tradicionais recomendados para a espécie, colaborando com informações para a produção de sementes no estado do Amazonas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta dicotiledônea, que pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Padulosi & Ng, 1997).

O caupi é uma planta autógama, embora tenham sido registrados até 2% de cruzamentos, herbácea e anual, que se reproduz por meio de sementes. (Fatokun; Ng, 2007). Possui flores hermafroditas e produz frutos do tipo vagem (Rocha *et al.*, 2006). Dependendo da variedade, a altura da planta pode variar e suas raízes podem penetrar até dois metros no solo, o que ajuda na resistência à seca (Coêlho, 2018).

O feijão-caupi é uma leguminosa anual de estação quente, amplamente cultivada e adotada por sua resiliência agrícola e sustento nutricional (Muñoz-Amatriáin *et al.*, 2017). A cultura está entre as mais importantes leguminosas globais devido à sua excepcional adaptabilidade a diversos agroecossistemas e à contribuição relativa à produção global de leguminosas (Semba *et al.*, 2021; Chepngeno *et al.*, 2024). Como leguminosa, o feijão-caupi possui a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, enriquecendo a fertilidade do solo, mesmo em condições abaixo do ideal (Mekonnen *et al.*, 2022; Becker *et al.*, 2024). Assim, o feijão-caupi tem potencial para fortalecer os sistemas alimentares e a segurança nutricional, mas também de seu valioso papel no aumento da fertilidade do solo em sistemas de cultivo (Abebe; Alemayehu, 2022; Affrifah *et al.*, 2022). Essa característica é particularmente crucial em regiões onde os agricultores dependem fortemente do cultivo do feijão-caupi para renda e proteína alimentar (Seo *et al.*, 2020; Faye *et al.*, 2024).

As raízes históricas do feijão-caupi, em termos de origem e domesticação, são rastreadas até a África, onde serviu como um alimento básico por séculos (Panzeri *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2024). O feijão-caupi no Brasil tem os mais diversos nomes populares, que dependem das regiões do país. No Nordeste, por exemplo, é conhecido como feijão-de-estrada e feijão-da-colônia (Freire-Filho *et al.*, 2005). Devido à característica do cultivo em várzea, o feijão-caupi é popularmente chamado de feijão-de-praia no Amazonas. Nas regiões do estado da Bahia e Minas Gerais, é conhecido como feijão-gurutuba e feijão-catador. Nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro é chamado de feijão fradinho, por possuir a característica de ter um halo preto com um tegumento branco (Freire-Filho *et al.*, 2011).

No Brasil é cultivado predominantemente nas regiões Norte e Nordeste, onde possui grande importância econômica e social, por seu valor nutricional e rusticidade,

apesar de ter produtividade satisfatória em outras regiões, por conta de sua alta adaptabilidade às condições climáticas tropicais e subtropicais (Almeida *et al.*, 2017).

As principais características agrônômicas analisadas no feijão-caupi incluem: produtividade de grãos secos, peso de 100 grãos, comprimento da vagem, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. Essas características são essenciais para que as cultivares atendam às demandas de comerciantes e consumidores (Vieira, 2001). De acordo com Rocha *et al.* (2017) é importante saber as características de uma cultivar de feijão-caupi, como hábitos de crescimento, porte da planta, ciclo de maturação e tipos comerciais de grãos adequados, para suprir as exigências dos produtores e do mercado.

O feijão-caupi possui variações em seu ciclo produtivo, sendo classificada da seguinte forma: extra precoce, com maturidade aos 60 dias após a semeadura; precoce, entre 61 e 70 dias; médio-precoce, entre 71 e 80 dias; médio-tardio, entre 81 e 90 dias; e tardio, a partir de 91 dias após a semeadura (Freire-Filho *et al.*, 2011). A utilização de cultivares mais precoces é fundamental no cultivo irrigado, pois resulta em menor consumo de água e energia, já que a cultura permanece na área por um período mais curto (Bastos; Andrade Júnior; Nogueira, 2017). Os mesmos autores indicam que em grandes áreas, é recomendado o uso de duas ou mais cultivares de ciclos diferentes, o que diminui o risco de perdas e permite que a maturidade ocorra de forma escalonada, facilitando a colheita.

O número de vagens por planta é um dos principais fatores que impactam a produtividade de grãos, sendo bastante influenciado pelo ambiente (Dutra *et al.*, 2015). Contudo, observa-se que as diferenças no número de vagens podem estar ligadas às características específicas de cada cultivar (Locatelli, 2014). No processo de maturação, as sementes crescem em tamanho até alcançarem o tamanho conforme a variedade; entretanto, na mesma variedade existem variações individuais (Costa *et al.* 2006). Essas variações na dimensão das sementes dentro de uma espécie, é explicado pelas influências ambientais durante o desenvolvimento das sementes e a variabilidade genética, podendo variar no tamanho das sementes entre e dentro de plantas matrizes (Santos *et al.* 2009).

## **2.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi**

Cultivado globalmente em diversas zonas agroecológicas, o feijão-caupi é tolerante ao calor, à seca e à baixa fertilidade do solo, características que lhe permitem florescer em regiões com chuvas imprevisíveis e más condições agrícolas (Moreira *et al.*, 2023). A cultura desempenha um papel fundamental nos sistemas agrícolas

tradicionais, onde os grãos contribuem significativamente para a segurança alimentar das famílias e geração de renda (Sarr *et al.*, 2021). O consumo de feijão-caupi ajuda a combater a desnutrição e as deficiências de micronutrientes, particularmente em comunidades de baixa renda, onde o acesso a alimentos diversos é limitado (Silva *et al.*, 2018).

O feijão-caupi é um dos pilares da economia rural na África, tendo um papel importante na cultura comercial para pequenos agricultores da Nigéria, onde observa-se o seu potencial para impulsionar a transformação agrícola e a redução da pobreza (Nwagboso *et al.*, 2024). Esse impacto econômico é evidente, pois os produtores de feijão-caupi no norte da Nigéria relataram melhorias significativas na segurança alimentar e na renda das famílias (Manda *et al.*, 2020). A renda gerada pelo cultivo do feijão-caupi permite que as famílias rurais invistam em outros aspectos de seus meios de subsistência, como educação e saúde, contribuindo ainda mais para o alívio da pobreza (Kebede; Bekeko, 2020).

O início da exportação da cultura do feijão-caupi no Brasil ocorreu em 2007, somente para o Canadá, Portugal, Israel, Egito, Turquia e Índia, e nesse sentido foi compreendido que existe um mercado muito maior para a cultura ser comercializada (Freire-Filho *et al.*, 2005).

A ininterrupta diminuição da área cultivada para o feijão-caupi nos países asiáticos, preterido pelo milho, em conjunto com os problemas climáticos (chuva em excesso, por exemplo) durante a safra, são algumas adversidades que a Índia e outros países asiáticos, que são produtores de feijão-caupi, estão passando nos últimos anos, o que acaba por colaborar para o aumento das exportações brasileiras (Freire-Filho *et al.*, 2011).

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi está concentrado nas regiões Norte e Nordeste, basicamente como cultura de subsistência, no entanto, seu manejo foi expandido para outras regiões do país (Centro-Oeste, Sul e Sudeste), por conta do desenvolvimento na tecnificação dos cultivos (Amaral *et al.*, 2019), sendo produzido principalmente na entressafra de outras culturas (Rodrigues *et al.*, 2017).

O destaque fica para a região do Nordeste, que possui os três estados com maior área plantada, Ceará, Bahia e Piauí, com 337 mil ha, 222 mil hectares e 204 mil hectares respectivamente. Os maiores produtores, com 151 mil toneladas para o estado da Bahia, 96 mil toneladas para o Mato Grosso e 87 mil toneladas para o estado de Tocantins. No aspecto de produtividade, em kg/ha, os destaques são os estados de Goiás, Roraima, Tocantins e Mato Grosso, com 1.386, 1.212, 1.136 e 1.118 em quilos por hectare, respectivamente (CONAB, 2025).

Mesmo com a expressiva produção, verifica-se que o feijão-caupi ainda possui média baixa de produtividade. Devido aos solos de baixa fertilidade utilizados no cultivo e a irregularidade das precipitações pluviométricas; além da concentração da produção em produtores de pequenos e médios poder aquisitivo, onde eles não possuem acesso a melhores tecnologias (Silva *et al.*, 2019).

Por ser uma espécie adaptada e apresentar alta plasticidade às condições tropicais e subtropicais (Singh, 2006), o feijão-caupi tem um grande potencial produtivo para todas as regiões do país. Assim, o feijão-caupi tem sua produção em franca expansão para outras regiões do país, onde é cultivado na forma de safrinha por médios e grandes produtores, de base empresarial, com o uso da mesma tecnologia empregada no cultivo da soja (Freire-Filho, 2017).

Devido às pesquisas e estudos voltados para o desenvolvimento de cultivares para manejo mecanizado, a região Centro-Oeste foi atraída pela cultura. Por conta dessas tecnologias, os plantios estão em constante ampliação para áreas extensas, tornando o Brasil um dos países maiores consumidores e produtores mundiais do feijão-caupi (Amaral *et al.*, 2019). Grandes produtores, que possuem maior poder monetário e acesso às tecnologias, o que tem favorecido para o desenvolvimento da cultura nas regiões Centro-Oeste e Sudeste para o cultivo no outono e inverno (Castelletti; Costa, 2013). No entanto, ainda grande parte da produção do feijão-caupi é advinda da agricultura familiar, sendo um setor primordial para desenvolvimento e perpetuação da cultura, principalmente de variedades locais.

Apesar de seu potencial, a produção de feijão-caupi enfrenta vários desafios, incluindo estresses bióticos e abióticos, baixa produtividade e acesso limitado a sementes de alta qualidade (Nwagboso *et al.*, 2024).

### **2.3 Qualidade de sementes**

O conceito atual de qualidade de sementes é multifacetado e abrange um conjunto de atributos que determinam o potencial de um lote de sementes para originar plantas saudáveis e altamente produtivas em condições variadas de campo. A qualidade da semente tem um profundo efeito no desenvolvimento e rendimento de uma cultura; sementes de boa qualidade podem aumentar significativamente o rendimento (Rahman; Cho, 2016).

A qualidade da semente é definida como o somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a capacidade de originar plantas de alta produtividade (Rocha *et al.*, 2017; Schmidt *et al.*, 2023). A qualidade genética garante que a semente carregue as características desejadas da cultivar, a semente

deve pertencer genuinamente a cultivar que está sendo comercializada. A qualidade física refere-se à pureza e ao estado físico do lote, incluindo a ausência de impurezas como resíduos de outras culturas, fragmentos de solo, pedras, e sementes de plantas daninhas. A qualidade fisiológica está relacionada à germinação e vigor das sementes, refere-se ao desempenho vital da semente. A qualidade sanitária diz respeito à ausência de patógenos (doenças) e pragas, o lote de sementes deve estar livre ou com baixos níveis de fungos, bactérias, vírus ou insetos que podem ser transmitidos para o campo (Brasil, 2009; Carvalho; Nakagawa, 2012; Marcos-Filho, 2015b; Peske; Villela; Meneghello, 2019).

A qualidade genética envolve diversos fatores de campo e de pesquisa, a seleção de características de importância agrônômica envolve, resistência a condições climáticas adversas, adaptação a diferentes tipos de solos, aumento de produtividade, resistência ou tolerância a pragas e doenças e sementes com ampliação de seus componentes nutricionais (Santos; Baldoni, 2018). A falta de pureza genética compromete a uniformidade da lavoura e a resposta às práticas de manejo, afetando diretamente o potencial produtivo (Peske; Villela; Meneghello, 2019). Bem como, a alta pureza genética é importante para que a cultivar possa expressar suas características de qualidade agrônômica (Krzyzanowski *et al.*, 2008). A qualidade genética de um lote de sementes é avaliada pelos testes de análise de pureza, verificação de outras cultivares e determinação de outras sementes por número (Brasil, 2025).

O feijão-caupi é uma cultura de grande variabilidade genética, inclusive para características dos grãos. A enorme variedade de cores, formas e tamanhos deles resulta em variedades que podem atender à diferentes mercados (Rocha; Silva; Menezes-Júnior, 2017).

A qualidade física é caracterizada pelo grau de umidade, tamanho, cor, densidade, aparência, danos mecânicos e danos causados por insetos e infecções por doenças. Além disso, aspectos como o tamanho e a uniformidade das sementes também fazem parte dessa avaliação (Ferreira; Sá, 2010; Schmidt *et al.*, 2023). A pureza de um lote de sementes é determinada pela proporção de componentes físicos presentes nos lotes, tais como, sementes puras, sementes silvestres, outras sementes cultivadas e materiais inertes (Peske; Villela; Meneghello, 2019; Brasil, 2025). Um lote de sementes com alta pureza física é um indicativo que o campo de produção foi bem conduzido e que a colheita e o beneficiamento foram eficientes (Peske, Villela, Meneghello, 2019). Por outro lado, um lote com baixa qualidade física tem o potencial de prejudicar a produtividade, pois durante as etapas de colheita e beneficiamento

podem ocorrer danos mecânicos, com isso, se faz primordial uma colheita e beneficiamento adequados (Santos, 2018).

O grau de umidade em que a semente foi colhida também pode influenciar na qualidade física, sementes colhidas com teor de umidade acima de 13% podem ser mais susceptíveis a danos mecânicos, lesões e danos à epiderme; estes danos também interferem no metabolismo das sementes, deixando-as com características visuais depreciadas, pois a aparência faz parte da qualidade física, o visual pode interferir na aceitação do produto (Santos; Baldoni, 2018). O dano mecânico é indicado como um dos grandes problemas da produção de sementes, desde a colheita até o transporte (Peske; Villela; Meneghello, 2019). A qualidade física de um lote de sementes é analisada pelo grau de umidade, grau de pureza, determinação de outras sementes por número, peso de mil sementes, exame de sementes infestadas e teste de raio X (Brasil, 2025).

No feijão-caupi cultivado em pequenas propriedades, o processo de debulha é realizado por batedura; visto que o feijão-caupi é tradicionalmente colhido manualmente, vagem por vagem e, por ocasião da batedura, podem apresentar altos índices de danos mecânicos (Barros *et al.*, 2021). Os autores ainda comentam que o impacto da batida, provoca rachaduras no tegumento, favorecendo a entrada de microrganismos, nem sempre provocando a morte, mas, frequentemente, reduzindo o vigor das plântulas. Outro problema detectado na produção de sementes de feijão-caupi de variedades tradicionais que causa baixa qualidade das sementes, é o grau de umidade durante o armazenamento das sementes, devido ao inadequado processo de secagem (Silva *et al.*, 2019).

A qualidade fisiológica é um dos aspectos mais importantes na determinação do desempenho das sementes no campo. Esse atributo abrange a capacidade de germinação e o vigor, que influenciam diretamente a uniformidade e o estabelecimento inicial das plantas (Carvalho; Nakagawa, 2012; Marcos-Filho, 2015b; Peske; Villela; Meneghello, 2019). A capacidade de germinação e a viabilidade das sementes são afetadas pelas condições ambientais durante seu desenvolvimento, pelos níveis de maturidade no momento da colheita e pelas condições de armazenamento (Elmasry *et al.*, 2019).

De acordo com Lanferdini *et al.* (2017), a performance fisiológica das sementes é afetada por fatores diversos, dentre eles o armazenamento e a qualidade inicial do lote. O armazenamento é uma prática básica na manutenção da qualidade fisiológica das sementes e um método pelo qual a viabilidade das sementes pode ser preservada e seu vigor mantido em um nível razoável durante o período entre o plantio e a colheita

(Gebeyehu, 2020). É importante destacar que a qualidade das sementes não pode ser aprimorada durante o armazenamento, mas pode ser mantida quando as condições que favorecem a conservação (Oliveira *et al.*, 2016; Melo *et al.*, 2023). Portanto, o período de armazenamento das sementes é o fator mais importante que afeta a qualidade das sementes (Gebeyehu, 2020). O aumento do período de armazenamento das sementes, associado a alterações bioquímicas na fisiologia das sementes, como a auto-oxidação dos lipídios e o aumento do teor de ácidos graxos livres, o que leva a uma deterioração rápida, são os principais fatores na diminuição da qualidade das sementes (Marcos-Filho, 2015b; Ramya; Kulkarni; Deepthi, 2018).

A presença de danos mecânicos nas sementes influencia no potencial fisiológico e na incidência de patógenos (Carvalho; Nakagawa, 2012; Peske, Villela, Meneghello, 2019). Os danos imediatos são caracterizados na observação de tegumentos quebrados de fácil observação; os latentes, apresentam lesões microscópicas e/ou danos internos no embrião, onde reduz o vigor, o potencial de armazenamento e o desempenho da semente no campo (Lopes *et al.*, 2011). O teor de água é outro fator de extrema relevância na qualidade fisiológica, onde sementes com elevado grau de umidade manifestam grande atividade respiratória e demais processos metabólicos, ocasionando um consumo antecipado de reservas e colaborando para o avanço na deterioração da semente (Marcos-Filho, 2015b; Oba *et al.*, 2016).

O nível da qualidade fisiológica da semente, pode ser avaliado por meio de dois parâmetros fundamentais, a viabilidade e vigor. A viabilidade é avaliada principalmente pelo teste de germinação que é conduzido sob condições favoráveis de umidade, temperatura e substrato, permitindo expressar o potencial máximo da semente para produzir plântulas normais. Os testes de vigor avaliam o potencial de germinação das sementes e o rápido desenvolvimento de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente (Peske; Villela; Meneghello, 2019; Rossetti; Tunes; Aumonde, 2023; Brasil, 2025).

Em relação as sementes de feijão-caupi, o armazenamento de determinadas variedades por 30 e 60 dias impacta a variabilidade do comprimento do hipocótilo, assim como o peso seco do caule e o peso seco da raiz da plântula (Adie *et al.*, 2021). Umidade relativa superior a 65% e temperaturas acima de 25 °C tornam as condições em depósitos abertos inadequadas para o armazenamento de curto prazo (9 meses) (Ngombo *et al.*, 2021). Porém, o armazenamento de sementes em condições controladas de temperatura e umidade relativa possibilita que elas sejam preservadas por longos períodos (Aghamir, 2016), podendo ser armazenadas com sucesso por até sete anos em condições de baixa temperatura e umidade relativa, sem perda

significativa de viabilidade ou do potencial de rendimento da cultura (Adetumbi; Silva; Alamu, 2011).

O atributo sanitário é essencial para manter a qualidade da semente no armazenamento, bem como a sanidade da lavoura (Melo *et al.*, 2023). Para fortalecer a avaliação da qualidade de sementes, foi determinado o teste de sanidade, com o intuito de estabelecer o grau de incidência de microrganismos e insetos que causam doenças e danos às sementes, onde são propícias para provocar perdas na produtividade (Brasil, 2009; Talamini *et al.*, 2011).

Sementes de baixa qualidade sanitária podem ser a principal porta de entrada e dispersão de doenças em uma nova área, causando grandes perdas de rendimento. Ao contrário, sementes com alta qualidade sanitária minimizam os riscos de introdução de doenças e pragas na lavoura, protegendo o potencial produtivo (Carvalho & Nakagawa; Peske; Villela; Meneghello, 2019). A semente é um bom veículo para distribuição e disseminação de patógenos, os quais podem, às vezes, causar surtos de doenças nas plantas, pois pequenas quantidades de inóculo na semente podem ter uma grande significância epidemiológica (Peske *et al.* 2019).

A avaliação sanitária viabiliza a identificação de potenciais problemas com patógenos, durante as fases de campo e de armazenamento (Almeida, 2013). O teste possibilita evitar a entrada de patógenos em áreas limpas e impedir futuros cenários de surgimento de doenças no campo, além de adicionar nos testes fisiológicos. A avaliação sanitária é realizada por meio de testes específicos, que detectam a presença de agentes patogênicos. Esses testes incluem análises de incubação e inspeções visuais em laboratório, permitindo identificar infecções ainda em estágio inicial (Peske *et al.* 2019).

Sementes de feijão-caupi tratadas com a combinação certa de fungicida e inseticida proporcionam efeito estimulante sobre o desempenho das sementes (Oliveira *et al.*, 2015). As sementes “salvas” (parte dos grãos da produção que são utilizados como sementes para o próximo plantio) de feijão-caupi são inadequadas para semeadura e/ou comercialização, pois se constituem em agentes potencialmente disseminadores de pragas e patógenos (Silva *et al.* 2016).

A evolução dos diversos atributos de qualidade de sementes no Brasil, principalmente nos últimos 35 anos, é fruto da utilização pelo setor produtivo das técnicas de produção e análise de sementes, desenvolvidas pela pesquisa pública e privada (Rossetti; Tunes; Aumonde, 2023). A qualidade da semente é avaliada por diferentes usuários finais, como agricultores e indústrias. De acordo com Sarma (2024), ao realizar testes de sementes, agricultores, produtores de sementes e pesquisadores

podem tomar decisões informadas sobre a seleção, o armazenamento e as práticas de plantio de sementes, maximizando assim o rendimento da colheita, mantendo a consistência no desempenho da colheita e salvaguardando a produtividade agrícola.

Issac *et al.* (2016) observaram que os agricultores nos países em desenvolvimento, ainda armazenam sementes em condições ambientais por longos períodos, o que tem demonstrado afetar a qualidade das sementes em geral e a germinação em particular. Um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores ao cultivar *Vigna unguiculata* é a baixa qualidade das sementes, uma vez que muitos produtores multiplicam e armazenam suas próprias sementes entre os ciclos agrícolas (Smiderle *et al.*, 2017), o que pode levar a uma maior deterioração dos lotes de sementes antes da semeadura efetiva.

## **2.4 Vigor de sementes**

Definir o vigor da semente com precisão sempre foi um desafio. O termo vigor de sementes foi usado pela primeira vez em 1876 por Nobbe; desde então, os cientistas de sementes têm se aprofundado constantemente para explorar todas as possibilidades que esse conceito pode oferecer (Sarma, 2018). O vigor da semente é a soma das propriedades que determinam a atividade e o desempenho de lotes de sementes com germinação aceitável em uma ampla gama de ambientes (ISTA, 2022).

Os atributos potenciais do vigor das sementes como uma característica fisiológica fundamental das sementes e sua associação com o estabelecimento no campo e a produtividade das culturas, foram reconhecidos mundialmente a partir da década de 1960 (Marcos-Filho, 2015a). De acordo com o autor, isso levou à diversificação de abordagens de pesquisa envolvendo diferentes características fisiológicas e eventos que determinam o potencial para alto desempenho durante o armazenamento das sementes e após a semeadura.

O vigor das sementes é um aspecto importante da qualidade das sementes, pois trata-se de uma característica quantitativa responsável pelo desempenho geral das sementes em termos de taxa e uniformidade de germinação, crescimento das plântulas, capacidade de emergência em ambientes desfavoráveis e desempenho pós-armazenamento (Basu & Groot, 2023). O vigor da semente, uma característica agrônômica complexa que inclui longevidade, velocidade de germinação, crescimento da plântula e tolerância ao estresse inicial, determina a duração e o sucesso desse período de estabelecimento (Reed; Bradford; Khanday, 2022).

A realização de testes de vigor para verificar a qualidade fisiológica das sementes vem sendo amplamente expandida nos últimos anos, muito por conta da

objetividade e rapidez que se obtém as respostas, sendo de forma segura e eficiente quanto à qualidade fisiológica, em cada lote de semente (Nunes *et al.*, 2017). O vigor das sementes é controlado por fatores genéticos, qualidade inicial das sementes, ambientes de produção, condições de colheita e armazenamento e, os testes de vigor das sementes fornecem um índice mais sensível do desempenho das sementes em si do que o teste de germinação (Basu; Groot, 2023).

Uma prioridade para os envolvidos no controle de qualidade de lotes de sementes é a pesquisa sobre quais testes de vigor e métodos de avaliação são mais eficazes para determinadas espécies de plantas (Marcos-Filho, 2015a). Os testes devem ser realizados no maior número de lotes possíveis, com o intuito de aumentar a validade na representação e a confiabilidade dos resultados (Marcos-Filho, 2015b).

De acordo com Basu e Groot (2023), os testes aplicados para avaliar o vigor das sementes, podem ser agrupados com base em atributos físicos, fisiológicos e bioquímicos. Testes físicos: baseados na densidade da semente; tamanho da semente; cor da semente; tamanho e imagem do embrião. Testes de desempenho: baseados em parâmetros mensuráveis de germinação, como taxa de germinação; emergência da radícula; e índices de vigor (IV) baseados no crescimento da plântula e germinação. Testes de estresse: baseados na germinação da semente após a submissão a uma condição definida de estresse, como baixa temperatura; alta temperatura combinada com alta umidade ou umidade da semente; ou uma combinação de múltiplos estresses. Parâmetros fisiológicos e bioquímicos: baseados na permeabilidade das membranas celulares; alterações nas funções respiratórias; enzimas respiratórias chave.

Os testes de vigor internacionalmente validados e recomendados são: teste de condutividade para *Cicer arietinum*, *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, *Pisum sativum* e *Raphanus sativus*; teste de envelhecimento acelerado para *Glycine max*; teste de deterioração controlada para *Brassica* spp.; teste de emergência da radícula para *Zea mays*, *Brassica napus*, *Raphanus sativus*, *Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*; e teste de vigor com tetrazólio para *Glycine max* (ISTA, 2022).

Os fatores que afetam o vigor das sementes são: maturação da semente; ambiente; tamanho da semente; reservas da semente; efeito posicional; danos na casca e embebição da semente; envelhecimento e armazenamento de sementes; processamento de sementes; tratamento físico e sanitário e; variação genética (Marcos-Filho, 2015; Basu; Groot, 2023).

Por meio de teste de vigor foi possível detectar cultivares brasileiras de feijão-caupi tolerantes ao estresse salino (Sá *et al.*, 2016). Silva *et al.* (2019) avaliaram através de testes de vigor, sementes “salvas” (parte da produção de grãos) de feijão-caupi

produzidas por pequenos produtores do semiárido brasileiro e, constataram que a prática é inviável por se tratar de sementes de baixa qualidade física e fisiológica. Portanto, a rápida detecção do vigor das sementes de feijão-caupi é fundamental para prevenir a perda de qualidade das sementes, o que pode resultar em perdas comerciais, além de facilitar a semeadura (Rego *et al.*, 2021).

## **2.5 Análise de sementes por imagem**

A qualidade das sementes é de grande importância na otimização do custo de estabelecimento da cultura. Métodos rápidos e não destrutivos de detecção da qualidade das sementes devem, portanto, ser desenvolvidos para a agricultura e a indústria de produção de sementes (Rahman; Cho, 2016).

A avaliação do potencial fisiológico das sementes é tradicionalmente feita por meio de testes de germinação e vigor, que têm limitações, como o fato de serem destrutivos, demorados e envolverem interpretações subjetivas (Elmasry *et al.*, 2019). Assim, métodos automatizados, não invasivos e de alto rendimento são essenciais para que a indústria de sementes possa compreender e otimizar o processo de produção, além de selecionar sementes de alto vigor para os agricultores antes da semeadura (Xia *et al.*, 2019).

Métodos de determinação da qualidade de sementes de última geração envolvendo imagens de sementes combinadas com inteligência artificial, fornece resultados precisos na inspeção rápida da qualidade de sementes. Esses avanços da tecnologia, melhoram significativamente os testes de sementes e contribuem para o avanço da segurança alimentar global (Singh *et al.*, 2025).

O surgimento de novas técnicas que auxiliam na avaliação da qualidade física de sementes é fundamental para o alcance de lotes de sementes mais uniformes e com maior pureza. Além disso, por meio de análises de imagem e do uso de um software, é possível obter rapidamente resultados relacionados à área, circularidade, comprimento, largura, perímetro, cor do tegumento, entre outros (Venora *et al.*, 2007; Abud *et al.*, 2022), de forma otimizada.

Nos últimos anos, a análise computacional de imagens de plântulas tem se tornado uma ferramenta cada vez mais utilizada para avaliar o desempenho das sementes. Essas técnicas proporcionam uma avaliação rápida das plântulas, resultados confiáveis e a possibilidade de armazenar e consultar um banco de dados de imagens quando necessário (Gomes-Junior, 2020). Por isso, estão sendo realizadas pesquisas sobre métodos alternativos para avaliar o vigor das sementes, visando comparar sua eficiência com os testes tradicionais, sendo um exemplo a avaliação automatizada do

vigor, como a análise de imagens de plântulas, que se mostra uma alternativa viável e promissora (Castan; Gomes-Junior; Marcos-Filho, 2018). Os resultados obtidos por meio do uso de imagens são comparáveis aos de outros testes tradicionais, o que torna essa abordagem viável para avaliar o vigor das sementes.

O software Vigor-S® é um sistema desenvolvido em colaboração entre a Embrapa Instrumentação e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP/ESALQ), ambas localizadas em São Paulo. O programa possibilita a determinação do índice de vigor e do comprimento das plântulas com alta rapidez e precisão (Silva *et al.*, 2023). Uma vantagem desse sistema é a eliminação de possíveis erros humanos, o que aumenta a confiabilidade e possibilita a comparação da imagem com outras imagens posteriormente (Rodrigues; Gomes-Junior; Marcos-Filho, 2020).

A análise automatizada de imagens, utilizando o Vigor-S®, possibilita a diferenciação entre lotes de feijão-caupi, com base no comprimento das plântulas, além dos índices de vigor e uniformidade de crescimento (Rego *et al.*, 2021). Entre os diversos softwares disponíveis no mercado, destaca-se o Vigor-S®, que é gratuito, fácil de usar e acessível. O Vigor-S® estabelece parâmetros como o comprimento de plântula, o índice de crescimento, o índice de uniformidade e o índice de vigor.

A análise computacional de imagens de plântulas de feijão-caupi, realizada com o software Vigor-S®, demonstrou ser eficaz em comparação com os testes tradicionais para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, podendo ser utilizada para essa finalidade (Silva *et al.*, 2023).

Na análise de sementes utilizando imagens radiográficas digitais, a semente é exposta a uma fonte de raios X, que é parcialmente atenuada devido à sua densidade, criando uma área de cor cinza claro na imagem (Crocker; Thamburaj; Nagar, 2014). O objetivo fundamental do método é ser rápido e não destrutivo para diferenciação entre sementes cheias, vazias, fisicamente danificadas (seja por insetos ou não) através das características morfológicas evidenciadas na radiografia (Brasil, 2025).

Dentro do dispositivo, os raios X atravessam uma semente, a absorção da radiação varia de acordo com a densidade, a espessura e a composição dos tecidos (Carvalho; Carvalho; Davide, 2009). A qualidade de incidência dos raios X é determinada pela quilovoltagem (kV) do equipamento e pelo tempo de exposição, sendo crucial para a diferenciação das estruturas internas (Silva & Nascimento, 2010), embora já tenha aparelhos que otimizam esse protocolo.

A radiografia convencional (2D) gera uma projeção bidimensional da semente, diferente da baseada na reconstrução matemática de múltiplas projeções radiológicas

obtidas de diversos ângulos, que é a micro-TC, que gera um modelo tridimensional da semente (Garcia *et al.*, 2018).

A adoção da metodologia de raio X traz uma série de vantagens estratégicas que a distinguem dos métodos tradicionais, onde a principal é o seu caráter não destrutivo, ao contrário do teste de germinação, que consome a amostra (Nassif & Cicero, 2006). Essa metodologia possui grande utilidade devido a sua capacidade de identificar danos internos com precisão e rapidez, sendo fundamental para o diagnóstico de sementes com baixo potencial fisiológico (Zacharias *et al.*, 2024).

Com base nesse comportamento, é possível avaliar o grau de formação da semente e identificar eventuais danos internos. Uma característica morfológica a ser considerada é a área embrionária, que é determinada pelo grau de desenvolvimento do embrião e pela quantidade de espaço vazio na cavidade interna da semente (Marcos-Filho *et al.*, 2010). Assim, num cenário em que a sementes possua danos internos, o Raio-X é capaz de visualizar a integridade do embrião e qualquer outro tipo de alteração que a semente possa apresentar (Forti; Cicero; Pinto, 2008).

Danos internos em sementes de feijão-caupi, detectados por meio de imagens radiográficas, podem impactar a germinação dependendo de sua localização e intensidade. Além disso, a medição computacional do espaço vazio dentro da semente permite estabelecer uma relação com a germinação (Rego *et al.*, 2023).

Com isso, existe a oportunidade de visualização e estudos de estruturas internas das sementes pela técnica não destrutiva, possibilitando avaliar a qualidade física das sementes, quanto à visualização de ataque de pragas, más-formações, rupturas no tegumento e sementes vazias (Forti; Cicero; Pinto, 2010).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a qualidade fisiológica de três lotes de sementes de três variedades locais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) por métodos convencionais e de imagem.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar os lotes das variedades sob os aspectos morfométricos e físicos das sementes.
- b) Avaliar a qualidade dos lotes de sementes das variedades, conforme recomendação para a espécie.
- c) Analisar os aspectos físicos das plântulas, utilizando a técnica de análise de imagens por meio do software Vigor-S, para determinar o vigor de cada lote das variedades.
- d) Estabelecer relação entre parâmetros físicos das sementes, por imagem de Raio X, com o potencial germinativo de cada lote em cada variedade.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Procedência das sementes

As variedades locais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha, foram obtidas em pequenas amostras diretamente dos agricultores da Comunidade Nossa Senhora das Graças, no município de Manacapuru-AM, em 2022 (Figura 1).

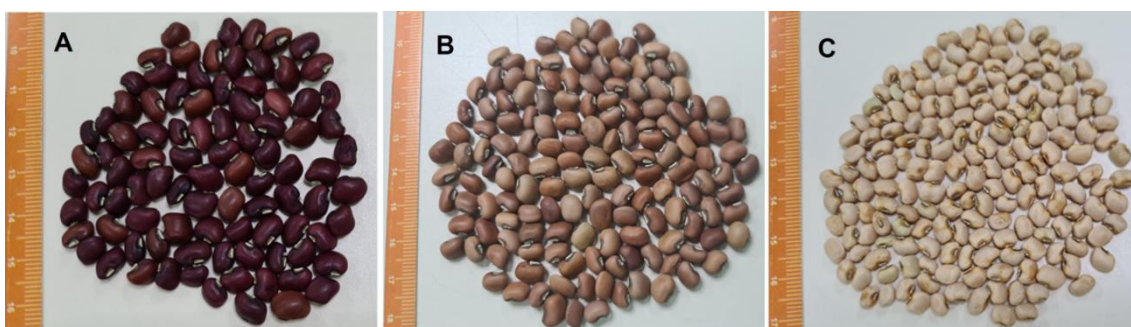


**Figura 1.** Amostras de sementes de variedades locais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A – Fígado-de-galinha. B – Filipinho. C – Manteiguinha. Manaus, 2025.  
Fonte: Mendes (2023).

As sementes das variedades adquiridas foram reproduzidas em Manaus-AM, nos anos de 2023, 2024 e 2025. Todos os lotes formados nos diferentes anos, foram armazenados em câmara fria (15 °C) no Laboratório de Tecnologia de Sementes da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas (FCA/UFAM).

### 4.2 Características morfométricas e físicas das sementes

A caracterização morfométrica das sementes de feijão-caupi das variedades Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha foi realizada no Centro de Sementes Nativas do Amazonas da FCA/UFAM, utilizando um Scanner digital GroundEye®, equipado ao Software (Tbit, Brasil) (Figura 2).

Em cada lote, 100 sementes foram distribuídas aleatoriamente na bandeja do scanner para captura das imagens (Figura 2-A). Antes da digitalização, foram realizados ajustes no Software para estabelecer um padrão de captura ideal para as sementes. Esses ajustes incluíram a definição do contorno dos pixels, bem como a calibração de brilho, contraste e saturação, seguindo o padrão de cores RGB (Red, Green e Blue). Após os parâmetros definidos, as sementes foram digitalizadas e mensuradas

individualmente pelo software (Figura 2-B), nas dimensões de largura (mm), comprimento (mm) e área (mm<sup>2</sup>).



**Figura 2.** Metodologia da análise morfométrica das sementes de três variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A – Disposição das sementes no Scanner digital GroundEye®. B – Marcação e contagem das sementes pelo Software do equipamento. C – Relatório dos dados emitido pelo software do equipamento. Manaus, 2025.

O relatório gerado pelo equipamento (Figura 2-C) forneceu automaticamente a estatística descritiva para cada parâmetro, incluindo valores mínimos, máximos, média e desvio-padrão.

Para a mensuração do peso de mil sementes no Scanner, cada amostra de 100 sementes dos diferentes lotes foi pesada em balança analítica de precisão 0,001 g. O software integra o valor da massa com os dados morfométricos de cada semente para determinar o peso de mil sementes.

O grau de umidade foi determinado pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas, com duas subamostras de 5,0 g de sementes. A porcentagem de umidade de cada lote foi calculada na base do peso úmido, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\% \text{ de Umidade (U)} = \frac{100 \cdot (P - p)}{P - t}$$

**P:** peso inicial, peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente úmida;

**p:** peso final, peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente seca;

**t:** tara, peso do recipiente com sua tampa.

#### 4. 3 Análise fisiológica das sementes

A qualidade fisiológica das sementes de cada lote, foi avaliada conforme prescrito nas Regras para Análise de Sementes para *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Brasil, 2025).

Desse modo, foram utilizadas 400 sementes, separadas em oito repetições de 50, que foram distribuídas em rolos de papel de germinação; umedecido com água em quantidade correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos com as sementes foram mantidos em câmara de germinação a temperatura constante de 25 °C.

As avaliações ocorreram no quinto dia e oitavo dia após a semeadura, correspondendo à primeira e à contagem final de germinação. Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais, plântulas anormais, sementes mortas e sementes duras. O cálculo da porcentagem de germinação foi baseado na combinação das repetições, ajustando para quatro repetições de 100 sementes.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3, três variedades e três lotes (ano de produção), com quatro repetições de 100 sementes.

#### 4. 4 Avaliação do potencial fisiológico das sementes pelo Vigor-S

O potencial fisiológico das sementes foi avaliado por meio da análise automatizada de plântulas - Software Vigor-S® (Figura 3), que é um sistema livre desenvolvido pela Embrapa Instrumentação em parceria com a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP/ESALQ). A aquisição de imagens das plântulas foi feita por meio da câmera de um aparelho celular.

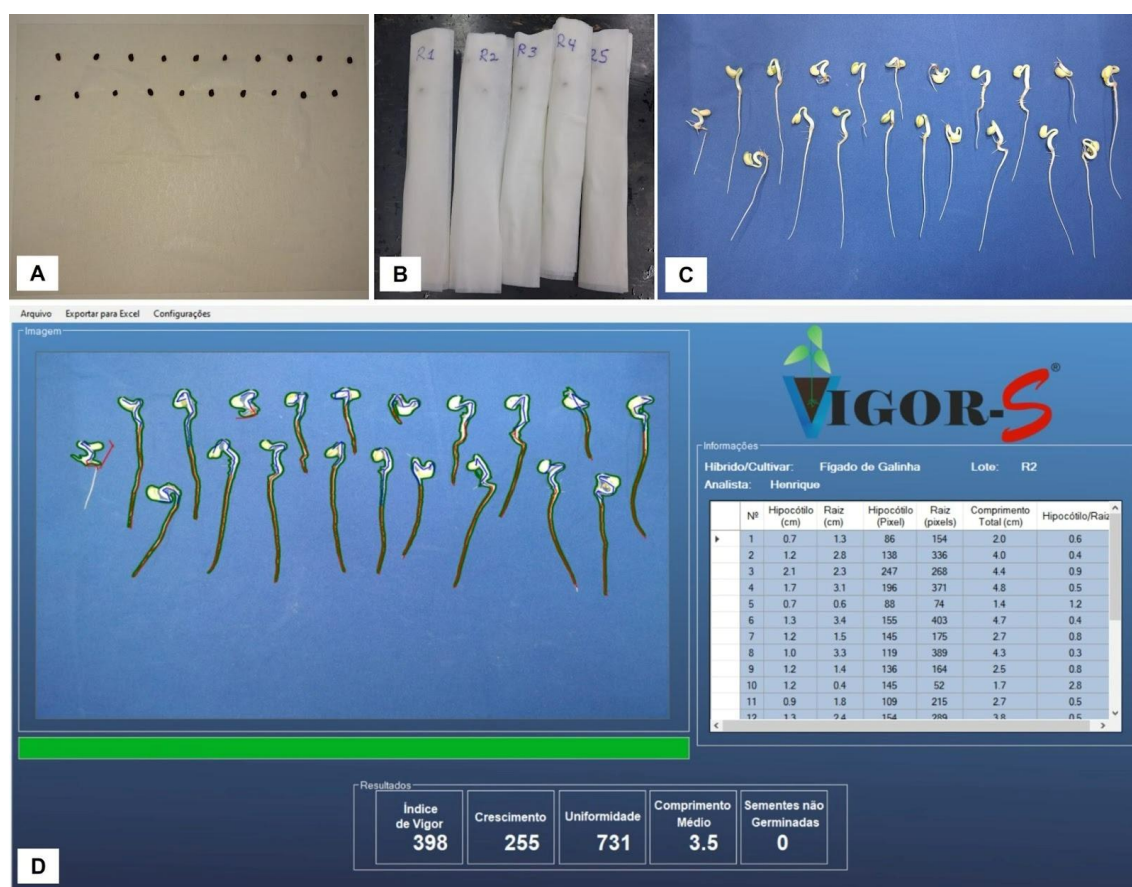


**Figura 3.** Metodologia para análise do vigor das sementes de três variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), por meio do Software Vigor-S. A – Disposição das sementes no papel germitest. B – Disposição dos rolos na câmara de germinação. C – Captura das imagens das plântulas. D – Leitura no software Vigor-S. Manaus, 2025.

Foram utilizadas cinco repetições de vinte sementes para cada lote, distribuídas em duas fileiras no terço superior sobre duas folhas de papel de germinação e cobertas com uma terceira folha. O substrato foi umedecido com água na proporção de 2,5 vezes o peso do próprio substrato. Em seguida, os rolos de papel de germinação foram acondicionados em germinador mantido a 25 °C, em ambiente escuro (Gomes-Junior, 2020).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3, sendo três variedades de feijão-caupi e três lotes (ano de produção), com cinco repetições de 20 sementes.

Após três dias da semeadura foram capturadas as imagens das plântulas de cada repetição, para posterior leitura no Sistema Vigor-S. No software, antes da análise das imagens, na aba 'Contribuição nos Cálculos', foram aplicadas as seguintes configurações: em 'Cálculo do Vigor', o valor de crescimento foi de 70% e para uniformidade, 30%; para 'Cálculo do Crescimento', os valores do hipocótilo e da raiz primária foram fixados em 10% e 90%, respectivamente (Rego *et al.*, 2021; Rodrigues; Gomes-Junior; Marcos-Filho, 2020).

O valor do vigor foi determinado pelos valores de crescimento e uniformidade de cada repetição. O valor do crescimento foi calculado conforme o tamanho do hipocótilo e da raiz primária de cada plântula da repetição. O valor de uniformidade foi determinado pelo tamanho médio de todas as plântulas da repetição, pelo desvio padrão da relação hipocótilo/raiz primária e pela quantidade de sementes não germinadas da repetição.

As imagens foram processadas pelo Software Vigor-S, em um intervalo de 0 a 1000 para a determinação dos valores de vigor, crescimento e uniformidade de desenvolvimento. Também, foram calculados os valores médios de comprimento das plântulas e registraram-se as sementes não germinadas. Posteriormente, os dados foram exportados para uma planilha Excel para posterior análise.

#### **4.5 Avaliação da relação das características físicas e o potencial germinativo das sementes**

A avaliação da condição física das sementes dos lotes de feijão-caupi foi realizada por meio de radiografia digital utilizando o equipamento KUBTEC XPERT 80 (Figura 4-A).

As 100 sementes de cada lote avaliado no Scanner foram empregadas para obtenção da biometria. Para tanto, as sementes foram organizadas em cinco repetições contendo 20 sementes cada (Figura 4-B). Para garantir a estabilidade e a padronização durante a aquisição das imagens, as sementes foram fixadas em papel dupla-face com uma base de papel plastificado (Figura 4-B). Esses materiais não interferem na qualidade da imagem capturadas do Raio-X e ajudam no manuseio do material. As amostras foram então posicionadas na base de observação do equipamento, no segundo nível da plataforma, centralizada em 2x.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 3, três variedades e três lotes (ano de produção), com cinco repetições de 20 sementes.

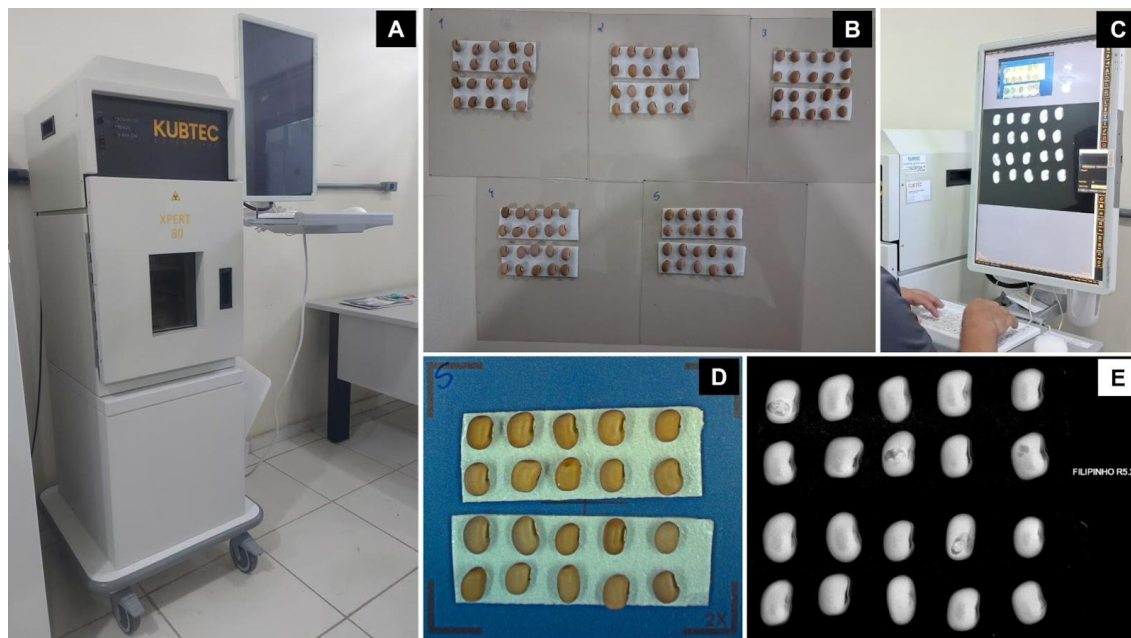


**Figura 4.** Metodologia para aquisição de imagens radiográficas das sementes de três variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A – Equipamento de Raio-X. B – Disposição das sementes por repetição de cada tratamento. C – Ajustes e registros da aquisição das imagens. D – Imagem RGB. E – Imagem Raio-X. Manaus, 2025.

O equipamento capturou imagens em RGB (cores) (Figura 4-D) e Raio-X (Figura 4-E), facilitando a comparação e a posterior análise das sementes. As imagens das sementes radiográficas, foram posteriormente comparadas com as imagens das plântulas emergidas.

A interpretação das imagens radiográficas de cada semente por repetição, foi avaliada pela escala de cinza e/ou pelo dano visível com atenção para a região próxima ao eixo embrionário. O dano por deterioração dos tecidos foi identificado pela presença de manchas escuras nos tecidos internos da semente. Este padrão de escurecimento ocorre porque a deterioração reduz a densidade do tecido, facilitando a passagem dos feixes do raio-X. Dessa forma, qualquer alteração na escala de cinza da área examinada, em comparação com o padrão tecidual da semente íntegra, foi classificada como "dano presente".

Após a captura das imagens radiográficas, as sementes de cada repetição foram colocadas para germinar na mesma posição. Para o processo de germinação foi utilizado a mesma metodologia para avaliar o Vigor-S (Figura 3-A, B e C). Assim, foi

possível identificar danos físicos nas sementes e conferir a possível relação entre a integridade estrutural das sementes, com a formação de plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas.

#### **4.6 Análise estatística**

A análise estatística, exceto a morfometria, foi realizada com o uso do software RStudio, através dos pacotes 'data.table', 'rstudioapi' e 'easynova', para a análise em fatorial. O teste de germinação e os parâmetros do Vigor-S, tiveram os valores médios comparados pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Características morfológicas e físicas das sementes

A partir da análise estatística descritiva, pode-se observar nas Tabelas 1, 2 e 3, as características biométricas e físicas de três lotes das variedades locais Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

As maiores médias para as dimensões das sementes de Fígado-de-galinha pertencem ao lote de 2025; com média de 7,17 mm, 5,24 mm, 30,44 mm<sup>2</sup> para comprimento, largura e área, respectivamente (Tabela 1). Além disso, este lote, mesmo com o grau de umidade (GU) menor que 10%, apresentou o maior valor de peso de mil sementes, 190,4 g.

O lote que apresentou a maior variação de tamanho da variedade Fígado -de-galinha, foi o de 2023, para todas as das características biométricas avaliadas (Tabela 1). Sendo que a característica de maior amplitude de variação foi a área, com valor mínimo de 18,0 mm<sup>2</sup> e o máximo de 46,0 mm<sup>2</sup>, demonstrando ser o lote com menor uniformidade, em relação ao tamanho da semente.

**Tabela 1.** Características biométricas e físicas de sementes de três lotes (2023, 2024, 2025) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade Fígado-de-galinha (FG). Comprimento, Largura, área, GU = Grau de Umidade e PMS\* = Peso de Mil Sementes ajustado a 12% de umidade. Min = Mínimo. Max = Máximo. Manaus, 2025.

| Lotes  | Características  |             |              |             |                         |               |        |          |
|--------|------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------|--------|----------|
|        | Comprimento (mm) |             | Largura (mm) |             | Área (mm <sup>2</sup> ) |               | GU (%) | PMS* (g) |
|        | Média            | Min – Max   | Média        | Min – Max   | Média                   | Min – Max     | Média  | Média    |
| FG2023 | 6,81             | 5,92 - 8,59 | 4,94         | 3,68 - 6,64 | 27,06                   | 18,00 - 46,00 | 8,6    | 182,9    |
| FG2024 | 7,12             | 5,88 - 8,16 | 5,05         | 4,10 - 5,88 | 28,69                   | 20,00 - 37,00 | 10,1   | 175,6    |
| FG2025 | 7,17             | 6,16 - 8,33 | 5,24         | 4,14 - 6,27 | 30,44                   | 21,00 - 37,00 | 9,8    | 190,4    |

Na Tabela 2 pode-se observar que para a variedade Filipinho, as maiores médias para as dimensões das sementes foi apresentado no lote de 2024; com média de 7,70 mm, 5,41 mm, 33,97 mm<sup>2</sup> para comprimento, largura e área, respectivamente. E o peso de mil sementes foi de 177,0 g. O lote que apresentou a maior variação de tamanho, exceto para comprimento, para essa variedade, foi o mesmo que apresentou as maiores

sementes, ou seja, o lote de 2024. Além disso, o lote 2023 foi o que apresentou as menores dimensões para todas as características avaliadas.

O lote de Filipinho que demonstrou maior uniformidade em relação às dimensões das sementes, foi o lote de 2025 por apresentar as menores amplitudes entre o valor mínimo e o máximo das características mensuradas, exceto para largura (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características biométricas e físicas de sementes de três lotes (2023, 2024, 2025) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade Filipinho (FL). GU = Grau de Umidade. PMS\* = Peso de Mil Sementes ajustado a 12% de umidade. Min = Mínimo. Max = Máximo. Manaus, 2025.

| Lotes  | Características  |             |              |             |                         |               |        |          |
|--------|------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------|--------|----------|
|        | Comprimento (mm) |             | Largura (mm) |             | Área (mm <sup>2</sup> ) |               | GU (%) | PMS* (g) |
|        | Média            | Min – Max   | Média        | Min – Max   | Média                   | Min – Max     | Média  | Média    |
| FL2023 | 7,19             | 6,06 - 9,02 | 5,16         | 4,57 - 6,22 | 30,21                   | 22,0 - 45,00  | 8,7    | 175,7    |
| FL2024 | 7,70             | 6,53 - 9,02 | 5,41         | 4,38 - 6,74 | 33,97                   | 24,00 - 48,00 | 10,0   | 177,0    |
| FL2025 | 7,34             | 6,45 - 8,49 | 5,24         | 4,54 - 6,22 | 31,44                   | 25,00 - 40,00 | 9,8    | 169,6    |

Para a variedade Manteiguinha, observa-se na Tabela 3 que o lote de 2024, também apresentou as maiores médias para as dimensões das sementes; com 5,90 mm de comprimento, 4,63 mm de largura e 21,91 mm<sup>2</sup> de área. As sementes do lote de 2023 de Manteiguinha apresentaram o PMS de 94,7 g.

**Tabela 3.** Características biométricas e físicas de sementes de três lotes (2023, 2024, 2025) de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade Manteiguinha (MG). GU = Grau de Umidade. PMS = Peso de Mil Sementes ajustado a 12% de umidade. Min = Mínimo. Max = Máximo. Manaus, 2025.

| Lotes  | Características  |             |              |             |                         |               |        |          |
|--------|------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------------|---------------|--------|----------|
|        | Comprimento (mm) |             | Largura (mm) |             | Área (mm <sup>2</sup> ) |               | GU (%) | PMS* (g) |
|        | Média            | Min – Max   | Média        | Min – Max   | Média                   | Min – Max     | Média  | Média    |
| MG2023 | 5,68             | 4,70 - 6,84 | 4,43         | 3,52 - 5,31 | 20,30                   | 14,00 - 28,00 | 8,2    | 94,7     |
| MG2024 | 5,90             | 4,83 - 6,89 | 4,63         | 3,64 - 5,39 | 21,91                   | 16,00 - 29,00 | 10,6   | 86,9     |
| MG2025 | 5,79             | 4,97 - 7,19 | 4,27         | 3,52 - 4,93 | 18,85                   | 15,00 - 26,00 | 10,8   | 77,2     |

A variedade Manteiguinha foi que apresentou (Tabela 3), em comparação às outras variedades (Tabelas 1 e 2), maior uniformidade de tamanho das sementes, pois todos os lotes avaliados, apresentaram as menores amplitudes entre o valor mínimo e o máximo das características mensuradas.

Em relação à média de tamanho das sementes, Filipinho é ligeiramente maior que a Fígado-de-galinha. Manteiguinha, por sua vez, apresenta um tamanho de aproximadamente um terço menor em comparação com as outras analisadas. Por se tratar de variedades tradicionais, o nome popular pode diferenciar entre as localidades mantenedoras da variedade; além disso, o sistema de cultivo e a localidade podem influenciar nas dimensões das sementes. Estes fatores dificultam a definição da classe de tamanho, a que pertence cada variedade.

As sementes de Manteiguinha, avaliadas por Oliveira *et al.* (2015), o comprimento (5,0 a 5,5 mm) e o peso de mil sementes mensurado pelos autores (55,0 a 62 g) foram menores aos observados neste estudo, como pode ser observado na Tabela 3, para comprimento (5,7 e 5,9 mm) e peso de mil sementes (77,2 a 76,894,7 g). Os mesmos autores citados, concluíram que o genótipo e o sistema de cultivo influenciam nas dimensões das sementes. De acordo com Brasil (2025), o peso de mil sementes é uma característica de grande importância por ser bastante utilizada para cálculo de densidade de semeadura e pressupor a qualidade das sementes por meio da quantidade de reservas, estado de maturação e sanidade.

Conforme N'Danikou, Shango e Sigalla (2022), as características das sementes são variáveis quantitativas essenciais para avaliar a qualidade das sementes e são indicadores do sucesso da cultura. Nos estudos realizados por Araújo-Neto *et al.* (2014) e Nunes *et al.* (2016), que avaliam o desempenho germinativo de acordo com a classe de tamanho para a mesma variedade, demonstraram que o tamanho das sementes não influencia no desempenho germinativo do feijão-caupi. E Nunes *et al.* (2017) estudando outra variedade, concluíram que o tamanho das sementes influenciou significativamente a qualidade física e fisiológica do *Vigna unguiculata* cv. BRS Xique-Xique.

Pesquisas têm demonstrado que o tamanho das sementes de genótipos de leguminosas é influenciado pela composição genética e ligeiramente impactado pelo ambiente (Gunathilake; Herath; Wansapala, 2016; N'Danikou; Shango; Sigalla, 2022).

## 5.2 Aspectos da qualidade fisiológica das sementes

A análise fatorial entre as variedades de feijão-caupi e os lotes de sementes, demonstrou interação significativa para todas as variáveis avaliadas: plântulas normais, plântulas anormais, sementes mortas e sementes duras (Tabela 4). Isso evidencia a interdependência dos fatores variedade e lote (Tabela 5).

**Tabela 4.** Análise de variância para a qualidade fisiológica das sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em função das variedades e lotes. Manaus, 2025.

| Plântulas Normais  |    |         |         |         |                    |
|--------------------|----|---------|---------|---------|--------------------|
| Fonte de variação  | GL | SS      | QM      | Valor F | P                  |
| Variedade          | 2  | 528,67  | 264,33  | 15,51   | 0,0000327*         |
| Lote               | 2  | 3394,67 | 1697,33 | 99,62   | 0,000000000000344* |
| Variedade x Lote   | 4  | 346,67  | 86,67   | 5,08    | 0,003463*          |
| Resíduo            | 27 | 460,00  | 17,04   | -       | -                  |
| Plântulas Anormais |    |         |         |         |                    |
| Fonte de variação  | GL | SS      | QM      | Valor F | P                  |
| Variedade          | 2  | 74,89   | 37,44   | 9,81    | 0,000626*          |
| Lote               | 2  | 897,56  | 448,78  | 117,64  | 0,000000000000468* |
| Variedade x Lote   | 4  | 341,11  | 85,28   | 22,35   | 0,0000000308*      |
| Resíduo            | 27 | 103,00  | 3,85    | -       | -                  |
| Sementes Mortas    |    |         |         |         |                    |
| Fonte de variação  | GL | SS      | QM      | Valor F | P                  |
| Variedade          | 2  | 80,89   | 40,44   | 4,55    | 0,019818*          |
| Lote               | 2  | 1489,56 | 744,78  | 83,78   | 0,00000000000263*  |
| Variedade x Lote   | 4  | 216,44  | 54,11   | 6,08    | 0,00126*           |
| Resíduo            | 27 | 240,00  | 8,89    | -       | -                  |
| Sementes Duras     |    |         |         |         |                    |
| Fonte de variação  | GL | SS      | QM      | Valor F | P                  |
| Variedade          | 2  | 249,56  | 124,78  | 43,75   | 0,00000000338*     |
| Lote               | 2  | 220,22  | 110,11  | 38,61   | 0,0000000121*      |
| Variedade x Lote   | 4  | 323,11  | 80,78   | 28,32   | 0,00000000259*     |
| Resíduo            | 27 | 77,00   | 2,85    | -       | -                  |

\*Diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GL: Grau de liberdade. SS: Soma dos quadrados. QM: Quadrado médio.

Para plântulas normais, no Lote 2023, as variedades Fígado-de-galinha e Filipinho apresentaram os maiores valores (92,5% e 90,5%, respectivamente), sem diferirem entre si, enquanto Manteiguinha mostrou desempenho inferior (80,0%). No Lote 2024, não houve diferença significativa. Todas as variedades, apresentaram 90,0% de plântulas normais, demonstrando uniformidade e alta qualidade das sementes. O Lote 2025, embora os valores tenham sido menores, não houve diferenças estatísticas, demonstrando que a redução na germinação afetou igualmente as três variedades (Tabela 5).

**Tabela 5.** Características de germinação de três lotes de sementes, de três variedades locais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Manaus, 2025.

| Plântulas Normais (%)  |          |          |          |       |
|------------------------|----------|----------|----------|-------|
| VARIEDADES             | LOTES    |          |          | Média |
|                        | 2023     | 2024     | 2025     |       |
| Fígado-de-galinha      | 92,5 a A | 90,0 a A | 69,0 a B | 83,83 |
| Filipinho              | 90,5 a A | 90,0 a A | 76,0 a B | 85,50 |
| Manteiguinha           | 80,0 b B | 90,0 a A | 60,0 a C | 76,67 |
| Média                  | 87,67    | 90,00    | 68,33    | -     |
| CV (%)                 | 5,03     |          |          |       |
| Plântulas Anormais (%) |          |          |          |       |
| VARIEDADES             | LOTES    |          |          | Média |
|                        | 2023     | 2024     | 2025     |       |
| Fígado-de-galinha      | 1,0 b C  | 6,0 a B  | 18,5 a A | 8,50  |
| Filipinho              | 5,5 a AB | 3,0 ab B | 6,5 b A  | 5,00  |
| Manteiguinha           | 2,0 b B  | 1,0 b B  | 16,0 a A | 6,33  |
| Média                  | 2,83     | 3,33     | 13,67    | -     |
| CV (%)                 | 9,15     |          |          |       |
| Sementes Mortas (%)    |          |          |          |       |
| VARIEDADES             | LOTES    |          |          | Média |
|                        | 2023     | 2024     | 2025     |       |
| Fígado-de-galinha      | 5,5 a B  | 2,0 a B  | 12,5 b A | 6,67  |
| Filipinho              | 2,0 a B  | 6,0 a B  | 17,0 b A | 8,33  |
| Manteiguinha           | 2,0 a B  | 6,0 a B  | 23,0 a A | 10,33 |
| Média                  | 3,17     | 4,67     | 17,50    | -     |
| CV (%)                 | 14,45    |          |          |       |
| Sementes Duras (%)     |          |          |          |       |
| VARIEDADES             | LOTES    |          |          | Média |
|                        | 2023     | 2024     | 2025     |       |
| Fígado-de-galinha      | 1,0 b A  | 2,0 a A  | 0,0 a A  | 1,00  |
| Filipinho              | 2,0 b A  | 1,0 a A  | 0,5 a A  | 2,17  |
| Manteiguinha           | 16,0 a A | 3,0 a B  | 1,0 a B  | 6,67  |
| Média                  | 6,33     | 2,00     | 0,50     | -     |
| CV (%)                 | 15,11    |          |          |       |

Letras maiúsculas comparam os lotes dentro de cada variedade (horizontal), enquanto letras minúsculas comparam as variedades dentro de cada lote (vertical). CV: coeficiente de variação.

Na interação entre lotes dentro de cada variedade, Fígado-de-galinha e Filipinho apresentaram comportamento semelhante, com maiores porcentagens nos Lotes 2023 e 2024 e queda significativa no Lote 2025. Para Manteiguinha, houve maior variação entre lotes, com desempenho superior no Lote 2024 (90,0%), seguido do Lote 2023 (80,0%) e significativamente menor no Lote 2025 (60,0%). As médias gerais confirmam Filipinho como a variedade de melhor desempenho (85,50%), seguida por Fígado-de-galinha (83,83%), enquanto Manteiguinha apresentou o menor valor médio (76,67%). O Lote 2024 se destacou como o de melhor qualidade fisiológica (90,0%), ao passo que o Lote 2025 apresentou o pior desempenho geral (68,33%) (Tabela 5).

O teste de germinação indica a qualidade fisiológica das sementes, que pode ser definida como a capacidade da semente desempenhar funções vitais, caracterizada pela germinação, vigor e longevidade (Tejo *et al.*, 2021). O teste de germinação é o pilar

legalmente exigido para comercialização e semeadura (Peske; Villela; Meneghello, 2019). Os lotes de 2025 para todas as variedades não atingiram 80% de germinação, porcentagem essa, a mínima necessária para o requisito de comercialização de sementes S1 e S2 (sementes sem certificação, mas com origem comprovada) de feijão-caupi no Brasil (Brasil, 2013).

A variedade Filipinho apresentou o maior valor para a característica de plântulas anormais no Lote 2023 (5,5%), diferindo significativamente de Fígado-de-galinha (1,0%) e Manteiguinha (2,0%), que formaram o grupo de menor formação de plântulas anormais. No Lote 2024, as variedades mostraram comportamento mais uniforme, com valores próximos e sem diferença estatística entre Fígado-de-galinha (6,0%) e Filipinho (3,0%), enquanto Manteiguinha (1,0%) apresentou a menor porcentagem, mantendo-se estatisticamente semelhante a Filipinho. Já no Lote 2025, observou-se aumento significativo na ocorrência de plântulas anormais, especialmente para Fígado-de-galinha (18,5%) e Manteiguinha (16,0%), que não diferiram entre si e foram superiores a Filipinho (6,5%) (Tabela 5).

Na comparação entre lotes dentro de cada variedade, Fígado-de-galinha apresentou as menores médias de plântulas anormais no Lote 2023 (1,0%), aumentando gradativamente, nos Lotes 2024 (6,0%) e 2025 (18,5%), com diferenças significativas entre todos os lotes, mostrando a baixa qualidade do lote de 2025 para essa variedade. Filipinho demonstrou comportamento mais uniforme, com valores relativamente baixos, embora o Lote 2025 (6,5%) tenha apresentado a maior porcentagem de plântulas anormais, não diferindo estatisticamente do Lote 2024 (5,5%). Para Manteiguinha, foi verificado padrão semelhante ao de Fígado-de-galinha: baixa porcentagens de plântulas anormais nos Lotes 2023 (2,0%) e 2024 (1,0%), seguida de aumento significativo no Lote 2025 (16,0%). As médias gerais dos lotes reforçam esse comportamento, indicando baixa formação de plântulas anormais nos Lotes 2023 (2,83%) e 2024 (3,33%), contrastando com o aumento observado no Lote 2025 (13,67%) (Tabela 5).

A baixa porcentagem de germinação tem sido associada a sinais precoces de desorganização das membranas, enquanto a ocorrência de anormalidades de plântulas é atribuída à morte significativa de tecidos em diferentes partes de sementes, particularmente em tecidos meristemáticos (Marcos-Filho, 2015a). É importante enfatizar que a deterioração é um processo cujos eventos finais envolvem a formação de plântulas anormais e culmina com a morte das sementes (Delouche, 2002).

No parâmetro sementes mortas (Tabela 5), o Lote 2023 apresentou taxas relativamente baixas e não houve diferença estatística entre as variedades. Fígado-de-

galinha apresentou 5,5%, Filipinho e Manteiguinha ambos com 2,0%, indicando lotes semelhantes com pouca ocorrência de sementes não viáveis. Situação semelhante ocorreu no Lote 2024, em que Fígado-de-galinha apresentou 2,0% e Filipinho e Manteiguinha 6,0%, ainda assim sem diferenças significativas entre si, demonstrando que o Lote 2024, também apresentou boa qualidade fisiológica, independente da variedade. Entretanto, no Lote 2025 foi observado um aumento expressivo no percentual de sementes mortas, evidenciando pior desempenho geral entre os lotes. Nesse caso, Manteiguinha apresentou a maior taxa com 23,0%, diferindo significativamente das demais; Filipinho registrou 17,0% e Fígado-de-galinha 12,5%, sendo estes semelhantes entre si. A comparação entre lotes dentro de cada variedade confirma essa tendência: todas as variedades apresentaram menores percentuais de sementes mortas nos Lotes 2023 e 2024, diferindo significativamente dos valores mais elevados encontrados no Lote 2025, que se destacou como o lote de pior qualidade fisiológica. As médias gerais reforçam esse comportamento, com baixos valores para os Lotes 2023 (3,17%) e 2024 (4,67%) e aumento marcante no Lote 2025 (17,50%).

Em relação às sementes duras (Tabela 5), para o Lote 2023 foi observado maior discrepância entre as variedades; Manteiguinha apresentou taxa mais elevada (16,0%), diferindo estatisticamente de Fígado-de-galinha (1,0%) e Filipinho (2,0%), que apresentaram menor ocorrência de sementes duras. No Lote 2024, Fígado-de-galinha apresentou 2,0%, Filipinho 1,0% e Manteiguinha 3,0%, não diferindo estatisticamente, indicando maior uniformidade e reduzida expressão de sementes duras nesse lote. Já no Lote 2025, os valores foram ainda menores, com ausência de sementes duras na variedade Fígado-de-galinha (0,0%), Filipinho com 0,5% e Manteiguinha 1,0%, sem diferença significativa, destacando o Lote 2025 com poucas sementes com dormência física. Na comparação entre lotes dentro de cada variedade, Fígado-de-galinha e Filipinho mostraram comportamento semelhante, mantendo valores baixos em todos os lotes, sem diferenças estatísticas, o que indica menor propensão à formação de sementes duras. Por outro lado, Manteiguinha evidenciou influência ao efeito dos lotes, com porcentagem significativamente maior no Lote 2023 (16,0%), vale ressaltar que a alta taxa de sementes duras neste lote, refletiu na menor taxa de plântulas normais (Tabela 5), destacando-o como de menor qualidade para a variedade manteiguinha. As médias gerais por lote confirmam esse padrão, com maior ocorrência de sementes duras no Lote 2023, seguida por redução progressiva nos Lotes 2024 e 2025.

As sementes duras são aquelas que, ao final do período de avaliação do teste padrão de germinação não absorveram água, permaneceram firmes e intactas, não apresentando sinais de deterioração nem germinação (Brasil, 2025). Sementes duras

não representam inviabilidade da semente, são sementes vivas que, se submetidas a tratamentos de quebra de dormência, germinariam. No entanto, sua presença no teste padrão diminui o índice de germinação (plântulas normais). Para a comercialização de sementes, o critério de qualidade é o percentual de plântulas normais, o percentual de sementes duras é apenas um indicativo da viabilidade potencial.

Os lotes avaliados apresentaram desempenho diferentes. Fígado-de-galinha-2023, Filipinho-2023, Filipinho-2024 e Manteiguinha-2024 se destacaram pela alta porcentagem de plântulas normais e baixas taxas de plântulas anormais, sementes mortas e sementes duras. Manteiguinha-2025 e Fígado-de-galinha-2025, apresentaram menor qualidade, atribuídos ao aumento significativo nas porcentagens de plântulas anormais e sementes mortas. Manteiguinha-2023, embora tenha apresentado baixa qualidade, revelou um problema específico de sementes duras.

Este estudo coaduna com as pesquisas já realizadas com *V. unguiculata*, em que os lotes das três variedades tiveram comportamentos diferentes, entre tamanho da semente e à formação de plântulas normais. O lote de Fígado-de-galinha-2025, que apresentou as maiores dimensões, foi o de menor desempenho na formação de plântulas normais. Para o lote Filipinho-2024 com as sementes de maiores dimensões também foi a que apresentou a maior porcentagem de plântulas normais, não diferindo estatisticamente do lote Filipinho-2023; outro fato observado para Filipinho é que o lote 2025 apresentou o pior desempenho fisiológico de germinação. Os lotes de Manteiguinha se mostraram mais uniformes em relação ao tamanho das sementes, sendo que as sementes do lote 2024 foram um pouco maiores e a formação de plântulas normais, foi significativamente superior aos demais lotes.

O teste de germinação fornece informações sobre a porcentagem máxima de germinação de um lote, sendo necessária para uma rápida tomada de decisão, informações complementares utilizando testes de vigor (Rocha et al., 2015). Consequentemente, a avaliação do vigor por meio da análise do crescimento das plântulas constitui um método que gera indicadores mais confiáveis da qualidade das sementes (Leite et al., 2020).

### 5.3 Avaliação do vigor dos lotes de sementes

Embora a legislação exija o teste de germinação, ele não é suficiente para medir o vigor das sementes de uma cultura, por isso foi utilizado como metodologia de apoio, o Vigor-S (Figura 5).



**Figura 5.** Análise automatizada das três variedades de feijão-caupi no Vigor-S. A - Fígado-de-galinha. B - Filipinho. C - Manteiguinha. Manaus, 2025.

O software marcou as plântulas, determinou o crescimento total e a uniformidade para cada repetição, calculando os valores médios dos índices de vigor. A análise estatística indicou que para a interação variedade x lote é estatisticamente significativa para todos os parâmetros, exceto sementes não germinadas (Tabela 6). Os desdobramentos permitem detalhar esses efeitos (Tabela 7).

Na variável Vigor, o Lote 2023 não diferiu estatisticamente entre as três variedades, com valores de 358,8 a 436,0, evidenciando desempenho semelhante entre Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha. Situação semelhante foi observada no Lote 2024, em que novamente não houve diferenças entre variedades, todas apresentando valores de vigor entre 410,2 e 418,8. Contudo, no Lote 2025 verificou-se comportamento distinto: Fígado-de-galinha apresentou o maior valor (603,8), semelhante estatisticamente de Filipinho (520,4), enquanto Manteiguinha apresentou o menor vigor (277,6), diferindo significativamente das demais variedades (Tabela 7).

A interação entre lotes dentro de cada variedade reforça essas diferenças. Para Fígado-de-galinha, o Lote 2025 apresentou o maior vigor, diferindo de 2023 e 2024, que formaram um grupo estatisticamente inferior. Para Filipinho, também teve o Lote 2025 com o maior valor de vigor, diferindo estatisticamente de 2023 e 2024. Já Manteiguinha apresentou comportamento oposto, com vigor reduzido no Lote 2025 e valores mais elevados nos Lotes 2023 e 2024, que não diferiram entre si (Tabela 7).

Rego *et al.* (2021) analisaram diferentes lotes de sementes de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba e alcançaram um intervalo de 448-597 para o parâmetro de Vigor. A variedade local que mais se aproximou desses valores foi a Fígado-de-galinha, com

um intervalo de 380-604 para esse parâmetro. Valores que evidenciam o potencial germinativo das variedades locais deste estudo, perante um cultivar advinda de melhoramento.

**Tabela 6.** Análise de variância para as variáveis do Vigor-S das sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em função das variedades e lotes. Manaus, 2025.

| <b>Vigor</b>             |    |        |        |         |                    |
|--------------------------|----|--------|--------|---------|--------------------|
| <b>Fonte de variação</b> | GL | SS     | QM     | Valor F | P                  |
| Variedade                | 2  | 127151 | 63575  | 12,46   | 0,0000770*         |
| Lote                     | 2  | 45684  | 22842  | 4,47    | 0,018331*          |
| Variedade x Lote         | 4  | 176217 | 44054  | 8,63    | 0,0000540*         |
| Resíduo                  | 36 | 183625 | 5101   | -       | -                  |
| <b>Crescimento</b>       |    |        |        |         |                    |
| <b>Fonte de variação</b> | GL | SS     | QM     | Valor F | P                  |
| Variedade                | 2  | 188531 | 94265  | 14,53   | 0,0000236*         |
| Lote                     | 2  | 453408 | 226704 | 34,95   | 0,00000000368*     |
| Variedade x Lote         | 4  | 222118 | 55529  | 8,56    | 0,0000582*         |
| Resíduo                  | 36 | 233528 | 6487   | -       | -                  |
| <b>Uniformidade</b>      |    |        |        |         |                    |
| <b>Fonte de variação</b> | GL | SS     | QM     | Valor F | P                  |
| Variedade                | 2  | 56982  | 28491  | 4,94    | 0,012666*          |
| Lote                     | 2  | 770351 | 385176 | 66,84   | 0,000000000000758* |
| Variedade x Lote         | 4  | 118845 | 29711  | 5,15    | 0,002175*          |
| Resíduo                  | 36 | 207434 | 5762   | -       | -                  |
| <b>Comprimento Total</b> |    |        |        |         |                    |
| <b>Fonte de variação</b> | GL | SS     | QM     | Valor F | P                  |
| Variedade                | 2  | 27,27  | 13.63  | 14,00   | 0,0000318*         |
| Lote                     | 2  | 95,25  | 47.62  | 48,90   | 0,0000000000545*   |
| Variedade x Lote         | 4  | 26,06  | 6.52   | 6,69    | 0,000392*          |
| Resíduo                  | 36 | 35,06  | 0.97   | -       | -                  |
| <b>Não Germinadas</b>    |    |        |        |         |                    |
| <b>Fonte de variação</b> | GL | SS     | QM     | Valor F | P                  |
| Variedade                | 2  | 10,18  | 5,09   | 4,28    | 0,021493*          |
| Lote                     | 2  | 175,24 | 87,62  | 73,70   | 0,000000000000187* |
| Variedade x Lote         | 4  | 6,36   | 1,59   | 1,33    | 0,275279           |
| Resíduo                  | 36 | 42,80  | 1,19   | -       | -                  |

\*Diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. GL: Grau de liberdade. SS: Soma dos quadrados. QM: Quadrado médio.

A Universidade Estadual de Ohio, EUA, determina uma escala de classificação de vigor de sementes de acordo com o software SVIS®, que serve de base para o onde o Vigor-S®. Segundo essa escala, um índice de 800 a 1000 representa vigor excepcional; 600 a 799, vigor alto; 400 a 599, bom vigor; e 200 a 399, baixo vigor (Marcos-Filho; Kikuti; Lima, 2009). Assim, apenas o lote Fígado-de-galinha-2025 (603.8) teria a classificação de Vigor como ‘alto’. A maioria dos outros lotes são classificadas com o valor do Vigor em bom ou baixo.

**Tabela 7.** Variáveis do Vigor-S de três lotes de sementes de três variedades locais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Manaus, 2025.

| <b>Vigor</b>             |           |           |           |         |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| VARIEDADES               | LOTES     |           |           | Média   |
|                          | 2023      | 2024      | 2025      |         |
| Fígado de Galinha        | 379,8 a B | 410,2 a B | 603,8 a A | 464,60  |
| Filipinho                | 436,0 a A | 418,8 a A | 520,4 a A | 458,40  |
| Manteiguinha             | 358,8 a A | 410,2 a A | 277,6 b B | 348,87  |
| Média                    | 391,53    | 413,07    | 467,27    | -       |
| CV (%)                   | 16,84     |           |           |         |
| <b>Crescimento</b>       |           |           |           |         |
| VARIEDADES               | LOTES     |           |           | Média   |
|                          | 2023      | 2024      | 2025      |         |
| Fígado de Galinha        | 239,2 a B | 274,8 a B | 621,4 a A | 378,47  |
| Filipinho                | 267,4 a B | 253,6 a B | 521,0 a A | 347,33  |
| Manteiguinha             | 208,2 a B | 240,2 a B | 236,4 b B | 228,27  |
| Média                    | 238,27    | 256,20    | 459,60    | -       |
| CV (%)                   | 25,32     |           |           |         |
| <b>Uniformidade</b>      |           |           |           |         |
| VARIEDADES               | LOTES     |           |           | Média   |
|                          | 2023      | 2024      | 2025      |         |
| Fígado de Galinha        | 707,8 b A | 726,6 a A | 572,8 a B | 669,07  |
| Filipinho                | 829,6 a A | 804,0 a A | 518,0 a B | 717,20  |
| Manteiguinha             | 710,4 b A | 807,2 a A | 373,0 b B | 630,20  |
| Média                    | 749,27    | 779,27    | 487,93    | -       |
| CV (%)                   | 11,29     |           |           |         |
| <b>Comprimento Total</b> |           |           |           |         |
| VARIEDADES               | LOTES     |           |           | Média   |
|                          | 2023      | 2024      | 2025      |         |
| Fígado de Galinha        | 3,24 a B  | 3,50 a B  | 8,12 a A  | 4,95    |
| Filipinho                | 3,40 a B  | 3,24 a B  | 6,90 a A  | 4,51    |
| Manteiguinha             | 2,64 a B  | 3,00 a B  | 3,74 b B  | 3,13    |
| Média                    | 3,09      | 3,24      | 6,25      | -       |
| CV (%)                   | 23,50     |           |           |         |
| <b>Não Germinadas</b>    |           |           |           |         |
| VARIEDADES               | LOTES     |           |           | Média   |
|                          | 2023      | 2024      | 2025      |         |
| Fígado de Galinha        | 0,0       | 0,0       | 3,4       | 1,13 b  |
| Filipinho                | 0,2       | 0,0       | 4,2       | 1,47 ab |
| Manteiguinha             | 1,2       | 0,0       | 5,6       | 2,27 a  |
| Média                    | 0,47 b    | 0,00 b    | 4,40 a    | -       |
| CV                       | 27,21     |           |           |         |

Letras maiúsculas comparam os lotes dentro de cada variedade (horizontal), enquanto letras minúsculas comparam as variedades dentro de cada lote (vertical). CV: coeficiente de variação.

Na variável Crescimento, para o Lote 2023, as três variedades não diferiram estatisticamente, com valores variando entre 208,2 e 267,4, indicando desempenho semelhante entre Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha. Situação parecida ocorreu no Lote 2024, no qual novamente não houve diferença entre variedades, e os valores permaneceram dentro de uma faixa relativamente estreita, entre 240,2 e 274,8. Entretanto, no Lote 2025 observou-se comportamento contrastante; Fígado-de-galinha

apresentou o maior crescimento (621,4), estatisticamente semelhante a Filipinho (521,0), enquanto Manteiguinha registrou o menor valor (236,4), diferindo significativamente das demais variedades. Isso demonstra que o Lote 2025 favoreceu expressivamente o crescimento das plântulas das variedades Fígado-de-galinha e Filipinho, mas não proporcionou a mesma resposta para Manteiguinha (Tabela 7).

A interação entre lotes dentro de cada variedade reforça esse padrão. Para Fígado-de-galinha e Filipinho, o Lote 2025 apresentou valores de crescimento superiores aos registrados nos Lotes 2023 e 2024, indicando, para este parâmetro, que o lote de 2025 apresentou o melhor desempenho. A variedade Manteiguinha apresentou comportamento semelhante entre os três lotes, sem diferenças estatísticas e com valores consistentemente mais baixos, sugerindo menor capacidade de resposta ao ambiente ou à qualidade fisiológica das sementes do lote 2025 (Tabela 7). A análise do Vigor-S indica que sementes que apresentam plântulas com um maior comprimento total (hipocótilo e radícula), tiveram um valor de Crescimento maior, e por consequência, alcançaram um valor de Vigor maior.

A variável Uniformidade, no Lote 2023, a variedade Filipinho apresentou a maior uniformidade (829,6), diferindo significativamente de Fígado-de-galinha (707,8) e Manteiguinha (710,4), que formaram um grupo estatisticamente inferior. No Lote 2024, observou-se comportamento distinto: Filipinho e Manteiguinha apresentaram os maiores valores (804,0 e 807,2, respectivamente), sem diferir entre si, e Fígado-de-galinha embora com menor valor (726,6), também se manteve estatisticamente semelhante as demais variedades. No Lote 2025, todos os valores diminuíram de forma expressiva, evidenciando pior uniformidade geral das plântulas. Ainda assim, foi verificada diferença entre Fígado-de-galinha (572,8) e Manteiguinha (373,0), com a primeira mantendo desempenho superior, embora ambas não diferir estatisticamente de Filipinho (518,0), que ficou em posição intermediária (Tabela 7). Esses resultados indicam que o Lote 2025 comprometeu o padrão de desenvolvimento das plântulas independentemente da variedade, mas com maior impacto sobre Manteiguinha.

Na interação entre lotes dentro de cada variedade, Fígado-de-galinha e Filipinho apresentaram comportamento semelhante, com maiores valores nos Lotes 2023 e 2024, estatisticamente superiores ao Lote 2025, que se destacou como o pior em uniformidade. Para Manteiguinha, o padrão foi ainda mais evidente: os Lotes 2023 e 2024 apresentaram alto desempenho e não diferiram entre si, enquanto o Lote 2025 resultou em uniformidade significativamente menor (Tabela 7).

Nesse parâmetro, Rego *et al.* (2021) trabalharam com lotes de sementes de feijão-caupi da cultivar BRS Guariba e atingiram um intervalo de 617-778. Esse mesmo

trabalho esclarece que uma alta uniformidade de um lote de sementes não assegura a obtenção de plântulas de alta qualidade, pois plântulas mal desenvolvidas, podem apresentar um elevado grau de uniformidade. A variedade que mais se aproximou desses valores foi a Filipinho, com um intervalo de 518-830 para esse parâmetro. Assim sendo, a taxa de uniformidade deve ser interpretada em conjunto com outros parâmetros e não como um indicador primário da qualidade do lote.

A análise da variável Comprimento Total das Plântulas evidenciou que no Lote 2023 não houve diferença estatística entre as variedades, com valores próximos e relativamente baixos, variando de 2,64 a 3,40. O mesmo comportamento foi observado no Lote 2024, no qual novamente as três variedades apresentaram comprimentos semelhantes, entre 3,00 e 3,50, evidenciando o mesmo desempenho nesses dois lotes. No Lote 2025 ocorreu um contraste entre as variedades. Fígado-de-galinha apresentou o maior comprimento (8,12), seguido por Filipinho (6,90), ambos estatisticamente superiores aos de Manteiguinha, que registrou o menor valor (3,74) (Tabela 7). Isso demonstra que no Lote 2025 o crescimento das plântulas foi melhor para as variedades Fígado-de-galinha e Filipinho, mas não proporcionou a mesma resposta para Manteiguinha.

A interação entre lotes dentro de cada variedade para a variável Comprimento Total da Plântulas, reforça essa tendência, onde Fígado-de-galinha e Filipinho, do Lote 2025 apresentaram valores superiores aos dos Lotes 2023 e 2024, que foram estatisticamente semelhantes entre si, indicando forte influência da qualidade ou condição fisiológica do Lote 2025 sobre o desenvolvimento das plântulas. Manteiguinha apresentou comportamento semelhante entre os três lotes, sem diferença estatística, com comprimentos menores que os das demais variedades (Tabela 7), sugerindo menor potencial de crescimento inicial.

Em relação a variável sementes não germinadas, não houve interação significativa entre variedades e lotes, indicando que o comportamento observado resulta de efeitos principais independentes. Dessa forma, as diferenças devem ser interpretadas separadamente para variedades e para lotes (Tabela 7).

Na comparação entre variedades, Manteiguinha apresentou a maior porcentagem média de sementes não germinadas (2,27%), diferindo significativamente de Fígado-de-galinha (1,13%), que registrou o menor valor. Filipinho apresentou média intermediária (1,47%), não diferindo estatisticamente de Manteiguinha nem de Fígado-de-galinha. Esses resultados sugerem que Manteiguinha possui maior tendência a apresentar sementes não viáveis, enquanto Fígado-de-galinha apresenta melhor desempenho germinativo. A comparação entre lotes, demonstra que o Lote 2025

apresentou a maior porcentagem média de Sementes Não Germinadas (4,40%), diferindo estatisticamente dos Lotes 2023 (0,47%) e 2024 (0,0%), que formaram um grupo de melhor desempenho (Tabela 7). Esses resultados indicam que o Lote 2025 apresentou sementes de menor qualidade fisiológica, independente da variedade.

Os resultados da análise do Vigor-S, quando comparado com o teste padrão de germinação, observa-se dois lotes com os maiores valores de Vigor, Fígado-de-Galinha-2025 e Filipinho-2025, que possuem uma germinação inferior a 80% (69% e 76% de germinação, respectivamente). Quando observamos os lotes de 2023 e 2024 dessas variedades, todos possuem uma germinação de no mínimo 90%, o que poderia ser um indicativo de maior vigor desses lotes, mas rebatido pela análise do Vigor-S.

O teste de germinação padrão baseia-se nas plântulas classificadas como normais para determinar a germinação de cada lote (Brasil, 2025). A metodologia do Vigor-S não distingue plântulas normais e anormais para a determinação do parâmetro de crescimento total das plântulas, onde o parâmetro Crescimento é o elemento com maior peso para o Vigor. Adicionalmente, as sementes mortas e duras, consideradas no teste de germinação, são categorizadas pelo software como Sementes Não Germinadas, exercendo influência sobre o parâmetro de Uniformidade, que tem uma contribuição menos significativa na determinação do Vigor. Isso indica que, embora os lotes de Fígado-de-galinha-2025 e Filipinho-2025 possuem o menor número de sementes viáveis, as plântulas provenientes são mais desenvolvidas, com maior comprimento médio. Esse resultado sugere que as sementes dos lotes de Fígado-de-galinha-2025 e Filipinho-2025 apresentam melhor desempenho fisiológico individual, possivelmente devido a maior integridade fisiológica das sementes viáveis. A divergência observada entre o teste de germinação padrão e a análise de vigor através de imagens, destaca a importância da avaliação conjunta de ambos os parâmetros para uma caracterização mais precisa da qualidade fisiológica das sementes.

Os lotes Fígado-de-galinha-2024, Filipinho-2023, Filipinho-2024 e Manteguinha-2024 são classificados com Vigor 'bom', que seria a faixa intermediária da classificação. Estes lotes destacaram-se pela alta uniformidade, atribuída à ausência de sementes não germinadas e à baixa amplitude de variação nos valores de comprimento das plântulas. Contudo, o baixo comprimento médio das plântulas nesses lotes resultou um valor reduzido para o parâmetro de crescimento, o que, conseqüentemente, limita o valor final do parâmetro de vigor. Os testes de vigor baseados no desempenho das plântulas, estão relacionados ao fato de que as sementes mais vigorosas originam plântulas mais desenvolvidas, traduzindo a eficiência da ação dos mecanismos de

reparo, a mobilização de reservas e a síntese de novos tecidos durante a germinação (Henning *et al.*, 2010).

A análise de imagem com o software Vigor-S surge como uma ferramenta importante, pois permite uma avaliação mais precisa do vigor em relação à contagem normal de plântulas, além de reduzir o período necessário para a avaliação (Leite *et al.*, 2020). Testes de vigor utilizando a medição da raiz primária foi relatado como um dos mais sensíveis para detectar diferenças entre lotes de sementes de diferentes espécies (Pego *et al.*, 2011). A utilização de testes de vigor para a avaliação do desempenho de plântulas fundamenta-se no princípio de que sementes com alto vigor têm maior capacidade de gerar plântulas mais vigorosas. Assim, se demonstra a eficácia de mecanismos como o reparo celular, a mobilização de reservas e a síntese de novos tecidos durante a germinação (Marcos-Filho, 2015a).

Na mesma metodologia de análise automatizada via Vigor-S, outros autores conseguiram determinar o vigor e o potencial germinativo de outras sementes, como feijão comum (Medeiros *et al.*, 2019), melão (Leite *et al.*, 2020), soja (Rodrigues *et al.*, 2020) e milho (Castan; Gomes-Junior; Marcos-Filho, 2018). Foi verificado que o uso de variedades não interferiu no padrão de resposta das sementes ao sistema Vigor-S. Assim, se respeitando o princípio de que a padronização de um teste de vigor deve priorizar procedimentos cujos resultados não sejam significativamente afetados pelo genótipo (Marcos-Filho, 2015b).

Esta pesquisa coaduna com a literatura que o teste de vigor é extremamente importante para evidenciar a qualidade de diferentes lotes de sementes, que nem sempre pode ser evidenciado pelo teste padrão de germinação. O teste padrão de germinação apontou para a variedade Fígado-de-galinha, do lote de 2025, como uma das piores no teste de germinação (porcentagem de plântulas normais), enquanto o teste de vigor (Vigor-S) indicou esse lote como um dos melhores em Vigor.

#### **5.4 Análise radiográfica**

A análise radiográfica permitiu identificar as sementes que possuíam mancha aparente, com diferença na sua escala de cinza. Das 76 sementes identificadas com manchas pelo seu tecido, 20 apresentaram na região do eixo-embrionário (26,31%). Os lotes Fígado-de-galinha-2025, Filipinho-2023 e Filipinho-2025 apresentaram taxa superior a 10% de sementes com manchas presentes na sua estrutura física (Figura 6).

Considerando a germinação das sementes com manchas, essas apresentaram 56% de porcentagem de plântulas normais, 36% de plântulas anormais e 8% de sementes mortas (Figura 7). Esses resultados demonstram que a ocorrência de

manchas escuras nas sementes, não implica necessariamente um comprometimento da germinação, uma vez que o desempenho da semente é regido por fatores intrínsecos ao dano, como o local da ocorrência, sua extensão e sua profundidade no tecido da semente.

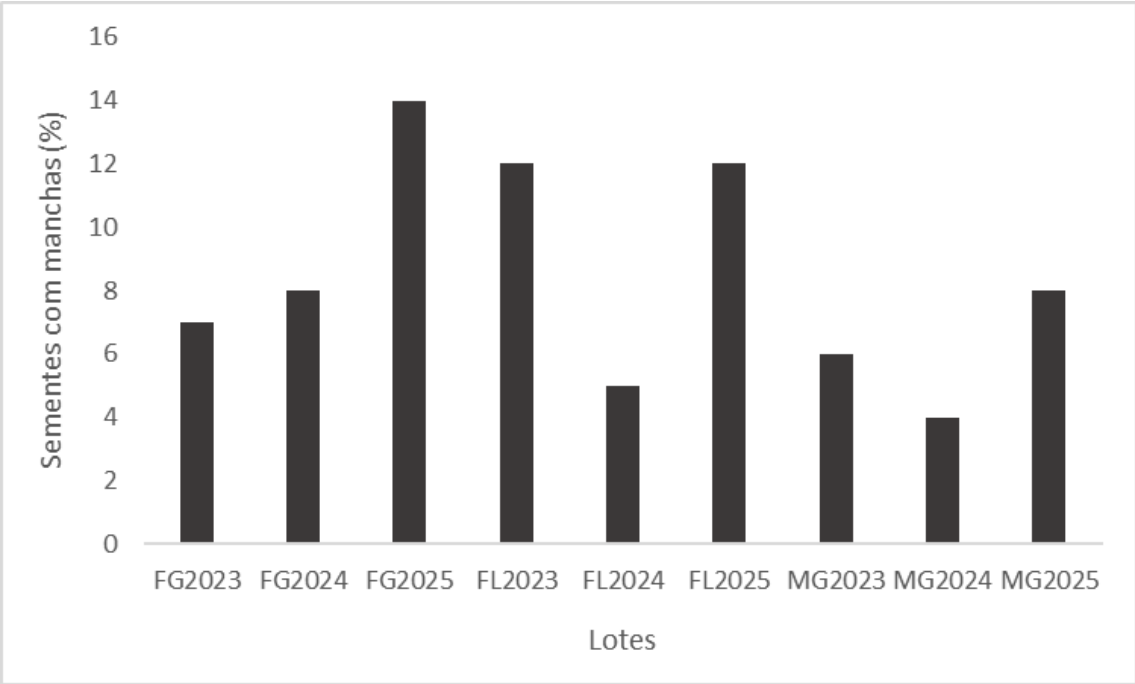


**Figura 6.** Sementes com presença de manchas por lotes, capturadas por imagem de raio X nas sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedades Fígado-de-galinha (FG), Filipinho (FL) e Manteiguinha (MG). Manaus, 2025.

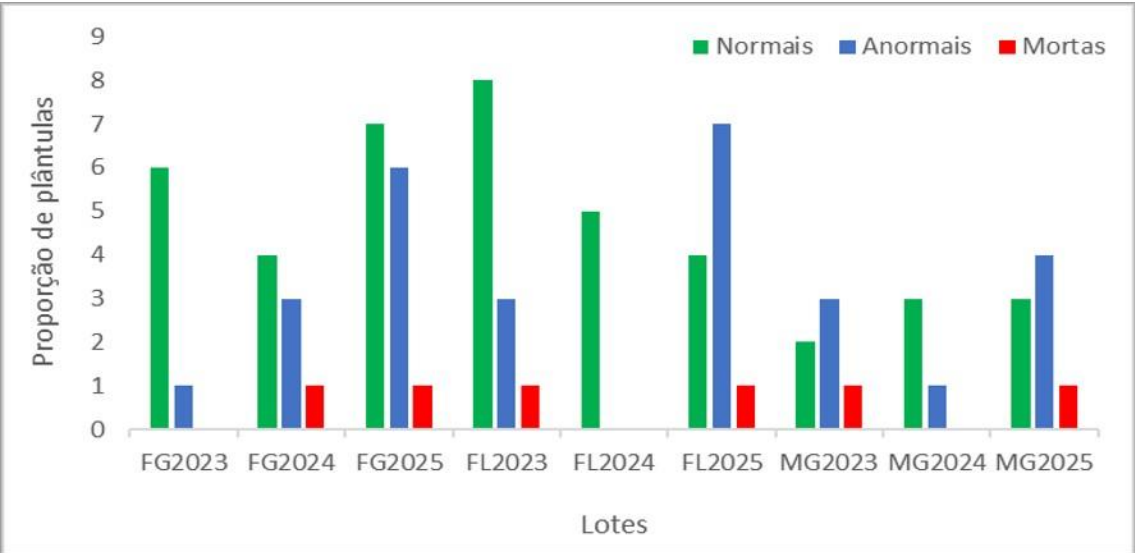


**Figura 7.** Avaliação das sementes com manchas por lote, expressa pela proporção de plântulas normais, anormais e mortas nas sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedades Fígado-de-galinha (FG), Filipinho (FL) e Manteiguinha (MG). Manaus, 2025.

Danos por umidade produziu resultados satisfatórios, com implicações diretas na técnica de Raio-X, pois o teor de água é um fator determinante para a densidade óptica do material; densidade óptica mais baixa, que está associada a um menor teor de água, que facilita na observação das estruturas internas da semente (Simak, 1991). O mínimo de 12% de umidade das sementes de pimentão, foi indicado para maior visualização das imagens obtidas pelo Raio-X (Gagliardi & Marcos-Filho, 2011).

O processo de deterioração das sementes de dicotiledôneas começa nas áreas meristemáticas do eixo embrionário, sendo a radícula mais sensível do que a plúmula (Marcos-Filho, 2015b). Sementes com manchas próximo a região do eixo-embrionário apresentaram plântulas anormais ou sementes mortas, sendo um indicativo de potencial germinativo para todas as variedades de todos os lotes (Figura 8). Mondo e Cícero (2005) observaram nas sementes de milho, alterações nos eixos embrionários, identificadas por manchas escuras e sem definição, formaram plântulas anormais ou mortas.

Sementes com rachaduras, rupturas ou perdas de parte dos cotilédones ainda são capazes de germinar, mas podem originar plântulas de menor tamanho e, dependendo do local da ruptura, a germinação pode não ocorrer (Rego *et al.*, 2023). Além de que sementes que emitiram a raiz primária e não formaram plântulas normais poderiam estar em estágio inicial de perda de viabilidade (Socolowski *et al.* 2008).

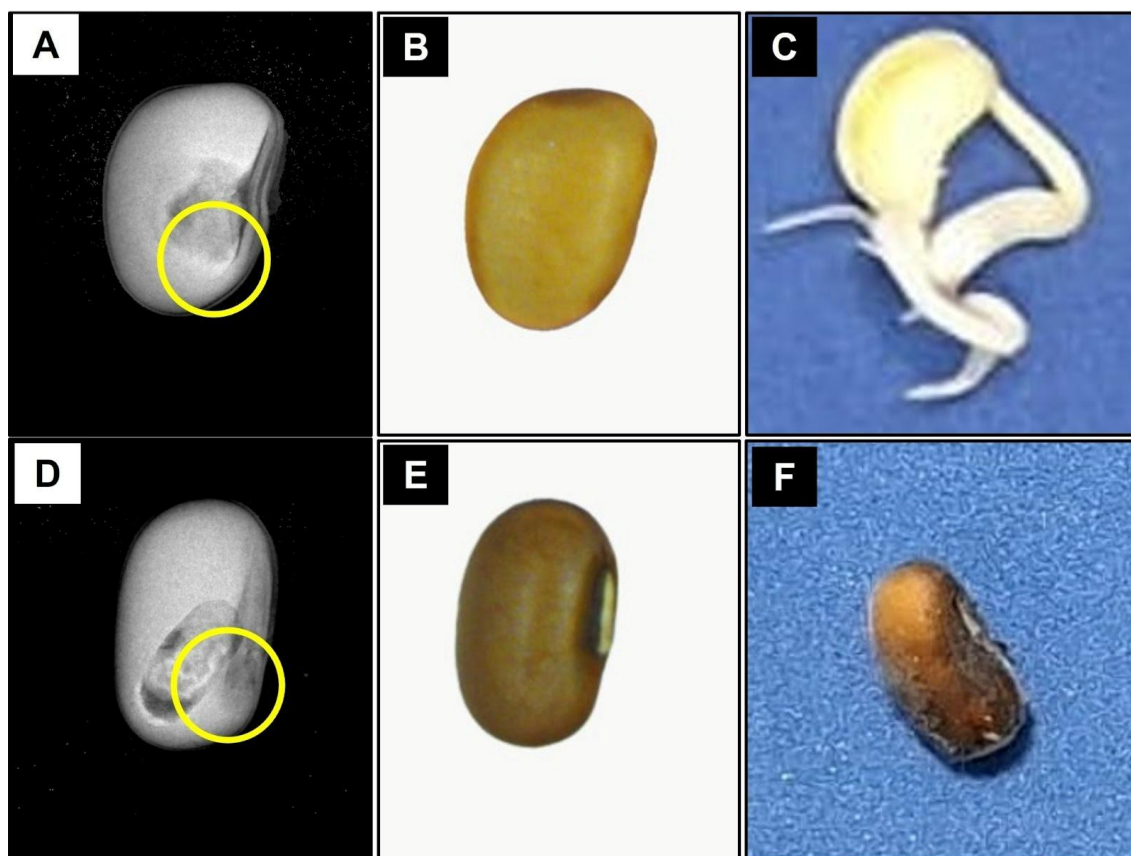


**Figura 8.** Imagem do aspecto das sementes com manchas na região próxima ao eixo-embrionário das sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A e D – Imagem capturada do Raio-X. B e E – Imagem RGB do Raio-X. C – Plântula anormal. F – Semente morta. Manaus, 2025.

Quando a presença de manchas foi no sentido oposto ao eixo embrionário ou superficial nas sementes, na região periférica dos cotilédones, ele tende a não ser tão prejudicial à germinação da semente (Figura 9-C). Caso extremo onde apresenta manchas escuras na parte inferior do eixo embrionário e cobrindo grande parte dos cotilédones, a semente estava inviável (Figura 9-F).

Semente bem formada e sem manchas que difere da sua escala de cinza padrão, resultou em uma plântula normal no teste de germinação, todas as estruturas essenciais estavam intactas e bem desenvolvidas. Porém, sementes visualmente boas (Figura 10), com as mesmas características na escala de cinza, também geraram plântulas anormais, como no caso dos lotes 2024 e 2025, provavelmente, esse fato não está vinculado à sua estrutura física.

O desempenho germinativo não é determinado exclusivamente pela integridade física da semente, outros fatores, além da condição física, influenciam no processo de desenvolvimento e crescimento da plântula. Pôde-se observar nesse experimento que sementes que apresentam algum tipo de mancha e aquelas estruturalmente intactas podem apresentar problemas na germinação. Sementes bem formadas e sem nenhum

problema podem originar plântulas anormais ou sementes mortas, pois o teste de raio-X não consegue detectar problemas fisiológicos (Silva *et al.*, 2014).

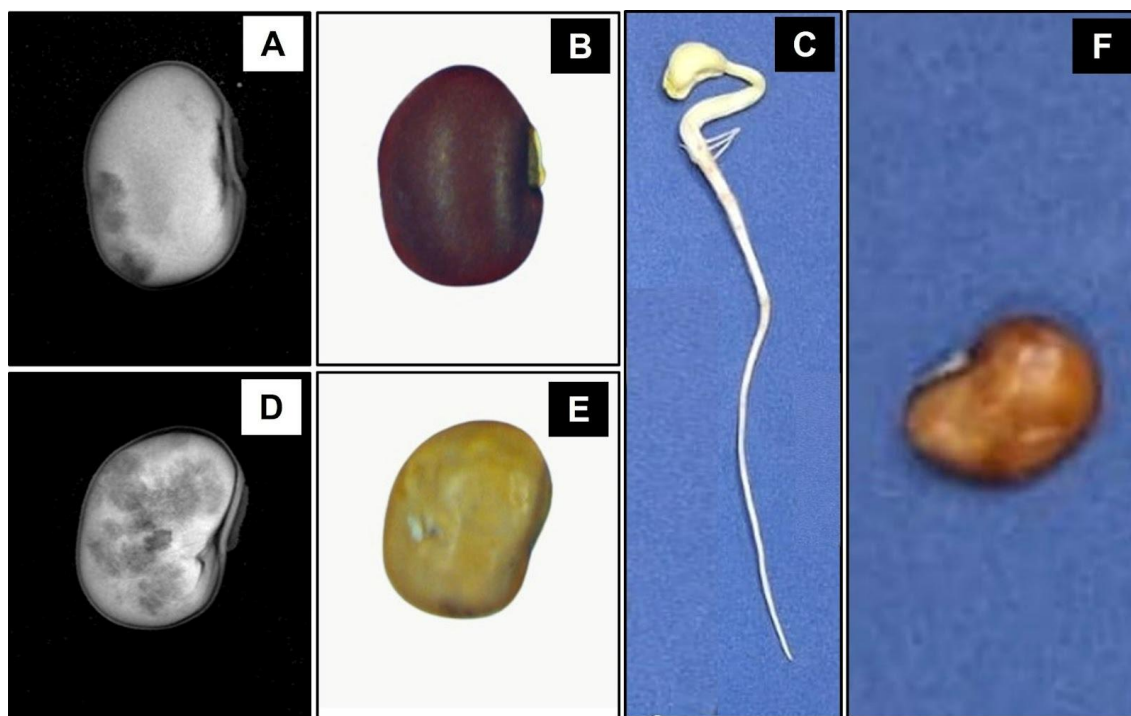


**Figura 9.** Imagem do estado das sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A e D – Imagem capturada do Raio-X. B e E – Imagem RGB do Raio-X. C – Plântula normal. F – Semente morta.

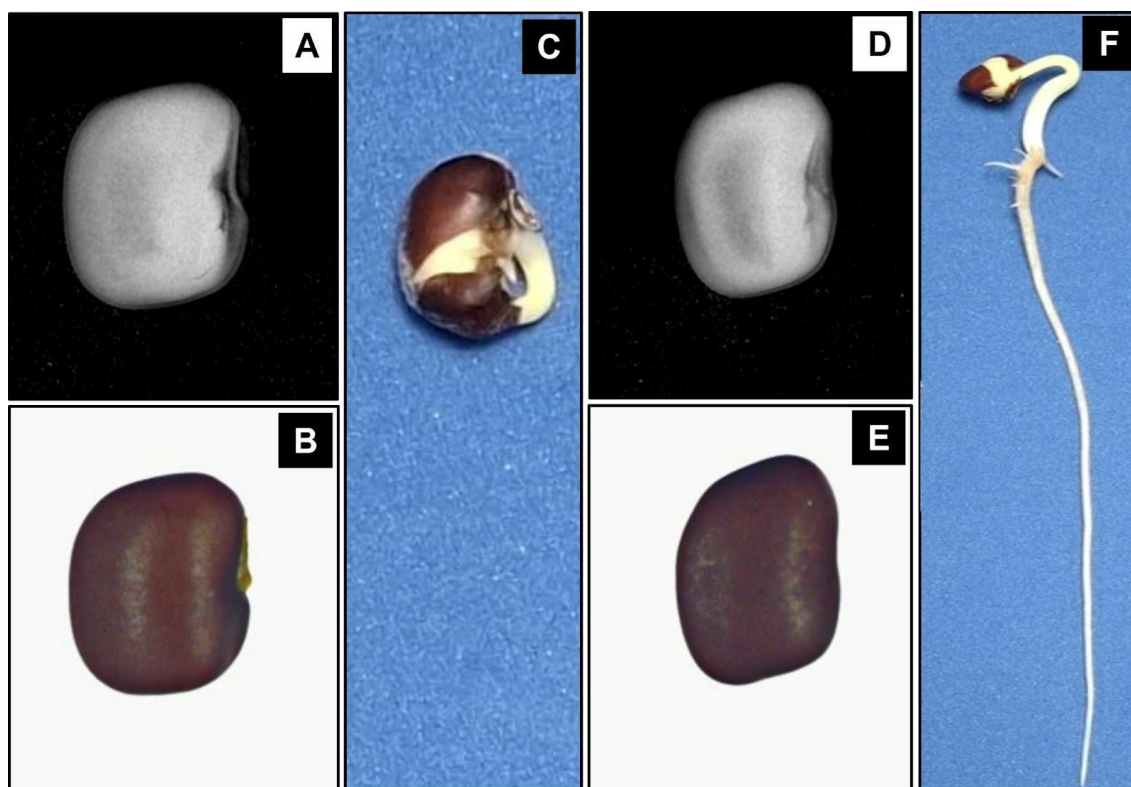


**Figura 10.** Imagem do estado das sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). A e D – Imagem capturada do Raio-X. B e E – Imagem RGB do Raio-X. C – Plântula anormal. F – Plântula normal.

Importante informar que a produção dos lotes foi feita nas condições edafoclimáticas de Manaus, AM, e a colheita foi realizada de forma manual e a secagem de forma natural. Problemas de baixa qualidade das sementes apresentados em alguns lotes analisados neste estudo, provavelmente, foram adquiridos no campo. De acordo com Kim *et al.* (2025), embora o feijão-caupi seja uma leguminosa resiliente ao clima, a extensão de sua adaptabilidade ambiental varia consideravelmente entre as diferentes regiões de produção. A variedade local que se mostrou mais sensível a essa adaptação, foi a Manteiguinha.

## 6. CONCLUSÃO

As sementes das variedades Fígado-de-galinha, Filipinho e Manteiguinha, apresentaram variação no tamanho entre os lotes avaliados. A característica morfométrica que demonstrou a variação foi a área (mm<sup>2</sup>).

Os lotes 2023 e 2024 apresentaram germinação superior a 80%, em todas as variedades testadas, atendendo ao critério mínimo exigido para comercialização de sementes de feijão-caupi no Brasil, segundo teste padrão de germinação.

A análise do Vigor-S mostrou Fígado-de-galinha-2025 e Filipinho-2025 tiveram os maiores índices de vigor. O teste padrão de germinação apontou para uma germinação abaixo de 80%; porém, foram sementes que apresentam plântulas com maior comprimento total (hipocótilo e radícula), assim alcançando um maior valor de crescimento, influenciando diretamente no valor do vigor. Já Manteiguinha-2025, que apresentou a pior porcentagem de germinação, também teve o pior valor de vigor.

Sementes com manchas escura próximo a região do eixo-embrionário, apresentaram plântulas anormais ou sementes mortas, conforme imagem capturada pelo Raio-X. Entretanto, sementes sem a presença de manchas escura na captura do Raio-X, apresentaram tanto plântulas normais como plântulas anormais.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABEBE, B. K.; ALEMAYEHU, M. T. A review of the nutritional use of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) for human and animal diets. **J. Agric. Food Res**, v.10, p. 100383, 2022.
- ADETUMBI, J. A.; SILVA, J. A. T. DA; ALAMU, O. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seed germination indices and yield as affected by length of storage. **Seed Science and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 11-14, 2011.
- ADIE, M. M. et al. The seed quality of Indonesian cowpea local varieties after storage. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 807, n. 4, p. 042010, 2021.
- AFFRIFAH, N. S.; PHILLIPS, R. D.; SAALIA, F. K. Cowpeas: Nutritional profile, processing methods and products - A review. **Legume Sci.** 4, 1-12, 2022.
- AGHAMIR, F.; BAHRAMI, H.; MALAKOUTI, M. J.; ESHGHI, S. Seed germination and seedling growth of bean (*Phaseolus vulgaris*) as influenced by magnetized saline water. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 5, n. 1, p. 39-46, 2016.
- ALMEIDA, A. P. V.; SILVA, E. S.; SILVA, V.; ZAGO, B. W.; OLIVEIRA, B. Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) provenientes do município de Tangará da Serra – MT. Goiânia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 2241, 2013.
- ALMEIDA, F. S.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B.; SANTANA, M. J. Desempenho agrônomo de cultivares de feijão-caupi em função das épocas de semeadura no Cerrado de Uberaba-MG. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 361-369, 2017.
- AMARAL, J. B. do; MARTINS, L.; FORTI, V. A.; CÍCERO, S. M.; MARCOS FILHO, J.; Teste de raios X para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 601-607, 2011.
- AMARAL, T.; FREIRE FILHO, F. R.; RODRIGUES, J. E. L. F.; GOMES JUNIOR, R. A.; ARAÚJO, D.G. de. Caracterização de acessos de feijão-caupi da coleção de trabalho da Embrapa Amazônia Oriental por descritores da semente. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 5.; SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA O FEIJÃO-CAUPI: DESAFIOS E PERSPECTIVAS, 2, 2019, Fortaleza - CE. Anais Fortaleza: UFC, Fortaleza: Embrapa, 2019.
- ARAÚJO-NETO, A. C.; NUNES, R. T. C. N.; ROCHA, P. A. da; ÁVILA, J. S.; MORAIS, O. M. Germinação e vigor de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de

diferentes tamanhos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 71-75, 2014.

BALDINI, M.; FERFUIA, C.; PASQUINI, S. Effects of some chemical treatments on standard germination, field emergence and vigour in hybrid maize seeds. **Seed Science and Technology**, v. 46, p. 41-51, 2018.

BARROS, R. C. S.; CASTRO, W. C. P.; WERNER, H. A.; MORAIS, K. G. B.; ESTEVES, M. P. C.; NUNES, T. L. et al. Qualidade de sementes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) produzidas em Paragominas, Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, e114101623161, 2021.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOGUEIRA, C. C. P. **Cultivo de feijão-caupi**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, Brazil, 2017.

BASU, S.; GROOT, S. P. C. Seed Vigour and Invigoration. In: DADLANI, M.; YADAVA, D. K. (eds.). **Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality**. Open Access. 2023. p. 67-89.

BECKER, J. N.; GROZINGER, J.; SARKAR, A.; REINHOLD-HUREK, B.; ESCHENBACH, A. Effects of cowpea (*Vigna unguiculata*) inoculation on nodule development and rhizosphere carbon and nitrogen content under simulated drought. **Plant Soil** 500, 33 51, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 200 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*)**. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Diário Oficial da União, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA, 2025.

CALVET-MIR, L.; CALVET-MIR, M.; MOLINA, J. L.; REYES-GARCÍA, V. Seed exchange as an agrobiodiversity conservation mechanism. A case study in Vall Fosca, Catalan Pyrenees, Iberian Peninsula. **Ecology and Society**, v. 17, n. 1, p. 20-29, 2012.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 2, p. 167-172, 2018.

CASTELLETTI, C. H. M.; COSTA, A. F. Feijão-caupi: alternativa sustentável para os sistemas produtivos. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 18, n. 1, p. 1-2, 2013.

CHEPNGENO, D.; GATHUNGU, G. K.; NDERITU, P. W. Farmer'S knowledge and perception of integrating phosphorus fertilizer and mulches in cowpea production. **Int. J. Agric. Environ. Res.**, v.10, p. 196-219, 2024.

CÔELHO, J. D. **Produção de grãos** – Feijão, milho e soja. **Caderno setorial ETENE**. Banco do Nordeste, n. 33, 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. (2025). Acompanhamento da Safra Brasileira (Grãos). Brasília, DF, v.12 – Safra 2024/25, n.11 - Décimo primeiro levantamento, p. 1-123, agosto 2025.

COSTA, R. S.; OLIVEIRA, I. V. de M.; MORO, F. V.; MARTINS, A. B. G. Aspectos morfológicos e influência do tamanho da semente na germinação do jambo-vermelho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 117-120, 2006.

DELOUCHE, J. C. Germinação, deterioração e vigor de sementes. **Seed News**, v. 6, n. 6, p. 24-31. 2002.

DUTRA, A. F., MELO, A. S.; FILGUEIRAS, L. M. B.; Da SILVA, A. R. F.; OLIVEIRA, I. M.; BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.

ELMASRY, G.; et al. Utilization of computer vision and multispectral imaging techniques for classification of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Seeds**, v. 15, n. 1, 2019.

FAO. Food and Agriculture Organization. Faostat Database Gateway. 2025. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 01 de setembro de 2025.

FATOKUN, C. A.; NG, Q. Outcrossing in cowpea. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 5, p. 334-338, 2007.

FAYE, A.; OBOUR, A. K.; AKPLO, T. M.; STEWART, Z. P.; MIN, D.; PRASAD, P. V. Dual-purpose cowpea grain and fodder yield response to variety, nitrogen phosphorus–potassium fertilizer, and environment. **Agrosystems Geosciences Environ**, v. 7, p. e20459, 2024.

FERREIRA, R. L., SÁ, M. E. Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.4, p. 99-110, 2010.

FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; PINTO, T. L. F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 123-133, 2010.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; DAMASCENO E SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. L. F.; VIEIRA, P. F. de M. J. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. cap. 5, p. 9-34.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; VIEIRA, P. F. de M. J. Colheita, beneficiamento e acondicionamento. In: BASTOS, E. A. **Cultivo de feijão-caupi**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. (Embrapa Meio-Norte. Sistema de Produção, 1).

FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A. de A.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005.

GAGLIARD, B.; MARCOS-FILHO, J. Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-Ray test. **Scientia Agricola**, 68: 411-416, 2011.

GEBEYEHU, B. Review on: Effect of Seed Storage Period and Storage Environment on Seed Quality. **International Journal of Applied Agricultural Sciences**, v. 6, n. 6, p. 185-190, 2020.

GOMES-JUNIOR, F. G. Análise computadorizada de imagens de plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.FRANÇA NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (Eds.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 601p. Cap. 3, p. 142-183, 2020.

GONÇALVES, A. C. D. M., SOUSA, C. D. S., LIMA, A. S. D., SILVA, T. I. D., de ALBUQUERQUE, J. D. A., MESQUITA, E. F. D., ... & MONTEIRO NETO, J. L. Salicylic acid and polymer on the quality of cowpea seeds grown under water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, p. e278906, 2024.

GUNATHILAKE, K. G. T.; HERATH, T.; WANSAPALA, J. Comparison of physicochemical properties of selected locally available legumes varieties (Mung bean, Cowpea and Soybean). **Potravinarstvo**, v. 10, n. 1, p. 424-430, 2016.

HANAIAH, N. F. H.; SINNIH, U. R.; YUSOFF, M. M. Seed Quality of Lablab Bean (*Lablab purpureus*) as Influenced by Seed Maturity and Drying Methods. **Agronomy**, v.12, 2022.

HENNING, F.A.; MERTZ, L.M.; JACOB-JUNIOR, E.A.; MACHADO, R.D.; FISS, G.; ZIMMER, P.D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v.69, n.3, p.727-734, 2010.

ISAAC, E. T.; SEWEH, E. A.; APURI, S.; BANFUL, B. K.; AMOAH, S. Effect of Storage periods on seed quality characteristics of three soybean (*Glycine max* (L) Merrill) varieties. **International Journal of Scientific Research Engineering and Technology**, v. 2, n. 4, p. 823-830, 2016.

ISTA. **International Rules for Seed Testing**, Full Issue i–19-8 (300). 2022. <https://doi.org/10.15258/istarules.2022.F>.

KEBEDE, E.; BEKEKO, Z. Expounding the production and importance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Ethiopia. **Cogent Food Agric.**, v. 6, p. 1769805, 2020.

KIM, D. K.; OCHAR, K.; IWAR, K.; HA, B. K.; KIM, S. H. Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) production, genetic resources and strategic breeding priorities for sustainable food security: a review. **Plant Science**, v. 16, p.1562142, 2025.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. **A Semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades - série sementes**. Londrina: EMBRAPA, 8p. 2008. (Circular técnica, 55).

LANFERDINI, D.; RADKE, A.; MENEGHELLO, G. E. Vigor e tempo de armazenamento de sementes de soja com tratamento industrial. *Enciclopédia Biosfera*, v. 14, n. 26, p. 797-805, 2017.

LEITE, M. de S.; TORRES, S. B.; GOMES JUNIOR, F. G.; REGO, C. H. Q.; PAIVA, E. P. de; LEITE, T. de S. Viability of seedling image analysis (Vigor-s) to determine the physiological potential of melon seeds. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. 1–11. 2020.

LOCATELLI, V. E. E.; MEDEIROS, R. D.; SMIDERLI, O. J.; et al. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 6, p. 574-580, 2014.

LOPES, M.M.; PRADO, M. O. D.; SADER, R.; BARBOSA, R. M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 230-238, 2011.

MANDA, J.; ALENE, A. D.; TUFA, A. H.; FELEKE, S.; ABDOLAYE, T.; OMOIGUI, L. O. Market participation, household food security, and income: The case of cowpea producers in northern Nigeria. **Food Energy Secur**, v. 9, p. e211, 2020.

MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JUNIOR, F. G.; BENNETT, M. A.; WELLS, A. A. STIEVE, S. Using Tomato Analyzer software to determine embryo size in x-rayed seeds. **Brazilian Seed Journal**, v. 32, n. 2, p. 146–153, 2010.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015a.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015b. v. 1. 659p.

MARCOS-FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P.; LIMA, L.B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p.1 02-112, 2009.

MARQUES, F. R. F. et al. GerminaQuant: uma nova ferramenta para medições de germinação. **Journal of Seed Science**, v. 37, p. 248-255, 2015.

MEDEIROS, A. D. de; SILVA, L. J. da; CAPOBIANGO, N. P.; FIALHO, C. A.; DIAS, D. C. F. dos S. Assessing the physiological quality of common bean seeds using the Vigor-S system and its relation to the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, v. 42, n. 2, p. 187-195, 2019.

MEKONNEN, T. W.; GERRANO, A. S.; MBUMA, N. W.; LABUSCHAGNE, M. T. Breeding of vegeta ble cowpea for nutrition and climate resilience in Sub-Saharan Africa: progress, opportunities, and challenges. **Plants**, v. 1, p.1583, 2022.

MELO, L. S.; BORGRS, C. T.; FRANCO, J.J.; MENEGHELLO, G. E. Tratamento de sementes de soja e sua influência na qualidade fisiológica. In: ROSSETTI, C.; TUNES, L. V. M.; AUMONDE, T. Z. (Orgs.) **Gestão dos processos para produção de sementes**: do campo a pós-colheita. Volume 1. Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2023. p. 108-121.

MONDO, V. H. V.; CÍCERO, S. M. Análise de imagens na avaliação da qualidade de sementes de milho localizadas em diferentes posições na espiga. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 9-18, 2005.

MOREIRA, R.; NUNES, C.; P. PAIS, I.; NOBRE SEMEDO, J.; MOREIRA, J.; SOFIA BAGULHO, A. Are portuguese cowpea genotypes adapted to drought? Phenological development and grain quality evaluation. **Biology**, v. 12, p. 507, 2023.

MUÑOZ-AMATRIAÍN, M.; MIREBRAHIM, H.; XU, P.; WANAMAKER, S. I.; LUO, M.; ALHAKAMI, H. Genome resources for climate-resilient cowpea, an essential crop for food security. **Plant J.**, v. 89, p. 1042-1054, 2017.

N'DANIKOU, S.; SHANGO, A. J.; SIGALLA, J. P. Variation of Seed Traits and Initial Quality among Selected Cowpea, Mungbean, and Soybean Accessions. **Seeds**, v. 1, p. 303-314, 2022.

NGOMBO, W. K. et al. Loss of Certified Maize (*Zea mays* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Seed Viability during Storage in a Sub-Saharan Region: Analysis of Environmental Factors. **American Journal of Plant Sciences**, v. 12, n. 09, p. 1410-1424, 2021.

NUNES, R. T. C.; ARAÚJO NETO, A. C.; SOUZA, U. O.; FOGAÇA, J. J. N. L.; MORAIS, O. M. Relação entre o tamanho e a qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi. **Cultura Agrônômica**, v. 25, n. 4, p. 01-11, 2016.

NUNES, R. T. C.; SOUZA, U. O.; ARAÚJO NETO, A. C.; MORAIS, O. M.; FOGAÇA, J. J. N. L.; SANTOS, J. L.; CARDOSO, A. D.; JOSÉ, A. R. S. Qualidade fisiológica e produção de sementes de feijão-caupi submetidas a doses de molibdênio e população de plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 533-542, 2017.

NUNES, R. T. C.; SOUZA, U. O.; BANDEIRA, A. S.; SANTOS, J. L.; MORAIS, O. M.; GOMES, M. F. Qualidade de sementes de *Vigna unguiculata* classificadas em diferentes tamanhos. **Cultura Agrônômica**, v.26, n.1, p.1-9, 2017.

NWAGBOSO, C.; ANDAM, K.S.; AMARE, M.; BAMIWUYE, T.; FASORANTI, A. **The economic importance of cowpea in Nigeria**. IFPRI, 30 p. 2024.

OBA, G. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; HARTMANN FILHO, C. P.; GONÇALVES, A. A. Caracterização física de sementes de feijão-caupi durante o processo de secagem. **Revista Energia na Agricultura**, v. 4, n. 2, p. 283-296, 2016.

OLIVEIRA, D. L. de; SMIDERLE, O. J.; SCHUERTZ PAULINO, P. P.; GRAÇAS SOUZA, A. das. Water absorption and method improvement concerning electrical conductivity testing *Acacia mangium* (Fabaceae) seeds. **Revista de biologia tropical**, v. 64, n. 4, p. 1651-1660, 2016.

OLIVEIRA, L. M.; SCHUCH, L. O. B.; BRUNO, R. D. L. A.; PESKE, S. T. Qualidade de sementes de feijão-caupi tratadas com produtos químicos e armazenadas em condições

controladas e não controladas de temperatura e umidade. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1263-1275, 2015.

OLIVEIRA, E. de; MATTAR, E. P. C.; ARAÚJO, M. L. de; JESUS, J. C. S. de; NAGY, A. C. G.; SANTOS, V. B. dos. Descrição de cultivares locais de feijão-caupi coletados na microrregião Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 3, p. 243-254, 2015.

OLIVEIRA, I. J. de O.; FONTES, J. R. A.; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F. **Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no estado do Amazonas**. Embrapa Amazônia Ocidental, 2019. 30p. (Circular Técnica, nº 71).

OLOSUNDE, A. A.; COKER, D. O.; AJIBOYE, T. O.; OJO, A. O. Effect of storage environments and duration on germination of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) seeds. **Ife Journal of Agriculture**, v. 29, n. 2, p. 10-17, 2017.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, p. 1-12. 1997. Trabalhos selecionados do Second World Cowpea Research Conference, Accra, Ghana.

PANZERI, D.; GUIDI NISSIM, W.; LABRA, M.; GRASSI, F. Revisiting the domestication process of african vigna species (Fabaceae): background, perspectives and challenges. **Plants**, v. 11, p. 532, 2022.

PEGO, R.G.; NUNES, U.R.; MASSAD, M.D. Qualidade fisiológica de sementes e desempenho de plantas de rúcula no campo. **Ciência Rural**, v.41, n.8, p.1341-1346, 2011.

PEREIRA, L. C.; CORREIA, L. V.; FELBER, P. H.; PEREIRA, R. C.; MATERA, T. C.; SANTOS, R. F. dos; BRACCINI, A. L. Correlation between physiological tests and field emergence in treated corn seeds. **Plant, Soil and Environment**, v. 65, p. 569-573, 2019.

PEREIRA, M. F. S.; TORRES, S. B.; LINHARES, P. C. F.; PAIVA, A. C. C.; PAZ, A. E. S.; DANTAS, A. H. Qualidade fisiológica de sementes de coentro [*Coriandrum sativum* (L.)]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.13, p.518-522, 2011. Número especial.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (ed.) **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 4. ed. Pelotas: Becker e Peske. 2019. 579p.

PESKE, S. T.; LUCCA FILHO, O. A.; ZORATO, V. H.; ZUCHI, J. Tecnologia de Sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. M.; MENEGHELLO, G. E (ed.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 4. ed. Pelotas: Ed. UFPel, 2019. Cap. 10: Sanidade de Sementes, p. 300-335.

PINHEIRO, D. T.; MEDEIROS, A. D. de; SOARES, T. F. S. N.; CAPOBIANGO, N. P.; DIAS, D. C. F. dos S. Análise de imagem utilizando raios X para avaliação da qualidade de sementes de *Anadenanthera peregrina* (L) Speg. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 3, p. 1309-1322, 2022.

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.

RAMYA M. J.; KULKARNI, G. U.; DEEPTHI, R. Effect of packaging material, storage conditions and storage period on seed quality parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). **Int. J. Pure App. Biosci.**, v. 6, n. 5, p. 309-313, 2018.

RATNANINGSIH, N.; SUPARMO; HARMAYANI, E. & MARSONO, Y. Physicochemical properties, in vitro starch digestibility, and estimated glycemic index of resistant starch from cowpea (*Vigna unguiculata*) starch by autoclaving-cooling cycles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 42 n. 1, p. 191-200, 2020.

REGO, C. H. Q.; CICERO, S. M.; FRANÇA-SILVA, F.; GOMES JUNIOR, F. G. Assessing the vigor of cowpea seeds using the Vigor-S software. **Journal of Seed Science**, v. 43, p. e202143018, 2021.

REGO, C. H. Q.; CICERO, S. M.; GOMES JUNIOR, F. G. Morphology and germination of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seeds. **Journal of Seed Science**, v. 45, p. e202345011, 2023.

ROCHA, C. R. M.; SILVA, V.N.; CICERO, S.M. Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas. **Ciência Rural**, v.45, n.6, p.970-976, 2015.

ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; MENEZES-JÚNIOR, J. A. N. de. Cultivares: Qualidade de grãos. In: VALE, J. C. do; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: Do plantio à colheita**. Viçosa: Ufv, 2017. p. 124.

ROCHA, M. de M. et al. **Avaliação agronômica de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 2006. 16p.

RODRIGUES, E. V.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. de M.; BASTOS, E. A.; TEODORO, P. E. Selection of cowpea populations tolerant to water deficit by selection index. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 889-896, 2017.

RODRIGUES, M.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S: System for Automated Analysis of Soybean Seed. **Journal of Seed Science**. v.42, p. e202042039, 2020.

ROSSETTI, C.; TUNES, L. V. M.; AUMONDE, T. Z. (Orgs.) **Gestão dos processos para produção de sementes**: do campo a pós-colheita. Volume 1. Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2023. 145p. il.

SÁ, F. V. S.; PAIVA, E. P.; BRITO, M. E. B.; NOUGUEIRA, N. W.; FRADE, L. J. G.; FREITA, R. M. O. Seed germination and vigor of different cowpea cultivars under salt stress. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 4, p. 450-455, 2016.

SANTILLI, J. A Lei de Sementes brasileira e os seus impactos sobre a agrobiodiversidade e os sistemas agrícolas locais e tradicionais. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas**, v. 7, n. 2, p. 457-475, 2012.

SANTOS, F. G. Sementes de feijão comercializadas e sementes salvas por produtores rurais. **Revista Técnico Científica**, v. 2, n 27, p. 1-14, 2018.

SANTOS, D. M.; BALDONI, A. Avaliação da qualidade fisiológica do milho. **GETEC**, v.7, n.19, p.19- 30, 2018.

SANTOS, J.F.; GRANJEIRO, J.I.T.; BRITO, C.H.; SANTOS, M. do C.C.A. Produção e componentes produ-tivos de variedades de feijão-caupi na microregião Cariri paraibano. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, vol. 6, n. 1, p. 214-222, 2009.

SANTOS, F. S.; PAULA, R. C. de; SABONARO, D. Z.; VALADARES, J. Biometria e qualidade fisiológica de sementes de diferentes matrizes de *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex A. DC.) Standl. **Scientia Forestalis**, v. 37, p.163-173, 2009.

SANTOS, G. C. R.; JUNIOR, J. L. de A. M.; MELO, L. D. F. de A.; SOUZA, M. dos S.; PAES, R. de A.; BADJI, C. A.; COSTA, J. F. de O.; CRISÓSTOMO, N. M. S. Análise de imagens na determinação da viabilidade de sementes de milho pelo teste de tetrazólio. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v.16, n.9, p.14940-14957, 2023.

SARMA, H. H. Seed Testing: Key to Establishing and Maintaining Seed Quality Standards. **Vigyan Varta**, v. 5, n. 7, p. 131-137, 2024.

SHARMA, S. Seed Vigour Testing: Principles and Methods. **Agrobios Newsletter**, v. 17, n. 2, p.80-81, 2018.

SARR, A.; BODIAN, A.; GBEDEVI, K. M.; NDIR, K. N.; AJEWOLE, O. O.; GUEYE, B. Genetic diversity and population structure analyses of wild relatives and cultivated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) from Senegal using simple sequence repeat markers. **Plant Mol. Biol. Rep.**, v. 39, p. 112-124, 2021.

SCHMIDT, F.; KERCHNER, A. C.; BRUINSMA, M. S.; PEDÓ, T.; TUNES, L. V. M. Qualidade de sementes de milho de variedades de polinização aberta após as etapas do beneficiamento. In: ROSSETTI, C.; TUNES, L. V. M.; AUMONDE, T. Z. (Orgs.) **Gestão dos processos para produção de sementes: do campo a pós-colheita**. Volume 1. Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2023. p. 43-60.

SEMBA, R. D.; RAMSING, R.; RAHMAN, N.; KRAEMER, K.; BLOEM, M. W. Legumes as a sustainable source of protein in human diets. **Global Food Secur**, v. 28, p. 100520, 2021.

SEO, E.; KIM, K.; JUN, T.-H.; CHOI, J.; KIM, S.-H.; MUÑOZ-AMATRIÁIN, M. Population structure and genetic diversity in Korean cowpea germplasm based on SNP markers. **Plants**, v. 9, p. 1190, 2020.

SILVA JÚNIOR, J. V., BEZERRA, A. A. C. & SILVA, E. M. Crescimento e desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi em função da salinidade da água de irrigação. **Irriga**, v. 26, n. 2, p. 343-366, 2021.

SILVA, A. C. da; COSTA SANTOS, D. da; JUNIOR, D. L. T.; da SILVA, P. B.; dos SANTOS, R. C.; SIVIERO, A. Cowpea: A strategic legume species for food security and health. **Legume Seed Nutraceutical Research**, p. 47-65, 2018.

SILVA, C. de F.; MOURA, M. F. de; VILELA, Á. R. R.; ARAÚJO, M. B. de; MARQUES, J. D. da S. Produção de feijão-caupi em função do emprego de inoculante e adubos orgânicos e mineral. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 1130-1145, 2019.

SILVA, J. S., COSTA, R. S., TOMAZ, F. L. S., BEZERRA, A. E. & MESQUITA, R. O. Mechanisms of tolerance to water deficit and physiological responses to rehydration in cowpea. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, p. 1-10, 2021.

SILVA, M. B. de O.; CARVALHO, A. J. de; ROCHA, M. de M.; BATISTA, P. S. C.; SANTOS JÚNIOR, P. V.; OLIVEIRA, S. M. de. Desempenho agrônomo de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, p.1059-1066, 2018.

SILVA, M. M. DA et al. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão-comum produzidas no norte de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 97–97, 2014.

SILVA, P. P.; FREITAS, R. A.; CICERO, S. M.; MARCOS-FILHO, J.; NASCIMENTO, W. M. Image analysis to associate morphological and physiological characteristics in pumpkin seeds. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 210-214, 2014.

SILVA, J. D. da; MEDEIROS, A. D. de; PEREIRA, M. D.; RAMOS, A. K. F.; SILVA, L. J da. Seed quality analysis of *Senna siamea* Lam. using image analysis techniques. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. e202042042, 2020.

- SILVA, F. H. A.; NASCIMENTO, S. R. C.; TORRES, S. B.; OLIVEIRA, J. R.; ALVES, T. R. C.; NEGREIROS, A. M. P. Qualidade sanitária de sementes salvas de feijão-caupi utilizadas pelos agricultores do Rio Grande Norte. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 59, n. 1, p. 60-65, 2016.
- SILVA, P. P.; NASCIMENTO, W. M. Definição da metodologia para realização do teste de raios-X em sementes de abóbora. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2 (Suplemento - CD Rom), 2010.
- SILVA, F. H. A.; TORRES, S. B.; CARVALHO, S. M. C.; BAI, M.; LOPES, W. A. R. Atributos físicos e fisiológicos de sementes salvas de feijão-caupi utilizadas no semiárido brasileiro. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 113-120, 2019.
- SIMAK, M. Testing of forest tree and shrub seeds by X-radiography. In: GORDON, A. G.; GOSLING, P.; WANG, B. S. P. **Tree and shrub seed handbook** Zurich: ISTA, 1991. p. 1-28.
- SINGH, B. B. Cowpea breeding at IITA: highlights of advances impacts. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., Teresina. **Tecnologias para o agronegócio: Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).
- SINGH, B. Genetic enhancement for yield and nutritional quality in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Indian J. Genet. Plant Breed.**, v. 76, p.568-582, 2016.
- SINGH, S. K.; JHA, R.; PANDEY, S.; et al. Artificial intelligence-based tools for next-generation seed quality analysis. **Crop Design**, v. 4, n. 1, p. 100094, 2025.
- SOCOLOWSKI, F.; CÍCERO, S.M. Caracterização morfológica de embriões por imagens de raios X e relação com a massa e a qualidade fisiológica de sementes de *Tecoma stans* L. Juss ex Kunth (Bignoniaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.2, p.200-208, 2008.
- SMIDERLE, O. J. et al. Physiological quality of cowpea seeds for different periods of storage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 817-823, 2017.
- SOUSA, D. J. P., NOGUEIRA, G. A. S., TEIXEIRA, K. B. S., MONTEIRO, G. G. T. N., BRITO, A. E. A., NASCIMENTO, V. R., ... & OKUMURA, R. S. Mitigation of the effects of salt stress in cowpea bean through the exogenous application of brassinosteroid. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e260818, 2022.
- TALAMINI, V.; ALMEIDA, N. A.; LIMA, N. R. S.; SILVA, A. M. F.; CARVALHO, H. W. L. de; SOUSA, R. C. de. **Avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de girassol introduzidas para cultivo em Sergipe**. Embrapa Tabuleiros

Costeiros, Aracajú-SE, n. 67, dezembro de 2011. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento).

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. dos S.; ÁVILA, M. R. Metodologias para determinar qualidade fisiológica em sementes de feijão enfatizando o teste de tetrazólio. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 1, p. 124-141, 2021.

VACU, M. V.; NZAMA, P. S.; ADEGBAJU, M. S. Insights on the utilisation of tissue culture to aid new breeding techniques for cowpea (*Vigna unguiculata* L.) improvement. **Front. Hortic.**, v. 4, p. 1520119, 2025.

VALERIANO, T. T. B.; BORGES, R. de M.; ALMEIDA, F. da S.; SILVA NETO, O. F. da; SANTANA, M. J. de; SILVA, K. A. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi em função da densidade de plantas. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v.5, p.12-17, 2019.

VIANA, P. M. O.; ALENCAR, R. S.; DIAS, G. F.; BONOU, S. I.; RIBEIRO, L. D.; CAVALCANTE, I. E.; MELO, A. S. Prospecting resilient cowpea cultivars in the agreste paraibano: an analysis of yield and vigor. **Journal of Education, Science and Health**, v. 5, n. 1, p. 01-11, 2025.

VIEIRA, R. F. Comportamento de cultivares de caupi do tipo fradinho em Leopoldina, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 48, n. 280, p. 729-733, 2001.

WU, X.; HU, Z.; ZHANG, Y.; LI, M.; LIAO, N.; DONG, J. Differential selection of yield and quality traits has shaped genomic signatures of cowpea domestication and improvement. **Nat. Genet.**, v. 56, n. 6, p.1-14, 2024.

XIA, Y.; XU, Y.; LI, J.; ZHANG, C.; FAN, S. Recent advances in emerging techniques for non-destructive detection of seed viability: A review. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 1, p. 35-47, 2019.

ZACHARIAS, M.B.; CICERO, S. M.; GOMES-JUNIOR, F. G.; FORT, V. A.; SILVA, J. B. da. Use of theX-ray technique to evaluate the internal morphology of seeds of green manure species. **Journal of Seed Science**, v. 46, p. e202446017, 2024.