



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – DEAGRI

JOSÉ INÁCIO SANTOS CUNHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PREPARAÇÃO E
ANÁLISE DE GRÃOS E SEMENTES VIA IMPRESSÃO 3D PARA AGRICULTURA
FAMILIAR**

SÃO CRISTÓVÃO- SE

2025

JOSÉ INÁCIO SANTOS CUNHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PREPARAÇÃO E
ANÁLISE DE GRÃOS E SEMENTES VIA IMPRESSÃO 3D PARA AGRICULTURA
FAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Agrícola da Universidade
Federal de Sergipe como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro
Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Welington
Gonzaga do Vale

SÃO CRISTÓVÃO- SE

2025

JOSÉ INÁCIO SANTOS CUNHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PREPARAÇÃO E
ANÁLISE DE GRÃOS E SEMENTES VIA IMPRESSÃO 3D PARA AGRICULTURA
FAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Departamento de Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Sergipe como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Agrícola.

Trabalho aprovado. São Cristóvão – Sergipe, 25 de julho de 2025:

Orientador

Prof. DSc. Welington Gonzaga do Vale

Avaliador

Prof. DSc. Adilson Machado Enes

Avaliador

Eng. Mecânico Diego Andrade Pereira

Avaliadora

Eng. Agrícola. Janyelle do Nascimento Silva

SÃO CRISTÓVÃO- SE

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força, saúde e sabedoria concedidas durante toda esta caminhada acadêmica.

À Universidade Federal de Sergipe (UFS), em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), pelo suporte e pelos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação.

À minha mãe, Edilene Ribeiro da Cunha, ao meu pai, José dos Santos, e à minha irmã, Beatriz Santos Cunha, pelo apoio incondicional, incentivo e amor em todos os momentos, sejam eles de dificuldade ou de alegria.

Ao meu orientador, Professor Dr. Welington Gonzaga do Vale, pela orientação, paciência e incentivo constantes, sendo uma verdadeira inspiração nesta trajetória.

A todos os professores e técnicos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFS, pela dedicação e por compartilharem seus conhecimentos, fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Registro um agradecimento especial aos técnicos Diego, Valfran e Flávia, pelo apoio e incentivo durante essa jornada.

Às colegas Janyelle e Milena, pela amizade, ajuda e companheirismo que foram essenciais em minha caminhada. Também aos amigos que conquistei ao longo da graduação, com quem compartilhei tantos momentos importantes: Emerson, Agnaldo, Raul, André, Iran, Jlyel, Issac, Ysabelle e Eduardo.

Aos colegas do estágio, com quem dividi aprendizados e experiências: Mateus, Laís, Larissa, Sheila, Tamara e Maria. Agradeço ainda a todo o pessoal da manutenção da Fazenda Planalto, pelo apoio e acolhimento.

Por fim, a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para minha formação e com quem tive a oportunidade de conviver ao longo desta trajetória acadêmica, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

RESUMO

O crescimento da produção agrícola no Brasil aumenta a necessidade por alternativas de baixo custo para análise de qualidade de sementes, especialmente para pequenos produtores, justificando o desenvolvimento deste projeto. O objetivo foi construir um dispositivo portátil integrando um diafanoscópio e um quarteador de grãos/sementes com uso da tecnologia de impressão 3D FDM. O protótipo foi modelado no SolidWorks, impresso com PLA e ABS, montado em laboratório e projetado para possibilitar análise visual de danos mecânicos e homogeneização de amostras de sementes; parâmetros como uniformidade de iluminação e eficiência de separação foram definidos no protocolo de testes. O equipamento apresentou montagem correta, leveza, funcionalidade e custo total em torno de R\$ 700,00 — muito inferior ao de equipamentos comerciais —, com potencial para análise de trincas e danos internos nas sementes; no entanto, ainda não foram realizados testes funcionais. Conclui-se que o protótipo está pronto para validação prática, sendo recomendado avançar para testes com diferentes sementes e ambientes.

Palavras chaves: Danos em sementes; Protótipo; Dispositivo portátil

ABSTRACT

Development of an Integrated Seed Preparation and Analysis System Using 3D Printing for Family Farming

The increasing demand for agricultural production in Brazil highlights the need for low-cost alternatives for seed quality analysis, especially for small farmers, justifying the development of this project. The objective was to build a portable device integrating a diaphanoscope and a grain divider using FDM 3D printing technology. The prototype was designed in SolidWorks, printed with PLA and ABS, assembled in the laboratory, and aimed at enabling visual analysis of mechanical seed damage and homogenization of seed samples; parameters such as light uniformity and sample division efficiency were established in the testing protocol. The equipment showed proper assembly, lightness, functionality, and a total cost of around R\$ 700.00 — significantly lower than commercial equipment — with potential for identifying cracks and internal seed damage; however, practical performance tests have not yet been conducted. It is concluded that the prototype is ready for practical validation, and further testing with different seeds and environments is recommended.

Keywords: seed damage; prototype; portable device

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Modelagem do protótipo	13
Figura 2- Parte superior do diafanoscópio com microscópio e lupa.....	15
Figura 3 - Quarteador de grãos	15
Figura 4 - Protótipo montado	16
Figura 5- Grãos/sementes de milho trincados sobre luz refletida.....	17
Figura 6- Grãos/sementes de milho danificado.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos para produção do protótipo.	19
--	----

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LAMPROT	Laboratório de Máquina e Motores
DEAGRI	Departamento de Engenharia Agrícola
UFS	Universidade Federal de Sergipe
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IN	Instrução Normativa
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
PLA	Ácido Polilático
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
STL	Stereolithography

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAIS E MÉTODOS	12
2.1 Local de desenvolvimento	12
2.2 Etapas do processo	13
2.3 Materiais e parâmetros utilizados	14
3 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Descrição geral do protótipo	15
4.2 Avaliação preliminar	15
4.3 Expectativas de desempenho	17
4.4 Limitações e desafios técnicos observados	17
4.5 Contribuições do projeto para o meio acadêmico e produtivo	18
4.6 Perspectivas futuras	18
4.7 Análise de custos.....	19
5 CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2025), o aumento da população mundial, aliado à necessidade crescente de segurança alimentar, tem impulsionado a demanda por alimentos em escala global. Nesse cenário, o Brasil, por meio de investimentos em ciência, tecnologia e manejo produtivo, consolidou-se como uma das principais potências mundiais na produção de grãos/sementes (EMBRAPA, 2022).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra 2024/25 tende a ter um aumento de cerca de 13%, ou 38,6 milhões de toneladas, se comparado à safra 2023/2024, chegando a 336,1 milhões de toneladas, destacando-se com maiores crescimentos a soja, o milho e o arroz. Nesse contexto, a agricultura familiar embora enfrente limitações tecnológicas, é responsável por aproximadamente 9% da produção de soja e 12% da produção de milho e feijão (MAPA, 2023).

A qualidade das sementes está diretamente relacionada ao desempenho produtivo das lavouras, o que reforça a importância de métodos confiáveis para avaliação da integridade dos grãos/sementes (Maciel & de Tunes, 2021). Os danos mecânicos, quando presentes, reduzem o potencial de germinação, comprometem o vigor das plântulas e afetam a formação radicular (FRISKE; SOUZA, 2023). Tais danos podem ocorrer tanto de forma interna quanto externa, manifestando-se em rachaduras no tegumento, fraturas, cortes, esmagamentos ou lesões no eixo embrionário (Peske, Filho & Barros, 2006).

Entre os métodos disponíveis para análise de danos mecânicos através de imagem, o uso do diafanoscópio se destaca como alternativa acessível, principalmente por possibilitar a visualização de fissuras e lesões embrionárias não perceptíveis externamente. Trata-se de um método não destrutivo e de fácil operação.

Do ponto de vista legal, a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura e Pecuária (IN) MAPA nº 29/2011 (BRASIL, 2011a), estabelece a obrigatoriedade de sistemas de homogeneização e padronização nas análises de qualidade. No entanto, embora existam equipamentos comerciais que desempenham essas funções, o elevado custo restringe sua adoção, sobretudo pela agricultura familiar.

Nesse contexto, a tecnologia de impressão 3D FDM (Modelagem por Deposição Fundida) surge como alternativa viável para o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo, permitindo a produção local e a personalização de componentes (GARCIA et al., 2024). Materiais como PLA e ABS são amplamente utilizados devido à boa disponibilidade e propriedades mecânicas adequadas: o PLA destaca-se pela facilidade de impressão e baixa toxicidade, enquanto o ABS apresenta maior resistência térmica e durabilidade (RODRÍGUEZ-PANES; CLAVER; CAMACHO, 2018). Complementarmente, o uso de LED branco proporciona maior contraste na análise das sementes, e o vidro transparente garante boa visibilidade, facilidade de higienização e resistência térmica (SCHMIDT et al., 2024).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um equipamento portátil, integrado e de baixo custo, fabricado por impressão 3D FDM, que une as funções de quarteamento, homogeneização e análise por diafanoscópio, visando facilitar a detecção de danos mecânicos em sementes na agricultura familiar, contribuindo para a melhoria da qualidade das sementes e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade agrícola.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de desenvolvimento

O desenvolvimento do projeto e montagem do protótipo foi realizado no Laboratório de Máquinas e Motores (LAMOT) e no Laboratório de Prototipagem (LAPROT) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus São Cristóvão – SE.

2.2 Etapas do processo

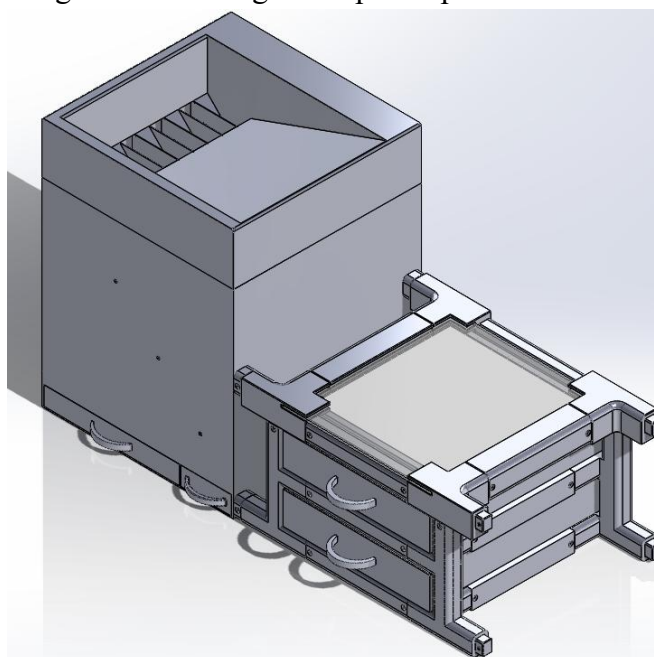
O desenvolvimento do projeto ocorreu em cinco etapas principais, são elas: modelagem tridimensional, exportação, fatiamento, impressão 3D, ajustagem das peças e montagem final.

A modelagem das peças foi feita no software *SolidWorks*, o que permitiu uma visão detalhada dos componentes, facilitando o planejamento dos encaixes, dimensões e funcionalidades. Todas as peças foram salvas no formato *Stereolithography* (STL), padrão utilizado em impressoras 3D.

Após a modelagem, iniciou-se o processo de fatiamento utilizando o *software Simplify3D* e *UltiMaker Cura*. Este programa converte os modelos em camadas (slices) e gera o código G-code, responsável por controlar os movimentos da impressora 3D.

Após a impressão, as peças passaram por ajustagem mecânica, passando por remoção de suportes, lixamento superficial, ajustes finos com lima e aplicação de cola em pontos de união permanente.

Figura 1- Modelagem do protótipo



2.3 Materiais e parâmetros utilizados

A escolha do material variou conforme a função estrutural da peça: partes externas e peças submetidas a maiores esforços foram feitas em ABS, enquanto peças menos exigidas foram impressas em PLA, contribuindo para a redução da espessura das peças e, conseqüentemente, do custo do projeto.

O PLA (Ácido Polilático) é biodegradável, fácil de imprimir e apresenta boa estabilidade dimensional. Já o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) possui maior resistência mecânica e térmica, ideal para peças sujeitas a impactos.

Foram criadas estruturas específicas para o diafanoscópio e para o quarteador de grãos/sementes, como o compartimento para a placa de LED, placa de vidro, encaixes das gavetas, canaletas e toda a estrutura externa do equipamento, a fim de evitar possíveis falhas durante a montagem, reduzindo retrabalhos e otimizando o tempo.

Para inspeção visual e ajustes, foi empregado um microscópio digital. A estrutura do equipamento incorporou vidro transparente e iluminação por LED branco. Ferramentas básicas de montagem, como parafusos e cola, também foram utilizadas.

Os parâmetros utilizados foram para o PLA a altura de camada 0,2 mm; preenchimento 20–40%; velocidade 60 mm/s; temperatura do bico 200 °C; mesa aquecida 60 °C e para o ABS a altura de camada 0,2 mm; preenchimento 20–40%; velocidade 60 mm/s; temperatura do bico 230 °C; mesa aquecida 100 °C.

3 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

O protótipo é composto por duas gavetas, uma para descarte de amostras já analisadas e outra para guardar equipamentos que auxiliam nas análises, um vidro onde as sementes estarão dispostas para análise e abaixo uma placa com led branco que quando acionada a luz atravessa a semente que está sobre o vidro, gerando um contraste permitindo assim a visualização das trincas, para a parte referente ao quarteador de grãos/sementes.

Possui uma entrada onde as amostras devem ser inseridas, possuem quatro linhas de canaletas onde as amostras são homogeneizadas e divididas em uma porção menor para análise e mantendo a representatividade da amostra e possui duas gavetas na parte inferior

uma com as amostras que serão analisadas e outra com amostras que não precisaram ser analisadas.

Figura 2 - Parte superior do diafanoscópio com microscópio e lupa

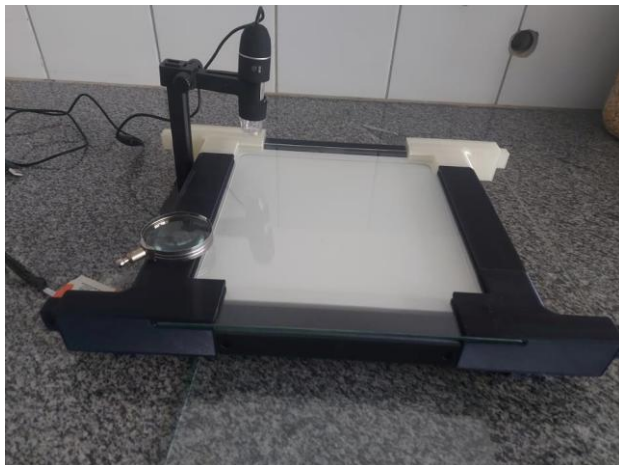
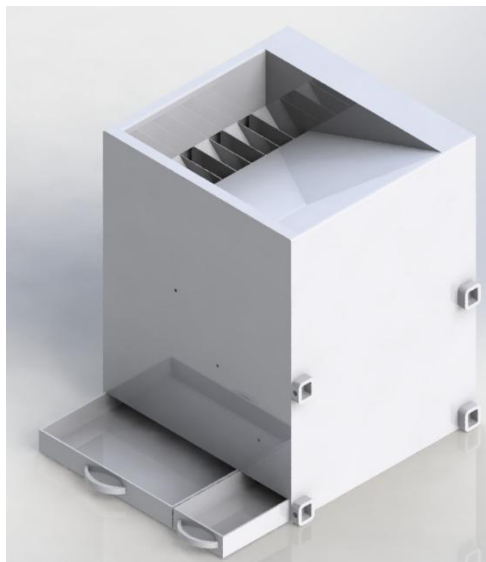


Figura 3 – Quarteador de grãos



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição geral do protótipo

O protótipo desenvolvido é composto por dois dispositivos principais: o diafanoscópio, responsável pela análise de danos mecânicos em sementes, e o quarteador de grãos/sementes, destinado à homogeneização e divisão representativa da amostra.

4.2 Avaliação preliminar

A montagem do equipamento ocorreu conforme planejado, com adequado encaixe das peças produzidas por impressão 3D, sem necessidade de correções estruturais. A instalação do vidro e dos LEDs foi realizada de forma simples e o acionamento do sistema de iluminação confirmou a funcionalidade do diafanoscópio.

O protótipo apresentou características favoráveis, como baixo peso, resistência e facilidade de manuseio, o que possibilita seu uso em ambientes com infraestrutura limitada, como pequenas propriedades rurais. Essa avaliação preliminar evidenciou o potencial do equipamento como ferramenta prática e acessível.

Na primeira etapa de montagem, as peças impressas foram acopladas ao painel de LED, à placa de vidro e ao microscópio digital (Figura 5). Os testes iniciais mostraram eficiência na análise de danos em sementes de tegumento fino, facilitando a visualização de trincas. Entretanto, para grãos/sementes com película mais espessa, como feijões e favas, verificou-se a necessidade de estudos adicionais.

Figura 4 – Protótipo montado



Observou-se ainda que a placa de LED apresentou baixa eficiência, sobretudo pela disposição dos emissores apenas nas extremidades, dificultando a análise das sementes posicionadas no centro da mesa (Figura 7). O microscópio digital contribuiu para a visualização detalhada das sementes (Figura 8); contudo, suas limitações físicas impediram a análise adequada da região central da placa de vidro. Tais resultados sugerem a necessidade de ajustes no protótipo, como a substituição da placa de LED e a incorporação de uma haste prolongadora para o microscópio digital.

Figura 5 - Grãos/sementes de milho trincados sobre luz refletida

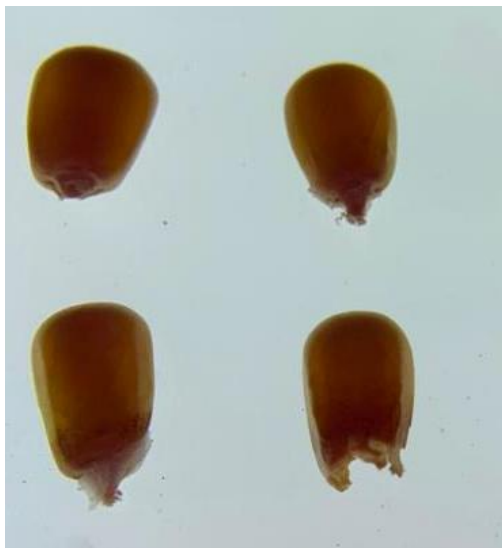
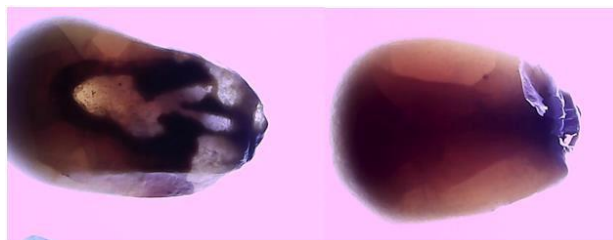


Figura 6 - Grãos/sementes de milho danificado



4.3 Expectativas de desempenho

Embora os testes ainda não tenham sido realizados esperasse que o diafanoscópio forneça iluminação uniforme por toda a base onde as sementes vão estar posicionadas. Deve possibilitar a detecção de danos mecânicos sutis como micro trincas que influenciam na capacidade de vigor e a taxa de germinação da semente. Também é esperado que a qualidade visual da imagem obtida seja suficiente para análise manual e posteriormente por um sistema automatizado de captura e processamento. Com relação ao quarteador é esperado que toda a estrutura projetada promova uma distribuição equilibrada dos grãos/sementes, resultando em amostras homogêneas e representativas conforme exigido pelo mapa. Essas funcionalidades são essências para que a amostra reflita de forma fiel o lote de origem.

4.4 Limitações e desafios técnicos observados

Durante o desenvolvimento do protótipo, alguns desafios técnicos foram enfrentados, especialmente nos ajustes entre peças móveis e fixas. Questões como o tamanho da impressora 3D, o tempo de impressão e o gasto com materiais de suporte exigiram planejamento cuidadoso para evitar falhas e desperdícios.

Outro aspecto a ser aprimorado em versões futuras é a intensidade de iluminação, recomendando-se a inclusão de ajuste de potência luminosa para atender a diferentes espécies, desde sementes mais permeáveis à luz até aquelas de maior resistência.

A ausência de testes funcionais constitui uma limitação importante, pois impede a validação prática das hipóteses levantadas. No entanto, o equipamento encontra-se em estágio avançado de construção e pronto para avaliação experimental, prevista para as próximas etapas.

4.5 Contribuições do projeto para o meio acadêmico e produtivo

Apesar de ainda não testado em condições práticas, o projeto já representa uma contribuição significativa tanto para o meio acadêmico quanto para o setor agrícola. A proposta de um equipamento funcional, de baixo custo e produzido com tecnologia acessível, como a impressão 3D, atende diretamente às necessidades de pequenos e médios produtores, que geralmente não dispõem de recursos para aquisição de equipamentos comerciais.

O protótipo pode servir de base para projetos de extensão, iniciação científica e inovação tecnológica, além de possibilitar a publicação de artigos, apresentações em congressos e o registro de propriedade intelectual — já iniciado por meio do pedido de patente de desenho industrial.

Ao propor a integração de um sistema de análise (diafanoscópio + quarteador), o equipamento também se destaca pela versatilidade e aplicabilidade prática, podendo ser replicado por outras instituições de ensino e adaptado para fins didáticos em cursos técnicos e de graduação.

4.6 Perspectivas futuras

Com a finalização da construção do protótipo, as etapas seguintes devem contemplar sua validação experimental. Entre as principais ações previstas estão:

- Realização de testes com diferentes tipos de sementes (soja, milho e feijão) para avaliar a eficiência do diafanoscópio;
- Verificação da uniformidade e representatividade das amostras obtidas pelo quarteador de grãos/sementes;

- Comparação dos resultados com equipamentos disponíveis no mercado, visando validar a precisão e a confiabilidade;
- Implementação de ajustes no equipamento, de acordo com os resultados obtidos;
- Possível incorporação de automação simples, utilizando sensores ou microcontroladores para controle de iluminação e captura de imagens;
- Divulgação da tecnologia como alternativa acessível e replicável para pequenos e médios produtores;
- Realização de testes em diferentes condições de luminosidade ambiente;
- Desenvolvimento de manual de uso ou aplicativo simples para registro das análises.
-

4.7 Análise de custos

Um dos principais diferenciais do protótipo é o baixo custo de produção em comparação aos equipamentos disponíveis comercialmente. Enquanto um diafanoscópio pode ultrapassar R\$ 5.900,00 e um quarteador de grãos/sementes pode custar mais de R\$ 8.600,00, o equipamento desenvolvido neste trabalho apresentou custo aproximado de R\$ 700,00, considerando todos os materiais utilizados. Esse resultado reforça a viabilidade econômica da proposta, com redução superior a 90% em relação às opções comerciais, o que amplia significativamente o acesso de pequenos produtores a essa tecnologia.

Tabela 1 - Custos para produção do protótipo.

Item	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Filamento PLA (kg)	2	R\$ 115,00	R\$ 230,00
Filamento ABS (kg)	5	R\$ 70,00	R\$ 350,00
Vidro temperado	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Placa de LED	1	R\$ 15,00	R\$15,00

Microscópio digital	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Parafusos/cola/ferram.	Diversos	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Total estimado		-	R\$ 700,00

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se o desenvolvimento de um equipamento portátil e de baixo custo que integra as funcionalidades de um diafanoscópio e de um quarteador de grãos/sementes, destinado à identificação de danos mecânicos. O primeiro dispositivo permite a análise visual dos danos, enquanto o segundo assegura a representatividade da amostragem. Embora os ensaios de desempenho ainda não tenham sido conduzidos, o protótipo encontra-se finalizado e pronto para avançar à fase crítica de validação experimental.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Instrução Normativa nº 29, de 08 de junho de 2011*. Estabelece os Requisitos Técnicos Obrigatórios e Recomendados para a Certificação de Unidades Armazenadoras em Ambiente Natural. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/infraestrutura-e-logistica/documentos-infraestrutura/29-2011.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 399 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 19 jul. 2025.
- CIENLAB. *Quarteador 4 Cascatas Inox 16×1*. Disponível em: <https://www.cienlab.com.br/quarteador-4-cascatas-inox-16x1.html>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Boletim da Safra de Grãos/sementes 2024/25 – 9º Levantamento*. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-9o-levantamento-2025. Acesso em: 19 jul. 2025.
- EMBRAPA. *Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos*. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos#:~:text=Em%202021%2C%20o%20Pa%C3%ADs%20registrou,gerado%20aqui%2C%20lideran%C3%A7a%20absoluta%20no>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- FAO. *Food Balance Sheets and Supply Utilization Accounts Resource Handbook*. Rome: FAO, 2025. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/30e641b1-6d57-4998-8e8a-395727aa4307>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- FRISKE, Leandro; SOUZA, José Rafael. Qualidade fisiológica de sementes de algodão com diferentes níveis de danos mecânicos visíveis. *Revista Sociedade e Ambiente*, v.4, n.3, 2023. Disponível em: <https://revistasociedadeeambiente.com/index.php/dt/article/view/104>. Acesso em: 7 ago. 2025.
- GARCIA, D. C. et al. Democratizing self-driving labs: advances in low-cost 3D printing for laboratory automation. *Digital Discovery*, v. 3, p. 684–698, 2024. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/dd/d4dd00411f>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- MACIEL, C. P.; TUNES, L. M. de. Análise da qualidade fisiológica de sementes em função do dano mecânico. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 11633–11650, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/30011/23633>.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. *Estudo aponta incremento de 37 % na produção de grãos/sementes no Matopiba em dez anos*. Gov.br, Brasília, 27 jul. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/estudo-aponta-incremento-de-37-na-producao-de-graos-no-matopiba-em-dez-anos>. Acesso em: 29 ago. 2025.
- PESKE, Silmar Teichert; VILLELA, Francisco Amaral; BARROS, A. C. S. A. *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. 2. ed., revista e ampliada. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 2006. 470 p. Disponível em:

https://gsem.weebly.com/uploads/9/3/5/1/9351412/sementes_-_fundamentos_cient%C3%ADficos_e_tecnol%C3%B3gicos_-_silmar_peske_-_2%C2%AA_ed.pdf. Acesso em: 8 ago. 2025.

RODRÍGUEZ-PANES, Adrián; CLAVER, Juan; CAMACHO, Ana María. *The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis*. *Materials*, v. 11, n. 8, art. 1333, 2018.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/8/1333>. Acesso em: 8 ago. 2025.

SCHMIDT, M. et al. A low-cost imaging system for non-destructive counting of oilseed rape siliques. *Agriculture*, v. 14, n. 12, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/12/2215>. Acesso em: 8 ago. 2025.

SOILCONTROL. *Diafanoscópio de bancada Soilcontrol DBLx18-S2*. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1183889263-diafanoscopio-de-bancada-soilcontrol-_JM. Acesso em: 19 jul. 2025.