

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
STHEFANNY RIBEIRO SILVA

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO SUBMETIDOS À
DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

CERES – GO
2024

STHEFANNY RIBEIRO SILVA

**PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO SUBMETIDOS À
DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Renato Souza Rodvalho.

**CERES – GO
2024**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586 Silva, Sthefanny Ribeiro
p Propriedades físicas dos grãos de feijão
 submetidos à diferentes métodos de secagem /
 Sthefanny Ribeiro Silva; orientador Renato Souza
 Rodvalho. -- Ceres, 2024.
 15 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2024.

1. Phaseolus vulgaris L.. 2. Teor de água. 3.
Contração volumétrica. 4. Qualidade de grãos. 5.
Armazenamento. I. Rodvalho, Renato Souza, orient.
II. Título.



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

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

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: STHEFANNY RIBEIRO SILVA

Matrícula: 2019103200240374

Título do Trabalho: PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FELJÃO SUBMETIDOS À DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

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

Ceres, 07 de junho de 2024.

STHEFANNY RIBEIRO SILVA
Assinatura eletrônica da autora

Ciente e de acordo:

RENATO SOUZA RODOVALHO

Documento assinado eletronicamente por:

- Sthefanny Ribeiro Silva, 2019103200240374 - Discente, em 07/06/2024 10:04:40.
- Renato Souza Rodovalho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/06/2024 09:49:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/06/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 605922
Código de Autenticação: 6baf46399f



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, 03, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

ANEXO IV - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) Vinte e dois dia(s) do mês de Abril do ano de dois mil e Vinte e Quatro, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Sthefanny Ribeiro Silva, do Curso de Bacharelado em Agronomia, matrícula 2019103200240374, cujo título é "Propriedades físicas dos Grãos de Feijão Submetidos à Diferentes Métodos de Secagem". A defesa iniciou-se às

13 horas e 45 minutos, finalizando-se às 14 horas e 16 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho Aprovado com média 8,7 no trabalho escrito, média 9,3 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 9,0 de **pontos**, estando o(a) estudante Apto para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o(a) estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Ronaldo Souza Rodvalho

Assinatura Presidente da Banca

Loucuana Borges e Silva

Assinatura Membro 1 Banca Examinadora

Mônica Louanda Silva Marques

Assinatura Membro 2 Banca Examinadora

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para a sua realização, em especial minha família, meu orientador e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder vida e saúde ao longo dessa jornada.

A toda minha família que esteve presente ajudando e apoiando-me em todos os momentos.

Em especial aos meus pais, José Carlos da Silva e Cleciene Ribeiro Mariano por todo amor, respeito, dedicação, cuidado e sacrifícios para a realização deste sonho.

Agradeço ao meu esposo Nilson Dias Rosa Neto por toda ajuda e apoio durante esse período e na execução do trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Renato Souza Rodovalho pela orientação, pelos ensinamentos, dedicação e conselhos durante essa trajetória acadêmica.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, pela disponibilização do laboratório, equipamentos, pessoas e conhecimentos que foram essenciais durante a trajetória acadêmica.

“Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano. Sempre que alguém descobre esse poder, algo antes considerado impossível, se torna realidade.”

Albert Einstein

RESUMO

O feijão comum é uma cultura de grande importância econômica e social, sendo a principal fonte de proteína vegetal dos brasileiros. Portanto, objetivou-se avaliar o comportamento das propriedades físicas dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo submetidos aos diferentes métodos alternativos de secagem. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro métodos de secagem, constituídos em quatro métodos de secagem (secagem em estufa de ventilação forçada em 37°C, secador de camada fixa experimental, ao sol e à sombra), com quatro repetições. As propriedades físicas avaliadas após a secagem foram: peso de mil grãos, massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade, condutividade elétrica, eixos ortogonais e contração volumétrica. A secagem em secador experimental foi o que proporcionou umidade final no processo de secagem em menor tempo, apresentou maiores valores para as propriedades massa específica unitária, porosidade e contração volumétrica dos grãos. A secagem em estufa apresentou maior valor para massa específica aparente. Os métodos secagem naturais, utilizando o sol e a sombra, obtiveram maiores peso de mil grãos e menores valores de condutividade elétrica. Portanto, conclui-se que o método de secagem que utilizou o secador experimental promoveu redução da umidade à níveis seguros para armazenamento.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Teor de água. Contração volumétrica. Qualidade de grãos. Armazenamento.

ABSTRACT

Common bean is a crop of great economic and social importance, being the main source of vegetable protein for Brazilians. Therefore, the objective was to evaluate the behavior of the physical properties of beans from the cultivar BRS Estilo subjected to different alternative drying methods. The design used was completely randomized with four drying methods, consisting of drying methods (forced ventilation oven drying at 37°C, experimental fixed layer dryer, sun drying, and shade drying), with four repetitions. The physical properties evaluated after drying were: thousand grain weight, bulk density, unit density, porosity, electrical conductivity, orthogonal axes, and volumetric shrinkage. Drying in the experimental dryer provided the final moisture content in the drying process in a shorter time, and showed higher values for unit density, porosity, and volumetric shrinkage of the grains. Drying in the oven showed higher values for bulk density. Natural drying methods, using sun and shade, obtained higher thousand grain weight and lower electrical conductivity values. Therefore, it is concluded that the drying method using the experimental dryer promoted reduction of moisture to safe levels for storage.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Moisture content. Volumetric contraction. Grain quality. Storage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Desenho esquemático das dimensões do grão de feijão.....	5
Figura 2. Umidade das amostras de grãos de feijão utilizando o secador experimental (A); Umidade das amostras de grãos de feijão utilizando a estufa de ventilação forçada (B); Umidade das amostras de grãos de feijão submetidas a secagem à sombra (C); Umidade das amostras de grãos de feijão submetidas a secagem diretamente ao sol (D). * Coeficientes significativos a 5% de intervalo de confiança pelo teste t.....	7
Figura 3. Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem em secador experimental (A); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem em estufa (B); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem à sombra (C); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem ao sol (D).	9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Umidade final, Condutividade elétrica, Massa de mil grãos, Massa específica aparente, Massa específica unitária e Porosidade de grãos de feijão submetidos à diferentes métodos de secagem.....	8
Tabela 2. Volume das amostras após o período de secagem e contração volumétrica (Ψ) dos grãos de feijão BRS Estilo, em função dos diferentes métodos de secagem.	11

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	3
RESULTADOS E DISCUSSÃO	6
CONCLUSÃO	12
REFERÊNCIAS.....	12

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO SUBMETIDOS À DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

PHYSICAL PROPERTIES OF BEAN GRAINS SUBJECTED TO DIFFERENT DRYING METHODS

STHEFANNY RIBEIRO SILVA

Graduanda em Agronomia, Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
stheribeiro160101@gmail.com

RENATO SOUZA RODOVALHO

Doutor em Agronomia, Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
renato.rodvalho@ifgoiano.edu.br

Resumo: O feijão comum é uma cultura de grande importância econômica e social, sendo a principal fonte de proteína vegetal dos brasileiros. Portanto, objetivou-se avaliar o comportamento das propriedades físicas dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo submetidos aos diferentes métodos alternativos de secagem. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro métodos de secagem, constituídos em quatro métodos de secagem (secagem em estufa de ventilação forçada em 37°C, secador de camada fixa experimental, ao sol e à sombra), com quatro repetições. As propriedades físicas avaliadas após a secagem foram: peso de mil grãos, massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade, condutividade elétrica, eixos ortogonais e contração volumétrica. A secagem em secador experimental foi o que proporcionou umidade final no processo de secagem em menor tempo, apresentou maiores valores para as propriedades massa específica unitária, porosidade e contração volumétrica dos grãos. A secagem em estufa apresentou maior valor para massa específica aparente. Os métodos secagem naturais, utilizando o sol e a sombra, obtiveram maiores peso de mil grãos e menores valores de condutividade elétrica. Portanto, conclui-se que o método de secagem que utilizou o secador experimental promoveu redução da umidade à níveis seguros para armazenamento.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Teor de água. Contração volumétrica. Qualidade de grãos. Armazenamento.

Abstract: Common bean is a crop of great economic and social importance, being the main source of vegetable protein for Brazilians. Therefore, the objective was to evaluate the behavior of the physical properties of beans from the cultivar BRS Estilo subjected to different alternative drying methods. The design used was completely randomized with four drying methods, consisting of drying methods (forced ventilation oven drying at 37°C, experimental fixed layer dryer, sun drying, and shade drying), with four repetitions. The physical properties evaluated after drying were: thousand grain weight, bulk density, unit density, porosity, electrical conductivity, orthogonal axes, and volumetric shrinkage. Drying in the experimental dryer provided the final moisture content in the drying process in a shorter time, and showed higher values for unit density, porosity, and volumetric shrinkage of the grains. Drying in the oven showed higher values for bulk density. Natural drying methods, using sun and shade, obtained higher thousand grain weight and lower electrical conductivity values. Therefore, it is concluded that the drying method using the experimental dryer promoted reduction of moisture to safe levels for storage.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Moisture content. Volumetric contraction. Grain quality. Storage.

INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma cultura de grande importância econômica e social em muitos países, além de ser a principal fonte de proteína vegetal dos brasileiros (MONDO & NASCENTE, 2018). Em 2019, o Brasil ocupou a posição de terceiro

maior produtor mundial, com uma produção de 2,9 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Índia, que liderou com 5,8 milhões de toneladas, e Mianmar, em segundo lugar, 5,3 milhões de toneladas (COÊLHO, 2021).

Os estados brasileiros, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Bahia despontam como os maiores produtores nacionais de feijão. A região Centro-Oeste destaca-se liderança na safra 2021/2022 com 750,9 mil toneladas de grãos produzidos (COÊLHO, 2021). Em Goiás, o cultivo do feijão se concentra nas safras das águas e da seca, com participação ativa tanto dos agricultores familiares quanto dos grandes produtores (SILVA; WANDER, 2013). Os agricultores familiares desempenham um papel significativo na produção do feijão, especialmente durante a safra das águas, devido às características temporais específica dessa leguminosa, que pode ser cultivada com baixos recursos produtivos.

Os grãos de feijão após atingir a maturidade fisiológica em campo, inicia o processo de colheita com o teor de umidade dos grãos satisfatório e seguro com 18% em base úmida (b.u). Porém, a umidade ideal e segura para armazenamento de grãos é de 13% b.u, dessa forma, faz-se necessário o processo de secagem após a colheita dos grãos, assegurando a qualidade e estabilidade desses grãos, reduzindo a atividade biológica com a redução do teor de água e prolongando o período de armazenamento com qualidade (ALMEIDA et al., 2013; SOUSA et al., 2015; BARROS et al., 2020).

O processo de secagem pode ser realizado utilizando métodos naturais submetendo os grãos a temperatura ambiente com incidência solar ou métodos artificiais, que utilizam de tecnologias e controle da temperatura do ar de secagem (MOTA, 2016). A retirada de água dos grãos influencia diretamente a alteração das suas propriedades físicas durante a secagem, fator de grande relevância para o dimensionamento e projeção de equipamentos destinados à colheita e pós-colheita (MIR et al., 2013).

O conhecimento das características físicas dos grãos está ligado as operações de equipamentos de secagem e armazenagem. Variáveis como teor de água, peso de mil grãos, condutividade elétrica, massa específica, contração volumétrica, porosidade são fatores influenciadores no dimensionamento de silos, depósitos, transportadores e parâmetros de qualidade dos grãos (SILVA; CORRÊA, 2008).

A cultura do feijão abrange inúmeras cultivares e mesmo com grande quantidade de estudos realizados sobre essa cultura, as novas variedades se apresentam carentes de trabalhos, principalmente na fase de pós-colheita (RIBEIRO et al., 2014).

A cultivar BRS Estilo apresenta um rendimento de 560 quilos a mais por hectare em comparação com outras cultivares, assim permitindo uma maior lucratividade aos produtores. Isso por assegurar melhor resistência a ataques de algumas doenças e maior racionalização dos fatores de produção, procedendo em menor custo para o cultivo da cultura (MELO et al., 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho propôs-se avaliar o comportamento das propriedades físicas dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo submetidos aos diferentes métodos alternativos de secagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre os meses de novembro de 2022 e abril de 2023, no Laboratório de Preparo de Amostras e no Laboratório de Análise de Sementes do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. O clima da região é tropical estacional, considerado como inverno seco e verão chuvoso (SANTOS et al., 2018).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 04 tratamentos, constituído por 4 métodos de secagem (estufa à 37 °C, secador de camada fixa experimental, radiação solar direta e ambiente protegido à radiação solar), com 4 repetições.

Os grãos de feijão BRS Estilo foram colhidos maduros de forma mecanizada. Posteriormente, os grãos, com umidade inicial próximo a 17% em base úmida (b.u), aferido pelo Medidor Universal de Umidade foram divididos em 4 amostras, destinadas para cada método de secagem. Cada amostra foi dividida em 4 subamostras de 500 g, determinados em balança analítica com precisão de 0,01g, representando cada repetição.

A redução do teor de água foi acompanhada através da perda de massa dos grãos em cada método de secagem, até atingir a umidade final desejada de 13% b.u ou quando atingissem o equilíbrio higroscópico. O monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar foi realizado por um termo-higrômetro.

Cada método de secagem utilizou-se temperaturas do ar secagem diferentes. O secador experimental não conseguiu estabilizar a temperatura, a secagem à sombra e ao sol utilizou temperaturas ambientes. Enquanto que, a secagem em estufa manteve-se constante em 37°C durante todo o processo.

As variáveis avaliadas após a secagem foram, peso de mil grãos, massa específica aparente, massa específica unitária, condutividade elétrica, porosidade e eixos ortogonais.

A parcela útil experimental foi composta por uma subamostra de 100 grãos de feijão retirados de forma aleatória de cada unidade experimental, em oito repetições. O peso de mil

grãos foi obtido pela multiplicação da massa média das oito repetições por 10, determinado em gramas (BRASIL, 2009).

A condutividade elétrica foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Kryzyzanowski (1999), em que foram utilizados 50 grãos de cada repetição submetidos nos métodos de secagem, sendo pesados em uma balança analítica com precisão de 0,001g. Em seguida, as amostras foram colocadas em um copo plástico com 75 mL de água destilada e acondicionada em uma câmara incubadora do tipo B.O.D, regulada a 25° C por 24 horas. Após esse processo, cada amostra foi submetida a uma leve agitação e em seguida à leitura do resultado obtido por meio de um condutivímetro digital, expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

A porosidade foi determinada segundo a metodologia de Santos et al. (2012), acrescentando uma massa de grãos em um volume conhecido, posteriormente, adicionado tolueno (óleo vegetal de soja) na massa de grãos com ajuda de uma proveta, preenchendo todos os espaços vazios. Após o processo os resultados foram expressos através da equação 1.

$$\varepsilon (\%) = 100 \left[\frac{V_t}{V_p} \right] \quad (1)$$

Em que:

ε – porosidade;

V_t – volume do tolueno inserido na massa de grãos, m^3 ;

V_p – volume de massa de grãos lido na proveta, m^3 .

A determinação da massa específica aparente (ρ_a), expressa em kg m^{-3} , foi realizado quatro repetições por amostra, adicionando uma massa de grãos em um recipiente de 250 mL, tarado e pesado em uma balança analítica de precisão 0,001 g (JESUS et al., 2013). A massa específica aparente das amostras foi obtida utilizando-se a equação 2.

$$\rho_a = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Em que:

ρ_a – massa específica aparente, kg m^{-3} ;

m – massa de grãos, kg;

v – volume da massa de grãos lido na proveta, m^3 .

A propriedade massa específica unitária (ρ_u), expresso em kg m^{-3} , foi determinada pela equação 3 (BOTELHO et al., 2018).

$$\rho_u = \frac{m_g}{V_g} = \frac{m_g}{V_p - V_t} \quad (3)$$

Em que:

ρ_u – massa específica unitária, kg m^{-3} ;

m_g – massa de grãos, kg;

V_g – volume dos grãos, m^3 ;

V_p – volume da massa de grãos lido na proveta, m^3 ;

V_t – volume do tolueno (óleo de soja) inserido na massa de grãos, m^3 .

Para a determinação dos eixos ortogonais, foram selecionados aleatoriamente cinquenta grãos de feijão para cada repetição, com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,001 mm determinou-se o comprimento (a), largura (b) e espessura (c), representados na Figura 1. Essa propriedade foi aferida antes e depois da secagem para cada método.

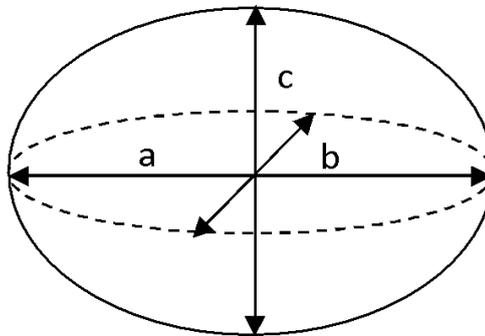


Figura 1. Desenho esquemático das dimensões do grão de feijão.
Fonte: ARAUJO et al. (2014).

Através das dimensões dos eixos ortogonais, foi calculado o volume dos grãos (V_g) antes e depois da secagem, de acordo com a expressão 4 (MOHSENIN, 1986):

$$V_g = \frac{\pi.a.b.c}{6} \quad (4)$$

Em que:

a: comprimento, mm;

b: largura, mm;

c: espessura, mm.

A contração volumétrica (Ψ) foi determinada pela relação entre o volume dos grãos (V_g) e o volume inicial para cada método de secagem, utilizando a expressão 5 (GONELI et al., 2011).

$$\Psi = \frac{V_a}{V_0} \quad (5)$$

Em que:

Ψ : contração volumétrica;

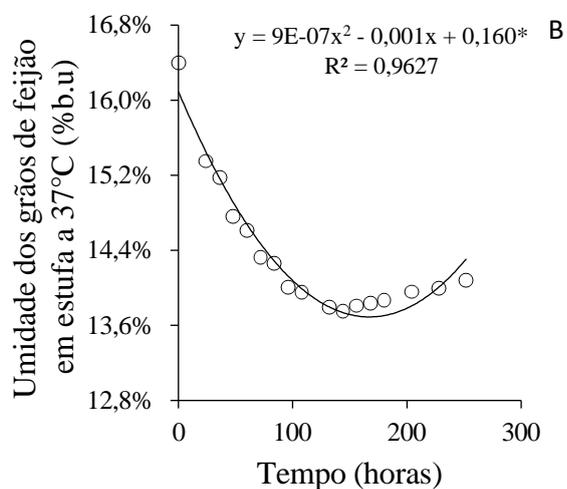
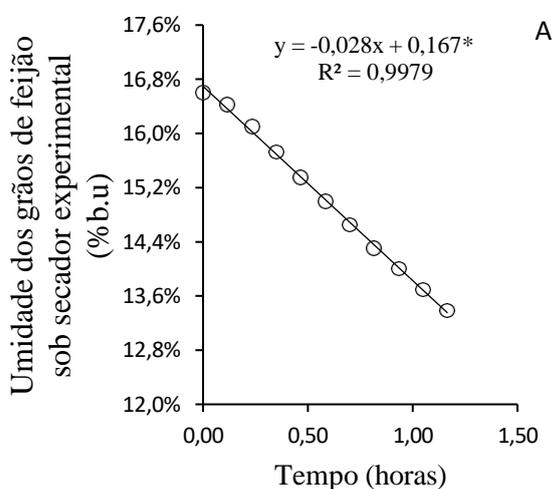
V_g : Volume dos grãos;

V_0 : volume inicial dos grãos.

Os dados experimentais dos grãos de feijão foram submetidos a análise de variância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grãos de feijão BRS Estilo reduziram umidade com o processo de secagem nos métodos utilizados, variando de 16,6% b.u para 13,39% b.u no método de secagem em secador de camada fixa experimental (Figura 2A), de 16,4% b.u para 14,08% b.u no método de secagem em estufa de ventilação forçada à 37 °C (Figura 2B), de 18,9% b.u para 16,74% b.u no método de secagem à sombra (Figura 2C), de 17,4% b.u para 15,52% b.u no método da secagem diretamente ao sol (Figura 2D). O aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando o aumento da taxa de secagem (SILVA et al., 2014). Essa observação foi vista ao Silva et al. (2014) estudarem modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de feijão guandu em uma umidade relativa do ar média de 68%.



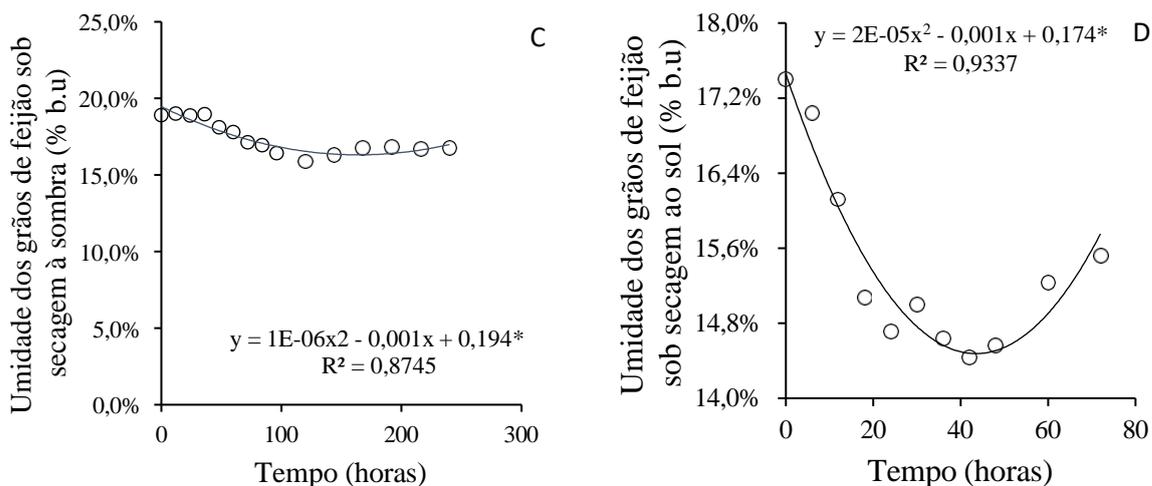


Figura 2. Umidade das amostras de grãos de feijão utilizando o secador experimental (A); Umidade das amostras de grãos de feijão utilizando a estufa de ventilação forçada (B); Umidade das amostras de grãos de feijão submetidas a secagem à sombra (C); Umidade das amostras de grãos de feijão submetidas a secagem diretamente ao sol (D). * Coeficientes significativos a 5% de intervalo de confiança pelo teste t.

Os períodos de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo foram de 1 h e 17 min; 252 h; 240 h e 72 h, respectivamente, sob os métodos de secagem em secador experimental, estufa de ventilação forçada, à sombra e secagem diretamente ao sol (Figura 2). Os métodos de secagem representados na figura 2B, 2C e 2D não foram eficazes para propiciar a redução do teor de água nas amostras dos grãos. Os dados experimentais foram realizados coincidindo com período chuvoso na região, contribuindo para a variação da umidade relativa do ar entre 47 a 84%. Dessa forma, a umidade relativa do ar estando a 84% contribuiu antecipadamente para o equilíbrio higroscópico das amostras dos grãos de feijão, com valor médio obtido de 16,13% em b.u. entre os métodos de secagem a sombra e sol.

Este fenômeno ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor entre a massa do grão e a pressão de vapor entre o ar ambiente que o envolve. Como a pressão de vapor do ar de secagem é menor que a pressão de vapor do grão, este processo possibilita a difusividade da água que desloca do interior do grão para o ar ambiente (Rodvalho et al., 2015).

Os métodos de secagem estudados não influenciaram nos eixos ortogonais das amostras dos grãos de feijão submetidas aos experimentos. Os valores dos eixos ortogonais variaram entre 10,33 mm a 10,50 mm para o eixo A, de 6,65 mm a 6,8 mm para o eixo B e de 4,62 mm à 4,72 mm do eixo C. Os valores dessa propriedade foram semelhantes aos observados por Oba et al. (2019), em seus estudos sobre secagem de sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba. Em seus estudos, Oba et al. (2019) encontrou os valores para os eixos ortogonais de 10,21 mm

a 9,34 mm para o eixo A, de 7,08 mm a 6,57 mm para o eixo B e de 5,72 mm a 5,54 mm para o eixo C, em uma faixa de teor de água de 32,18% b.u a 10,10% b.u.

Os valores da umidade final, condutividade elétrica, peso de mil grãos, massa específica e porosidade das amostras do feijão BRS Estilo submetido aos diferentes métodos de secagem estão apresentados na Tabela 1. É possível verificar que a umidade final mais próxima do desejado foi obtido pelo método do secador experimental com o valor de 12,97 % b.u. Os demais métodos propiciaram resultados diferentes do que o secador experimental, por esse método utilizou o ar de secagem com temperatura mais elevada durante o processo, com uma variação média de 45 a 95 °C. No método de secagem em estufa, a temperatura permaneceu constante em 37 °C durante todo o processo. Durante a secagem dos grãos de feijão à sombra, a temperatura variou de 26,2 °C a 32,7 °C. Enquanto que a secagem ao sol, houve uma variação média da temperatura de 26,8 °C a 44,7 °C, como está apresentado na Figura 3. O aumento da temperatura causa uma redução no tempo de secagem de grãos (ALMEIDA et al., 2013). Esses resultados corroboram com os observados por Almeida et al. (2013), ao avaliar a influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão adzuki, em 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C e 75 °C; assim, verificaram que a secagem na temperatura de 75 °C foi a que evidenciou maior velocidade da retirada de água dos grãos.

Tabela 1. Umidade final, Condutividade elétrica, Massa de mil grãos, Massa específica aparente, Massa específica unitária e Porosidade de grãos de feijão submetidos à diferentes métodos de secagem.

Método de secagem	Umidade final (%)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$)	Peso de mil grãos (g)	Massa específica aparente (kg m^{-3})	Massa específica unitária (kg m^{-3})	Porosidade (%)
Estufa	13,97 b	132,16 b	228,27 ab	793,08 a	1082,20 b	36,90 a
Secador	12,97 a	215,35 a	224,58 b	792,61 a	1085,88 a	37,07 a
Sombra	16,75 d	105,27 b	234,47 a	776,89 b	959,19 c	35,00 ab
Sol	15,52 c	121,84 b	231,91 a	773,52 b	941,37 d	33,80 b
CV (%)	0,55	13,33	1,39	0,40	0,00	3,13

CV (%) – Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

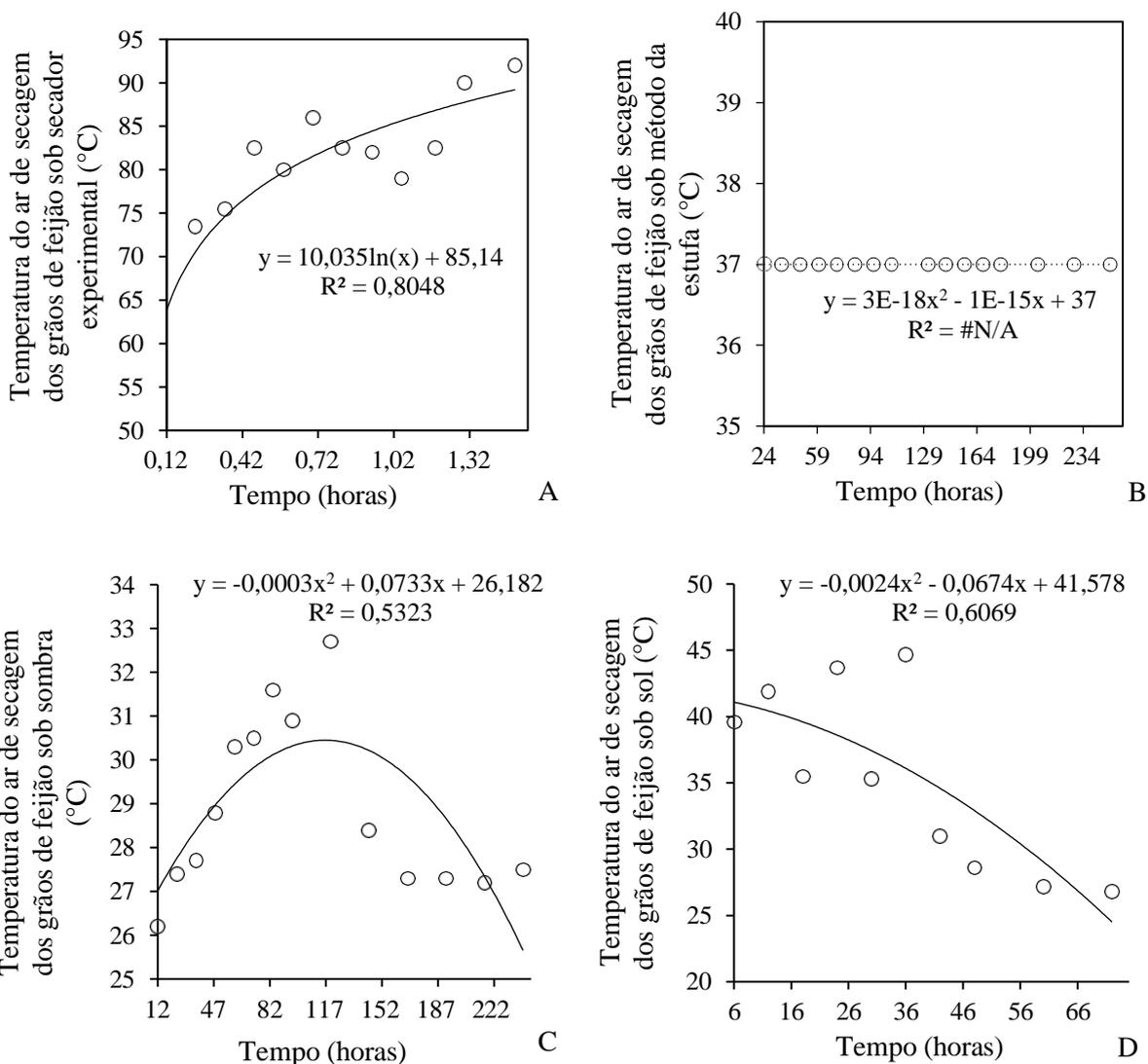


Figura 3. Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem em secador experimental (A); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem em estufa (B); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem à sombra (C); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem ao sol (D).

A condutividade elétrica da solução dos exsudatos dos grãos de feijão variou de 105,27 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ a 215,35 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, sendo o método de secagem em secador experimental que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica comparada aos demais métodos. De acordo com Botelho et al. (2015), o aumento dessa propriedade física é devido ao rompimento das membranas celulares dos grãos, assim, havendo uma perda qualitativa com o aumento da temperatura, intensificada para temperaturas do ar de secagem maiores que 60 °C. Temperaturas acima de 60 °C em ar de secagem, proporcionam redução de água no interior do produto com maior intensidade em um secador experimental, causando microfissuras em nível celular (ULLMANN et al., 2010). Resende et al. (2012) obtiveram valores semelhantes para essa propriedade ao analisar a qualidade de sementes de feijão adzuki (*Vigna angularis*)

submetidas a diversas condições de secagem. Em suas avaliações Resende et al. (2012) verificaram uma variação da condutividade elétrica de $55,7 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ a $286,9 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ para as temperaturas de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ a $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Observa-se na tabela 1 que os métodos de secagem influenciaram também no peso de mil grãos. O método do secador experimental propiciou um menor peso, com 224,58 g comparado com os demais métodos. Resultado corrobora com os observados por Silva et al. (2023) ao estudar propriedades físicas de grãos de genótipos de feijão-caupi, obtiveram uma variação de 189,37 g a 376,25 g em peso de mil grãos. Também semelhante aos obtidos por Oba et al. (2019), que avaliaram a caracterização física das sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba observaram uma variação do peso de mil grãos de 200,6 g a 266,3 g em uma faixa de umidade de 32,18 % b.u a 10,10 % b.u.

A variação da massa específica aparente dos grãos de Feijão BRS Estilo variou entre 773,52 e 793,08 kg m^{-3} . Os métodos de secagem em estufa e secador experimental promoveram uma umidade final nos grãos inferior aos demais métodos estudados. Não houve diferença significativa entre os métodos de secagem em estufa e secador experimental em relação a massa específica aparente. Assim como nos métodos de secagem ao sol e à sombra, cujo a umidade final de 15,52 % b.u e 16,75 % b.u, respectivamente, apresentam uma menor massa específica. A maioria dos produtos agrícolas pesquisados: soja (RIBEIRO et al., 2005) e feijão vermelho (RESENDE et al., 2008) obtiveram comportamento semelhante. A redução no valor da massa específica aparente com o aumento do teor de água dos grãos demonstra o aumento da massa em função do acréscimo da umidade que foi proporcional menor que a expansão volumétrica (JESUS et al., 2013).

A propriedade massa específica unitária dos grãos variou de 941,37 kg m^{-3} a 1085,88 kg m^{-3} , com a umidade de 15,52% b.u a 12,97% b.u, respectivamente. Sendo que, os métodos de secagem em secador e estufa, foram os que obtiveram uma menor umidade final dos grãos de 12,97% b.u e 13,97% b.u, assim como maiores valores de massa específica unitária sendo, 1085,88 kg m^{-3} e 1082,20 kg m^{-3} , respectivamente. Araújo et al. (2018) observaram comportamento semelhante ao avaliar as propriedades físicas de grãos de feijão caupi, que variou de 1203,6 kg m^{-3} a 1224,7 kg m^{-3} para os teores de água de 20% b.u a 9,90% b.u, respectivamente. Este fenômeno ocorre devido a redução da umidade nos grãos durante o processo de secagem, consequentemente a massa e o volume dos grãos também são reduzidos, havendo uma relação inversamente proporcional com os valores da massa específica unitária.

A porosidade dos grãos aumentou após o processo de secagem, destacando a formação de mais espaços vazios em substituição aos espaços que antes do processo de secagem eram constituídos por água, ressaltando que a redução do teor de água dos grãos tem influência sobre essa propriedade física. Os métodos que atingiram menor umidade final nos grãos de 12,97% b.u e 13,97% b.u proporcionou maiores porosidade de 37,07% e 36,9% para secagem em secador experimental e estufa, respectivamente. Este comportamento da porosidade dos grãos foi semelhante aos estudos de Vale (2021) com grãos de feijão-caupi no decorrer da secagem em estufa com circulação de ar, a temperatura de 40°C e 60°C. Vale (2021) observaram que a porosidade variou de 29,67% a 36,62%, em uma variação da umidade entre 6,11% b.u e 10,2% b.u. Também semelhante aos de Araujo et al. (2014) ao verificar em seus estudos com grãos de amendoim no decorrer da secagem em estufa com ventilação forçada, a uma temperatura de 40°C verificaram valores de porosidade entre 37,6% e 39,2%, numa faixa de umidade entre 3,84% b.u e 35,89% b.u.

Tabela 2. Volume das amostras após o período de secagem e contração volumétrica (Ψ) dos grãos de feijão BRS Estilo, em função dos diferentes métodos de secagem.

Método de secagem	Volume após a Secagem (mm ³)	Contração volumétrica (Ψ)
Secador	168,22 a	0,9587 a
Sombra	169,28 b	0,9590 b
Estufa	175,08 c	0,9842 d
Sol	177,02 d	0,9762 c

Médias seguidas por letras na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 2 apresenta os valores de volume e da contração volumétrica dos grãos de feijão BRS Estilo, antes e após os diferentes métodos de secagem. O volume inicial médio dos grãos de feijão foi de 177,75 mm³ e após o processo de secagem, houve uma redução do volume para 168,22 mm³ quando se utilizou secador experimental, 169,28 mm³ para os grãos que foram submetidos a secagem em sombra, 175,08 mm³ para secagem em estufa e 177,02 mm³ para secagem ao sol. Comportamento semelhante foi observado por Gomes et al. (2018), ao avaliar o tamanho e forma de grãos de feijão-caupi em função de diferentes teores de água. Esses autores verificaram que o volume contraiu 11,06% com a variação do teor de água de 23% b.u para 12% b.u. Essa contração deve-se possivelmente a redução do teor de água durante o processo de secagem.

A contração volumétrica dos grãos de feijão obteve valores diferentes por conta dos métodos de secagem avaliados, sendo que a secagem realizada no secador experimental foi o

tratamento que atingiu uma maior contração volumétrica de 0,9587. Os tratamentos que promoveram uma menor discrepância entre o volume dos grãos antes e depois da secagem foram os que apresentaram uma maior contração volumétrica, sendo o secador experimental com 175,44 mm³ antes da secagem e 168,22 mm³ após a secagem, condição semelhante ocorreu nos demais tratamentos: 176,45 mm³ e 169,28 mm³ para secagem na sombra; 181,28 mm³ e 177,02 mm³ para secagem no sol; 177,84 mm³ e 175,08 mm³ para secagem na estufa.

O secador de camada fixa experimental promoveu um índice de contração volumétrica de 4,13% em uma faixa de 16,6% b.u a 12,97% b.u, enquanto que o método de secagem na estufa obteve um índice de contração de 1,58% em uma faixa de 16,4% b.u a 13,97% b.u. Resultados semelhante aos observados por Oliveira et al. (2014) ao realizar a modelagem da contração volumétrica do feijão adzuki durante a secagem apresentaram um índice de contração volumétrica de 25,2% e 27,2% para as temperaturas de 60°C e 80°C, respectivamente, para um teor de água variando de 47,92% b.u a 9,10% b.u. Enquanto que Corrêa et al. (2011) obtiveram uma taxa de contração volumétrica de 25 a 37% em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

CONCLUSÃO

O método de secagem que utilizou secador de camada fixa experimental promoveu redução da umidade a níveis seguros para armazenamento de 12,97%. Porém, esse método também propiciou maiores níveis de condutividade elétrica.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. **Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki**. Científica, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 130- 137, 2013.
- ALMEIDA, D. P., RESENDE, O.; MENDES, U. C.; COSTA, L. M.; CORRÊA, P. C.; ROCHA, A. C. Influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão adzuki. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 311-315, 2013.
- ARAÚJO, M. J. I.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. C. C.; MENEZES JÚNIOR, J. A.N.; ALMEIDA, L. C. D. Propriedades físicas de grãos de feijão caupi. In: XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 47., 2018, Brasília – DF. **Anais [...]** Brasília – DF: SBEA, 2018.
- ARAÚJO, M. M. V. **Indicadores de qualidade em grãos de soja submetidos a diferentes condições de armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 84p. 2014.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p.279–286, 2014.

BARROS, S.; CÂMARA, G.; LEITE, D.; SANTOS, N.; SANTOS, F.; SOARES, T.; LIMA, A.; SOARES, T.; OLIVEIRA, M.; VASCONCELOS, U.; ALBUQUERQUE, A.; QUEIROZ, A. **Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*)**. Research, Society and Development, 9(1). 2020.

BOTELHO, F. M.; FARIA, B. M. E. M.; BOTELHO, S. C. C.; RUFFATO, S.; MARTINS, R. N. Metodologias para determinação de massa específica de grãos. **Revista Agrarian**. Dourados, v. 11, n. 41, p. 251-259, 2018.

BOTELHO, F. M.; GRANELLA, S. J.; BOTELHO, S. C. C.; GARCIA, T. R. B. **Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja**. REVENG. Viçosa – MG, v.23, n.3, 212-219p, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 395p. 2009.

COÊLHO, J. D. Feijão: produção e mercados. **Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE**, ano 6, n. 197, 2021.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; GARIN, S. A.; JAREN, C.; OLIVEIRA, G. H. H. **Mathematical models to describe the volumetric shrinkage rate of red beans during drying**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 716-726, 2011.

GOMES, F. H. F.; LOPES FILHO, L. C.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SOARES, F. A. L. Tamanho e forma de grãos de feijão-caupi em função de diferentes teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v. 26, n. 5, p. 407-416, 2018.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P.C.; MAGALHÃES, F. E. D.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.

JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. **Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água**. REVENG. Viçosa – MG, v.21, n.1, 09-18p, 2013.

KRYZYKANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 218p, 1999.

MELO L. C.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA H. S.; FARIA L. C.; COSTA J. G. C.; DÍAZ J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND A.; ABREU A. F. B. BRS Estilo: common bean cultivar

with Carioca grain, upright growth and high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, n.1, p. 377-379, 2010.

MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SUNOOJ, K. V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 4, 2013.

MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: **Gordon and Breach Publishers**, p. 841, 1986.

MONDO, V. H. V.; NASCENTE, A. S. Produtividade do feijão-comum afetado por população de plantas. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 39, p. 89-94, 2018.

MOTA, D. H. **Propriedades físicas durante a secagem e qualidade tecnológica em cultivares de feijão carioca em diferentes condições de armazenamento**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, 163 p. 2016.

OBA G. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; HARTMANN FILHO, C. P.; GONÇAVES, A. A. Caracterização física das sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, durante o processo de secagem. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 34, n. 2, p. 283-296, 2019.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; MENDES, U. C.; SMANIOTTO, T. A. S.; DONADON, J. R. **Modelagem da contração volumétrica do feijão-adzuki durante a secagem**. Científica, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 23-31, 2014.

RESENDE, O.; ALMEIDA, D.P.; COSTA, L.M.; MENDES, U.C.; SALES, J.F. **Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions**. Food Science and Technology, v. 32, n. 1, p. 151-155, 2012.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.

RIBEIRO, N. D.; DOMINGUES, L.S.; GRUHN, E. M.; ZEMOLIN, A. E. M.; RODRIGUES, J. A. Desempenho agrônômico e qualidade de cozimento de linhagens de feijão de grãos especiais. **Revista de Ciências Agrônômicas**, Lourenço Marques, v. 45, p. 92-100, 2014.

RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, Rio Verde – GO, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2015.

SANTOS, C. C.; CANEPPELE, C.; BONFIM SILVA, E. M.; CORDOVA, N. R. M. Massa específica e porosidade de grãos pelo método de complementação de líquidos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1178-1184, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa. 390 p. 2018.

SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas: estrutura, composição e propriedades dos grãos**. 2º Edição. Viçosa – MG: Aprenda Fácil, 2008.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem de grãos de guandu. **Braz. J. Food Technol**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014.

SILVA, L. S.; CARVALHO, A. L.; SIQUEIRA, W. C.; ROCHA, M. M.; BORGES, J. B.; BARBOSA, E. S.; BARBOSA, J. A. E. Physical properties of grains of cowpea genotypes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 27, n. 3, p. 216-222, 2023.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O feijão comum no Brasil passado, presente e futuro**. Santo Antônio de Goiás-GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2013.

SOUSA, F. C.; MARTINS J. J. A.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; PESSOA, T.; MARTINS, J. N. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 195-200, 2015.

ULLMANN, R; RESENDE, O; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 442-447, 2010.

VALE, E. C. C.; MONTEIRO, N. SILVA. **Influência da secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp)**. TCC (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém – PA, 42p. 2021.