

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
JULIANO SILVA QUEIROZ

CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE FEIJÃO
CULTIVAR BRS ESTILO

CERES – GO
2021

JULIANO SILVA QUEIROZ

**CINÉTICA DE SECAGEM E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE FEIJÃO
CULTIVAR BRS ESTILO**

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 Rodovalho.

**CERES – GO
2021**

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

Q3° Tc Queiroz, Juliano Silva
Cinética de Secagem e Propriedades Termodinâmicas
de Feijão Cultivar BRS Estilo / Juliano Silva
Queiroz; orientadora Renato Souza Rodvalho. --
Ceres, 2021.
17 p.

Monografia (Graduação em Bacharelado em Agronomia)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2021.

1. Difusividade. 2. Energia livre de Gibbs. 3.
Phaseolus vulgaris L. I. Rodvalho, Renato Souza,
orient. II. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

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:
Matrícula:
Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 21/03/21

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 incluídos 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
Local

12/03/21
Data

Juliano Silva Queiroz

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Ranessa S. Roberto
Assinatura do(a) orientador(a)



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

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos dezoito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do acadêmico Juliano Silva Queiroz, do Curso de Bacharelado em Agronomia, matrícula 2014103200210427, cujo título é "Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas de feijão cultivar BRS Estilo". A defesa iniciou-se às 19 horas e 00 minutos, finalizando-se às 20 horas e 46 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 8,36 no trabalho escrito, média 7,53 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final de 7,94 pontos, estando o 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 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.

(Assinado Eletronicamente)
Renato Souza Rodovalho

(Assinado Eletronicamente)
Ariel Muncio Compagnon

(Assinado Eletronicamente)
Mairon Marques dos Santos

Documento assinado eletronicamente por:

- Ariel Muncio Compagnon, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2021 20:40:08.
- Mairon Marques dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2021 20:39:35.
- Renato Souza Rodovalho, GERENTE - CD4 - GE-CE, em 18/02/2021 20:38:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/02/2021. 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: 239244
Código de Autenticação: a8c74cb309



AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos:

A Deus, por todas as bênçãos concedidas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Souza Rodovalho, pela amizade, carinho, disponibilidade, paciência, dedicação, profissionalismo e orientação ao longo de todos esses anos.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Maria Cleonita da Silva Queiroz e Lourenço Pereira de Queiroz, por todo amor, carinho e apoio.

A minha namorada Kátia Freitas Silva, por estar ao meu lado, ajudando-me a alcançar meus objetivos.

Aos amigos Samuel Santos, Altamir Neto, Gabriel Batista, Lucas Mendes, Jéssica Patrícia, Lays Português, Leonardo Mariano, Maurilio Damascena, Murilo Lopes, Manoel Neto e Wesley Magalhães que sem dúvida alguma fizeram parte dos mais difíceis e também dos melhores momentos desta jornada.

Aos professores do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres pelos ensinamentos.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres pela oportunidade e a todos seus funcionários.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, minha eterna gratidão!

“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem, menos a sua ganância”.

Mahatma Gandhi

RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais tradicionais pratos da culinária brasileira, merecendo assim atenção de estudiosos das diversas áreas do conhecimento. A secagem consiste na remoção de grande parte de água inicialmente contida no produto com o intuito de promover longos períodos de armazenamento. O ajuste de modelos matemáticos ao processo de secagem contribui para a melhoria da eficiência do processo e permite estimar o tempo de secagem. Objetivou-se, neste trabalho, estimar as curvas de secagem dos grãos de feijão da Cultivar BRS Estilo, bem como obter o coeficiente de difusão efetiva e as propriedades termodinâmicas nas temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C. Aos dados experimentais foram ajustados diversos modelos matemáticos utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas. Dentre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o de Henderson e Pabis Modificado foi o que melhor se ajustou aos dados nas diferentes condições de secagem. O aumento da temperatura do ar de secagem proporciona o aumento da energia livre de Gibbs e da difusividade de água nos grãos, reduz a entalpia e, mantém a entropia negativa.

Palavras-chave: Difusividade. Energia livre de Gibbs. *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most traditional dishes of Brazilian cuisine, thus deserving the attention of scholars from different areas of knowledge. Drying consists of removing much of the water initially contained in the product in order to promote long periods of storage. Adjusting mathematical models to the drying process contributes to improving the efficiency of the process and allows estimating the drying time. The objective of this work was to estimate the drying curves of the beans of Cultivar BRS Estilo, as well as to obtain the effective diffusion coefficient and thermodynamic properties at drying temperatures of 60, 70 and 80 °C. To the experimental data, several mathematical models were used to represent the drying of agricultural products. Among the models that showed better adjustment to the experimental data, Henderson and Pabis modified was the one that best fitted the data under the different drying conditions. The increase in the temperature of the drying air increases the Gibbs free energy and the diffusivity of water in the grains, reduces enthalpy and maintains negative entropy.

Keywords: Gibbs free energy. Diffusivity. *Phaseolus vulgaris* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Valores médios da razão do teor de água (RX) dos grãos da cultivar BRS Estilo (decimal) em função do tempo de secagem (minutos) em três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80 °C).08**
- Figura 2 – Curva de secagem de grãos de feijão da cultivar BRS Estilo ajustadas ao modelo de Henderson e Pabis Modificado submetidas a diferentes situações de secagem..... 12**
- Figura 3 – Valores do Ln do coeficiente de difusão efetiva (D_{ef}) ($m^2 s^{-1}$) obtidos para secagem dos grãos feijão da cultivar BRS Estilo relacionadas ao inverso da temperatura absoluta ($1/T_a$). 13**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem do feijão da cultivar BRS Estilo ajustado aos dados experimentais de razão do teor de água	04
Tabela 2 – Valores dos coeficientes de determinação (R^2), dos erros médios estimados (SE), teste do qui-quadrado (X^2) e distribuição dos resíduos (Dist.) para os modelos matemáticos avaliados.....	09
Tabela 3 – Coeficientes dos modelos Henderson e Pabis Modificado, Midilli e Midilli modificado para as diferentes temperaturas de secagem de feijão da cultivar BRS Estilo	10
Tabela 4 – Propriedades termodinâmicas, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) obtidas pela cinética de secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo nas temperaturas do ar de 60, 70 e 80 °C.....	14

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	02
MATERIAL E MÉTODOS	03
RESULTADOS E DISCUSSÃO	07
CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS.....	15

Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas de feijão cultivar BRS

Estilo

Drying kinetics and thermodynamic properties of beans cultivar BRS Estilo

QUEIROZ, Juliano Silva; RODOVALHO, Renato Souza

Resumo - O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de importância agrícola, alimentar e socioeconômica. A secagem é um dos processos pós-colheita que proporciona o armazenamento do grão por longos períodos, sem comprometer a sua qualidade nutricional. Assim, o ajuste de modelos matemáticos ao processo de secagem contribui para a melhoria da eficiência do processo e permite estimar o tempo de secagem. Objetivou-se, neste trabalho, estimar as curvas de secagem dos grãos de feijão da Cultivar BRS Estilo, bem como obter o coeficiente de difusão efetiva e as propriedades termodinâmicas nas temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C. Aos dados experimentais foram ajustados a vários modelos matemáticos utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas. Dentre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o de Henderson e Pabis Modificado foi o que melhor se ajustou aos dados nas diferentes condições de secagem. O aumento da temperatura do ar de secagem proporciona aumento da energia livre de Gibbs e da difusividade de água nos grãos, reduz a entalpia e, mantém a entropia negativa.

Palavras-chave adicionais: difusividade; energia livre de Gibbs; *Phaseolus vulgaris* L.

Abstract - The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a legume of agricultural, food and socioeconomic importance. Drying is one of the post-harvest processes that provides grain storage for long periods, without compromising its nutritional quality. Thus, the adjustment of mathematical models to the drying process contributes to improving the efficiency of the process and allows estimating the drying time. The objective of this work was to estimate the drying curves of the bean grains of Cultivar BRS Estilo, as well as to obtain the effective diffusion coefficient and thermodynamic properties at drying temperatures of 60, 70 and 80 °C. The experimental data were adjusted to various mathematical models

used to represent the drying of agricultural products. Among the models that showed the best fit to the experimental data, Henderson and Pabis Modified was the one that best fit the data under different drying conditions. The increase in the temperature of the drying air provides an increase in Gibbs free energy and water diffusivity in the grains, reduces enthalpy and maintains negative entropy.

Additional Keywords: Gibbs free energy; Diffusivity; *Phaseolus vulgaris* L.

Introdução

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de importância agrícola e alimentar, sendo amplamente distribuído em todo o território brasileiro, cultivado por pequenos, médios e grandes produtores, destacando-se como um produto agrícola de grande importância socioeconômica (Santos et al., 2015). Com o intuito de adiantar a colheita, os grãos de feijão podem ser colhidos com teores de água elevados, dificultando assim o armazenamento, sendo necessário a realização do processo de secagem.

A secagem consiste na remoção de grande parte de água inicialmente contida no produto logo após a maturidade fisiológica, para que promova longos períodos de armazenamento, sem que ocorra perdas significativas durante o processo (Sousa et al., 2015). Ainda, com a realização da secagem é possível a antecipação da colheita, a minimização de perda de produtos no campo, o armazenamento por períodos mais longos, a manutenção do poder germinativo e, a redução do desenvolvimento de micro-organismos e insetos (Resende et al., 2018). Cada processo de secagem apresenta um comportamento único, admitindo as particularidades de cada produto, em relação às suas características físicas e sua composição química (Araujo et al., 2014), além das suas propriedades termodinâmicas.

Segundo Radünz et al. (2011), é importante o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de secagem na tomada de decisão, pois estes contribuem na melhoria da eficiência do processo. Neste contexto, vários modelos matemáticos estão presentes na literatura e estão sendo utilizados para simulação do processo de secagem (Prates et al., 2012).

O estudo modelagem matemática da cinética de secagem têm despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diversos produtos: amendoim (Araujo et al., 2017), café (Corrêa et al., 2010), feijão-caupi (Morais et al., 2013; Camicia et al., 2015), mandioca (Castiglione et al., 2013), arroz

(Meneghetti et al., 2012), entre outros. Dentre vários modelos testados, para os diferentes tipos de alimentos supracitados, o modelo de Page, Midilli, Midilli modificado e Henderson e Pabis Modificado foram os que apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais.

Por meio do estudo da cinética de secagem é possível determinar as propriedades termodinâmicas dos alimentos, que são de grande importância, pois fornecem informações para projeção de equipamentos de secagem; para cálculo da energia requerida neste processo e para estudo das propriedades da água adsorvida (Corrêa et al., 2010, Viganó et al., 2012).

Embora encontre uma série de trabalhos relacionadas a pós-colheita de feijão, existem cultivares que ainda precisam de mais informações, sendo a BRS Estilo uma delas. Visto que cada produto/cultivar se ajusta melhor a uma dada condição de secagem e a um modelo matemático específico para prever o seu comportamento de secagem, objetivou-se, neste trabalho, estimar as curvas de secagem dos grãos de feijão da Cultivar BRS Estilo, bem como obter o coeficiente de difusão efetiva e as propriedades termodinâmicas nas temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Química instrumental, do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Ceres, GO. Foram utilizadas sementes de feijão da cultivar BRS Estilo produzidas na área experimental da mesma instituição, no ano de 2017. As coordenadas do local são: latitude S 15° 21' 00" e longitude W 49° 35' 57". O clima na região é Aw de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seco na temporada de inverno (Cardoso et al., 2014).

Ao chegar no laboratório, as amostras, foram submetidas à determinação do teor de água dos grãos em base seca (b.s.), utilizando o método de estufa ventilada a 105 ± 1 °C durante 24 h, em triplicata (ASAE, 2000). Obteve-se um teor de água de 11%, assim, foi necessário realizar o umedecimento para que fosse possível realizar a secagem. O umedecimento foi realizado adicionando água destilada às amostras, a qual foram acondicionadas em embalagens plásticas e armazenadas em geladeira por 4 dias.

Após o processo de umedecimento, o teor de água dos grãos em base seca (ASAE, 2000) foi determinado novamente, obtendo um valor de 20%. Logo após, as amostras foram acondicionadas em placas de Petri, dando início ao processo de secagem em estufa de circulação forçada, utilizando três

temperaturas, sendo 60, 70 e 80 °C, e quatro repetições de aproximadamente 40 g para cada temperatura, totalizando 160 g por tratamento. Durante o processo de secagem, as amostras foram pesadas 4 vezes ao dia, utilizando uma balança analítica digital com precisão de 0,0001 g. As secagens das amostras, nas três temperaturas estudadas, foram realizadas na mesma estufa, dessa forma, antes de cada etapa de secagem era realizada a adsorção, para que todas as amostras fossem trabalhadas na mesma condição de teor de água.

Ao final do processo de secagem, foi determinado o teor de água em base seca, e posteriormente, realizado o cálculo da razão do teor de água (RX) durante os processos de secagem pela Equação 1.

$$RX = \frac{(X - X_e)}{(X_i - X_e)} \quad (1)$$

Em que: X - teor de água do produto, decimal b.s.; X_i - teor de água inicial do produto, decimal b.s.; X_e - teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

A partir do RX de cada condição de secagem, realizou-se o ajuste dos diferentes modelos matemáticos de regressão não-linear (frequentemente utilizados para representar a cinética de secagem em produtos agrícolas) aos dados experimentais obtidos (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos de regressão não-linear utilizados para prever o fenômeno de secagem do feijão da cultivar BRS Estilo ajustado aos dados experimentais de razão do teor de água.

Table 1. Nonlinear regression models used to predict the drying phenomenon of beans from cultivar BRS Estilo compatible with the experimental data of the water content ratio.

Designação do modelo	Modelo	Equação N°
Aproximação por Difusão	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k b t)$	2
Dois termos	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_1 t)$	3
Henderson e Pabis Modificado	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_1 t) + c \exp(-k_2 t)$	4
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k a t)$	5
Logarítmico	$RX = a \exp(-k t) + b$	6
Newton	$RX = \exp(-k t)$	7

Midilli	$RX=a \exp(-k t b)+c t$	8
Midilli modificado	$RX=\exp(-k t n)+a t$	9
Page modificado	$RX=\exp(-(k t n))$	10
Page	$RX=\exp(-k t n)$	11

Em que: RX - razão do teor de água do produto (adimensional); t - período de secagem (horas); k, k₁, k₂- coeficiente de secagem; a, b, c e n - constantes empíricas dos modelos.

Foram estimados os valores dos parâmetros dos modelos, em função da variável independente do tempo, para cada temperatura.

Na seleção dos melhores modelos para representar a cinética de secagem dos grãos de feijão cultivar BRS Estilo, foram considerados a significância dos coeficientes de regressão pelo teste t, adotando nível de 5% de probabilidade, a magnitude do coeficiente de determinação ajustado pelo modelo (R²), o erro médio estimado (SE) (equação 12), o teste do qui-quadrado (X²) (equação 13), a distribuição dos resíduos e a significância dos parâmetros dos modelos. Para a recomendação do modelo matemático de cinética de secagem, foi verificado o R² mais próximo à unidade, valores de SE e X² mais reduzidos e distribuição aleatória dos resíduos. A análise do comportamento dos resíduos gerado pelo modelo foi considerada aleatória quando os valores residuais se encontram em uma zona horizontal próximo de zero (Corrêa et al., 2014).

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (12)$$

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y - \hat{Y})^2}{GLR} \quad (13)$$

Em que: SE – erro médio estimado; n – número de casos; Y – valor experimental; \hat{Y} – valor estimado; GLR – grau de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de coeficientes do modelo).

O volume do grão de feijão da cultivar BRS Estilo foi calculado pela Equação 14, proposta por Mohsenin (1986), sendo calculada por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento,

largura e espessura), em 50 grãos, com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,02 mm. Posteriormente, foi calculado o raio médio estimado do volume da esfera pela Equação 15.

$$V_g = \pi \frac{A B C}{6} \quad (14)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 V_g}{4 \pi}} \quad (15)$$

Em que: V_g – volume do grão, m^3 ; A – maior eixo do grão, m ; B – eixo intermediário do grão, m ; C – menor eixo do grão, m ; r – raio equivalente da esfera, m .

A partir dos eixos ortogonais obtidos, realizou-se o ajuste do modelo da difusão líquida para forma geométrica esférica, aos dados experimentais da secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo, e determinou-se o coeficiente de difusão efetiva (D_{ef}). Essa equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica do produto como esférica descrita pela Equação 16 (Camicia et al. 2015).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[-\frac{n^2 \pi^2 D_{ef} t}{r^2_{eq}} \right] \quad (16)$$

Em que: RX – razão de água, adimensional; X – teor de água do grão, b.s.; X_i – teor de água inicial do grão, b.s.; X_e – teor de água de equilíbrio do grão, b.s.; D_{ef} – coeficiente de difusão efetiva, $m^2 s^{-1}$; n – número de casos (termos); t – tempo, s ; r – raio médio do grão de feijão.

A relação entre o coeficiente de difusão efetiva (D_{ef}) e a temperatura do ar de secagem foi realizado pelo modelo de Arrhenius (Equação 17).

$$D_{ef} = D_0 \exp \left[-\frac{E_a}{R T_a} \right] \quad (17)$$

Em que: D_0 – fator pré-exponencial, $m\ s^{-1}$; E_a – energia de ativação, $J\ mol^{-1}$; R – constante universal dos gases, $8,314\ J\ (mol\ K^{-1})$; T_a – temperatura absoluta, K .

As propriedades termodinâmicas entalpia específica (Equação 18), entropia específica (Equação 19) e energia livre de Gibbs (Equação 20), relacionadas ao processo de secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo, foram determinadas através do método descrito por Jideani & Mpotokwana (2009).

$$\Delta H = E_a - R T_a \quad (18)$$

$$\Delta S = R \left[\ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_P}\right) - \ln(T_a) \right] \quad (19)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_a \Delta S \quad (20)$$

Em que: ΔH – entalpia, $J\ mol^{-1}$; ΔS – entropia, $J\ mol^{-1}$; k_B – constante de Boltzmann, $1,38\ 10^{-23}\ J\ K^{-1}$; h_P – constante de Planck, $6,626\ 10^{-34}\ J\ s^{-1}$.

Os ajustes dos modelos matemáticos, as regressões e os gráficos foram obtidos com auxílio do Excel e *software Statistica 7.0*.

Resultados e discussão

O teor de água inicial dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo foi de 0,2 (b.s.) no qual foi reduzido para 0,02 (b.s.) no final do processo de secagem. O tempo de secagem foi de aproximadamente 60 horas para todas as temperaturas de secagem. Dessa forma, verifica-se que o tempo de secagem diminuiu com o aumento da temperatura (Figura 1), situação também observada em grãos de feijão cultivar IPR Tangará, grãos de feijão Guandu e grãos de feijão Adzuki (Quequeto et al., 2017, Maia et al., 2019, Almeida et al., 2009). De acordo com Goneli et al. (2014), a redução do tempo de secagem com o aumento da temperatura pode ser explicada devido ao aumento do gradiente de pressão de vapor entre o ar de secagem e o ar no interior do grão. Assim, a secagem com a

temperatura mais alta, resulta em um menor gasto de energia, em decorrência do menor tempo gasto no processo da remoção de água (Ferrari Filho et al., 2010).

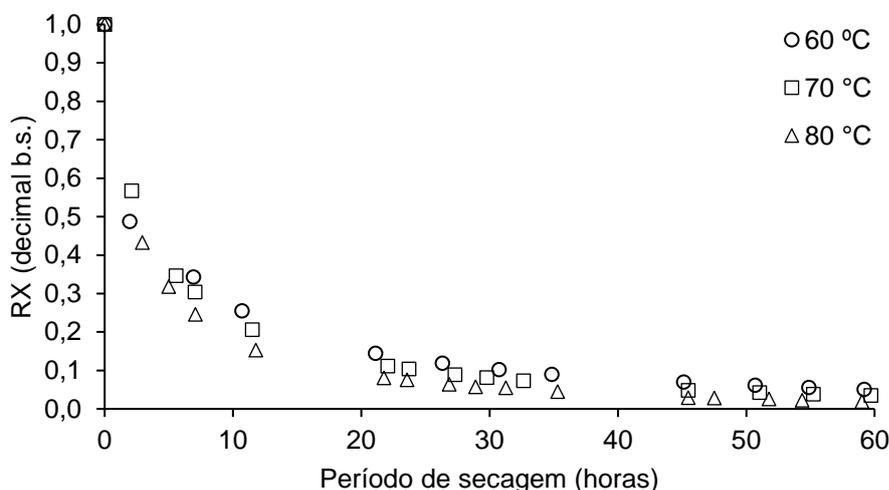


Figura 1. Valores médios da razão do teor de água (RX) dos grãos da cultivar BRS Estilo (decimal) em função do tempo de secagem (minutos) em três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80 °C).

Figure 1. Average values of the water content ratio (RX) of the grains of cultivar BRS Estilo (decimal) as a function of drying time (minutes) at three drying air temperatures (60, 70 and 80 °C).

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros estatísticos usados para comparar os modelos testados para descrever a cinética de secagem de grãos de feijão da cultivar BRS Estilo. Para as três temperaturas estudadas, todos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficiente de determinação (R^2) superior a 90%. Contudo, os modelos de Midilli, Midilli Modificado e Henderson e Pabis Modificado obtiveram os maiores valores de R^2 , sendo estes foram superiores a 96%. Segundo Karizaki (2016), valores mais altos de R^2 indicam que o modelo teve bom ajuste aos dados experimentais. Todavia, o uso isolado deste parâmetro não é suficiente para caracterizar ajuste adequado de modelos não-lineares (Corrêa et al., 2015), sendo necessário realizar uma análise aprimorada com outros parâmetros estatísticos. Logo, os valores obtidos do erro médio estimado (SE) e o teste do qui-quadrado (X^2) foram considerados.

Verifica-se, ainda na Tabela 2, que o modelo Logarítmo foi o que apresentou maiores valores de SE e X^2 , conseqüentemente, não é recomendado. Já os modelos Midilli, Midilli Modificado e Henderson e Pabis Modificado foram os que obtiveram, para todas as temperaturas de secagem,

menores valores de SE e X^2 . De acordo com Corrêa et al. (2014), quanto menores os valores de SE melhor o ajuste do modelo aos dados observados.

Em relação a distribuição de resíduos constata-se que Midilli, Midilli Modificado e Henderson e Pabis Modificado apresentaram distribuição aleatória para as três temperaturas de secagem, demonstrando assim, adequados para descrever a secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo (Tabela 2). Segundo Goneli et al., (2009), um modelo matemático deve apresentar distribuição aleatória para representar o processo de secagem de forma adequada, ou seja, se os valores dos resíduos se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero.

Tabela 2. Valores dos coeficientes de determinação (R^2), dos erros médios estimados (SE), teste do qui-quadrado (X^2) e distribuição dos resíduos (Dist.) para os modelos matemáticos avaliados.

Table 2. Values of the determination coefficients (R^2), estimated mean errors (SE), chi-square test (X^2) and residual distribution (Dist.) for the mathematical models evaluated.

Modelos matemáticos	Temperatura (°C)	R ²	SE	X ²	Dist
		%			
Aproximação por Difusão	60	96,60	0,134	0,017	T
	70	99,48	0,072	0,005	T
	80	99,86	0,044	0,001	A
Dois termos	60	96,60	0,134	0,017	T
	70	99,48	0,072	0,005	A
	80	99,86	0,044	0,001	A
Logarítmo	60	92,42	0,176	0,030	T
	70	97,89	0,116	0,013	T
	80	98,57	0,096	0,009	T
Midilli	60	97,08	0,128	0,016	T
	70	96,42	0,067	0,004	A
	80	99,93	0,034	0,001	A
Midilli Modificado	60	97,08	0,128	0,016	A
	70	99,60	0,067	0,004	A
	80	99,93	0,034	0,001	A

Page Modificado	60	97,06	0,128	0,016	A
	70	99,52	0,072	0,005	A
	80	99,90	0,039	0,001	A
Page	60	97,06	0,128	0,016	A
	70	99,52	0,072	0,005	A
	80	99,90	0,039	0,001	A
Henderson e Pabis Modificado	60	97,32	0,124	0,015	A
	70	99,64	0,064	0,004	A
	80	99,96	0,028	0,82 10 ⁻³	A

*T - Comportamento tendencioso a distribuição dos resíduos; **A - Comportamento aleatório da distribuição dos resíduos.

Em relação aos critérios de seleção do R², SE e X², nota-se que os modelos Midilli, Midilli Modificado e Henderson e Pabis Modificado são os que apresentaram melhores resultados. Todavia, verifica-se na Tabela 3 que apenas Henderson e Pabis Modificado apresentou todos os parâmetros do modelo significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. Portanto, Henderson e Pabis Modificado é o modelo mais adequado para representar o processo de secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Ainda na Tabela 3, para o modelo de Henderson e Pabis Modificado, verifica-se que somente os parâmetros “k” e “k1” aumentaram com o aumento da temperatura, enquanto que os demais não apresentaram tendência de comportamento. Segundo Babalis & Belessiotis (2004), o coeficiente (k), que representa as condições externas de secagem, pode ser utilizado como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionado com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente e à difusão líquida que controla o processo.

Tabela 3. Coeficientes dos modelos Henderson e Pabis Modificado, Midilli e Midilli Modificado para as diferentes temperaturas de secagem de feijão da cultivar BRS Estilo.

Table 3. Coefficients of the Henderson and Modified Pabis, Midilli and Modified Midilli models for the different bean drying temperatures of the BRS Estilo cultivar.

Modelos matemáticos	Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo						
		A	k	b	k1	c	k2	N

Henderson e Pabis Modificado	60	0,4939*	0,0928*	0,0775*	0,0010*	0,4284*	25,0000*
	70	0,4341*	0,1403*	0,4013*	0,7200*	0,1647*	0,0266*
	80	0,4901*	0,2051*	0,3401*	1,1252*	0,1696*	0,0373*
Midilli	60	0,9983*	0,5103*	0,0002			0,4295*
	70	1,0014*	0,3835*	0,0003*			0,5792*
	80	1,0003*	0,4708*	0,0002*			0,5527*
Midilli Modificado	60	0,0002*	0,5118*				0,4287*
	70	0,0003*	0,3824*				0,5799*
	80	0,0002*	0,4706*				0,5528*

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t, a, k, b, k1, c, k2 e n parâmetros do modelo.

Na Figura 2 verifica-se as curvas de secagem de grãos de feijão da cultivar BRS Estilo obtidas a partir do modelo Henderson e Pabis Modificado para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Constatou-se que o modelo Henderson e Pabis Modificado foi capaz de simular as diferentes condições de secagem de forma satisfatória, adequando-se bem aos dados experimentais. Tal modelo também apresentou resultados satisfatórios para simulação de secagem de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), grãos de feijão adzuki (*Vigna angularis*) e café natural (Morais et al., 2013, Resende; Ferreira; Almeida, 2010, Alves et al., 2013).

Observa-se que no início do processo de secagem houve uma intensa redução do teor de água, após este período, a redução ocorre de forma mais lenta. Demonstrando a dificuldade de se retirar água do produto ao atingir o equilíbrio entre o produto e o ar de secagem, pois nesse período a resistência interna ao transporte de água se torna maior que a resistência externa (Sousa et al., 2016).

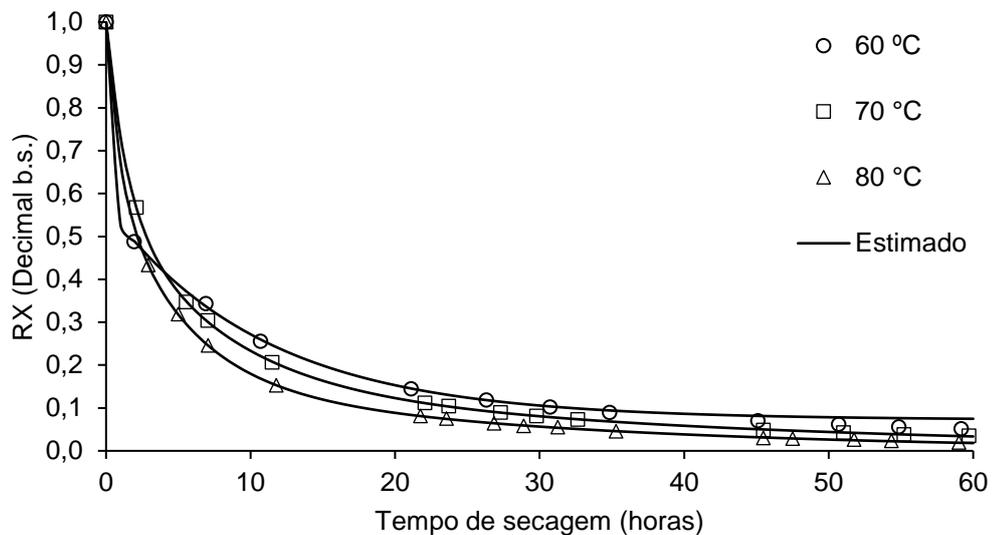
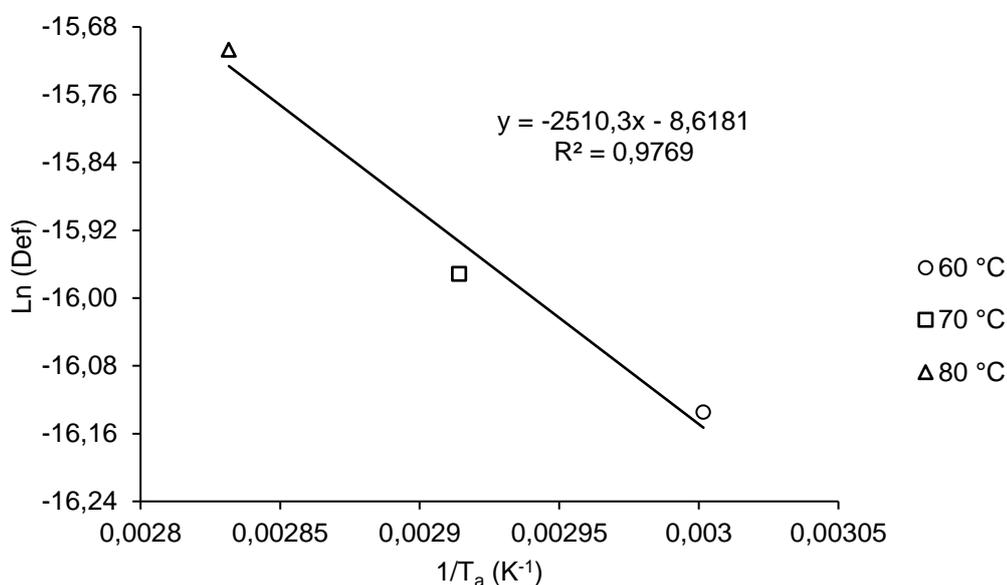


Figura 2. Curva de secagem de grãos de feijão da cultivar BRS Estilo ajustadas ao modelo de Henderson e Pabis Modificado submetidas a diferentes situações de secagem.

Figure 2. Drying curve of bean grains of the BRS Estilo cultivar adjusted to the Henderson and Modified Pabis model submitted to different drying situations.

Na Figura 3 verifica-se os valores de $\ln(D_{ef})$ em função do inverso da temperatura absoluta, para os grãos de feijão da cultivar BRS Estilo. Nota-se que, para a faixa de temperaturas estudada, a variação da difusividade apresenta comportamento uniforme, linear e decrescente. A reta obtida indica a uniformidade de variação da difusividade com a variação da temperatura (Morais et al., 2013).

A energia de ativação (E_a), para o modelo da difusão líquida das fatias dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo, foi de $21,680 \text{ kJ mol}^{-1}$. Este valor foi ligeiramente menor que os encontrados por Quequeto et al. (2017), que trabalharam com feijão da cultivar IPR Tangará e Camicia et al. (2015) que trabalharam com feijão-caupi, nas quais a energia de ativação foram de $25,896 \text{ kJ mol}^{-1}$ e $35,04 \text{ kJ mol}^{-1}$, respectivamente. Já Almeida et al. (2009), estudando a difusão líquida do feijão adzuki, para a faixa de temperatura de 30 a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, relatam o valor da energia de ativação ligeiramente superior ao presente trabalho, na ordem de $31,16 \text{ kJ mol}^{-1}$ para feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Corrêa et al. (2007) afirmaram, que a E_a consiste na facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração no interior do produto, sendo que, quanto menor a E_a , maior será a difusividade da água no produto durante o processo de secagem.



Figuras 3. Valores do Ln do coeficiente de difusão efetiva (D_{ef}) ($m^2 s^{-1}$) obtidos para secagem dos grãos feijão da cultivar BRS Estilo relacionadas ao inverso da temperatura absoluta ($1/T_a$).

Figures 3. Ln values of the effective diffusion coefficient (D_{ef}) ($m^2 s^{-1}$) obtained for drying the beans grains of the cultivar BRS Estilo related to the inverse of the absolute temperature ($1/T_a$).

Na Tabela 4, verifica-se as propriedades termodinâmicas para os grãos de feijão da cultivar BRS Estilo para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C. Em relação a entalpia (ΔH), nota-se que a mesma reduziu com o aumento da temperatura. Os menores valores de entalpia indicam menor energia necessária para remover a água ligada ao produto durante a secagem (Oliveira et al., 2010). O presente trabalho apresentou, menor valor de entalpia para temperaturas mais elevadas de secagem, indicando que menor quantidade de energia é requerida para que a secagem ocorra em temperaturas mais altas. Os valores de entalpia para o processo de secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo foram de 18, 9104; 18,8272; e 18,7441 $kJ mol^{-1}$ para as temperaturas de 60, 70 e 80°C, respectivamente. Morais et al. (2013) encontraram valores ligeiramente maiores que o presente trabalho, onde a entalpia variou de 23,2928 a 23,1265 $kJ mol^{-1}$. Essa diferença entre os dois trabalhos, ocorreu devido a diferença nas condições de secagem e peculiaridades de cada cultivar, tais como forma, massa, entre outros.

Em relação a entropia, os valores encontrados foram de -0,3151; -0,3154; e -0,3156 kJ mol⁻¹ K⁻¹, para as temperaturas de 60, 70 e 80 °C (Tabela 4), na qual percebe-se que a entropia apresentou mesmo comportamento da entalpia, diminuindo com o aumento da temperatura. Quequeto et al. (2017) trabalhando com secagem de grãos de feijão da cultivar IPR Tangará, nas temperaturas de 40, 45, 50, 55 e 60 °C, encontraram valores de entropia entre -0,3459 e -0,3465 kJ mol⁻¹, que também diminuíram com o aumento da temperatura. Sousa et al. (2016) explicam que a entropia é uma função de estado, associada ao grau de ordem ou desordem, ou seja, o grau de liberdade das moléculas de água do sistema (água-grão). Assim, no processo de secagem, à medida que se remove água em função da temperatura, também se remove graus de liberdade e naturalmente a entropia diminui.

Tabela 4. Propriedades termodinâmicas, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) obtidas pela cinética de secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo nas temperaturas do ar de 60, 70 e 80 °C.

Table 4. Thermodynamic properties, enthalpy (ΔH), entropy (ΔS) and Gibbs free energy (ΔG) obtained by the drying kinetics of beans from cultivar BRS Estilo at air temperatures of 60, 70 and 80 °C.

Temperatura (°C)	ΔH (kJ mol ⁻¹)	ΔS (kJ mol ⁻¹)	ΔG (kJ mol ⁻¹)
60	18,9104	-0,3151	123,8927
70	18,8272	-0,3154	127,0452
80	18,7441	-0,3156	130,2000

Ainda na Tabela 4, nota-se que os valores da energia livre de Gibbs (ΔG) aumentaram (123,8927; 127,0452 e 130,2000 kJ mol⁻¹) com a elevação da temperatura (60, 70 e 80 °C). Verifica-se também que os valores da energia livre de Gibbs foram positivos, caracterizando uma reação endotérmica, isto é, uma fonte de energia externa é necessária para elevar o nível de energia e transformar os reagentes em seu estado líquido para vapor (Ong et al., 2013). Dessa forma, conclui-se que o processo de secagem não foi espontâneo, sendo necessária a adição de energia ao meio, para que ocorresse a redução do teor de água.

Observou-se que no estudo de secagem de grãos de feijão da cultivar IPR Tangará, realizado por Quequeto et al. (2017), também foi trabalhada a temperatura de 60 °C, e nesta temperatura os

autores obtiveram valor de 138,5511 kJ mol⁻¹ para energia livre de Gibbs. No presente trabalho, essa mesma temperatura, resultou em uma energia livre de Gibbs de 123,8927 kJ mol⁻¹ (Tabela 4). Observa-se, o produto avaliado nos dois trabalhos foi feijão, no entanto de cultivares diferentes, o qual apresentam características diferentes, influenciando no processo de secagem. Outro fato importante é que no presente trabalho, a secagem foi realizada em estufa e o modelo de Henderson e Pabis Modificado apresentou melhor ajuste aos dados, e no trabalho de Quequeto et al. (2017), a secagem foi realizado em secador experimental e o modelo de Page foi o escolhido para representar o fenômeno da secagem.

Observa-se que o produto e as condições de secagem que estes são submetidos, podem influenciar o processo de secagem, demonstrando a importância dos estudos do comportamento da secagem, contribuindo para melhoria dos processos, bem como dimensionamento de equipamentos.

Conclusões

O modelo Henderson e Pabis Modificado é recomendado para representar a cinética de secagem dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo nas temperaturas do ar de 60, 70 e 80 °C.

O coeficiente de difusão efetiva aumenta com a elevação da temperatura do ar de secagem.

A energia livre de Gibbs aumenta com o incremento da temperatura enquanto a entalpia e a entropia decrescem.

Referências

Almeida DP, Resende O, Costa LM, Mendes UC, Sales JDF (2009) Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). *Global Science And Technology* 2(1): 72-83.

Alves GE, Isquierdo EP, Borém FM, Siqueira VC, Oliveira PD, Andrade ET (2013) Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. *Coffee Science* 8(2): 238-247.

Araujo WD, Goneli ALD, Souza CMA, Gonçalves AA, Vilhasanti HCB. (2014) Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(3): 279-286.

Araujo WD, Goneli ALD, Corrêa PC, Hartmann Filho CP, Martins EAS (2017) Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Revista Ciência Agronômica*, 48(3): 448-457.

ASABE (2010) Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: American Society of Agricultural And Biological Engineers (Ed.). *Standards, Engineering Practices, and Data*. St. Joseph: ASABE, 684-685p.

Babalís SJ, Belessiotis VG (2004) Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering* 65(3): 449-458.

Camicia RGM, Christ D, Coelho SEM, Camicia RFD (2015) Modelagem do processo de secagem de sementes de Feijão-Caupi. *Revista Caatinga* 28(3): 206-214.

Cardoso MRD, Marcuzzo FFN, Barros JR (2014) Classificação climática de Köpper-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, 8(16): 40-55.

Castiglioni GL, Silva FA, Caliaro M, Soares Junior MS (2013) Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(9): 987–994.

Corrêa PC, Botelho FM, Botelho SDCC, Goneli ALD (2014) Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [s.l.]* 18(10): 1047-1052.

Corrêa PC, Oliveira GHH, Botelho FM, Goneli ALD, Carvalho FM (2010) Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres* 57(5): 595-601.

Corrêa PC, Reis MFT, Oliveira GHH De, Oliveira APLR De, Botelho FM (2015) Moisture desorption isotherms of cucumber seeds: modeling and thermodynamic properties. *Journal of Seed Science* 37(1): 218-225.

Corrêa PC, Resende O, Martinazzo AP, Goneli ALD, Botelho FM (2007) Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola* 27(1): 501-510.

Ferrari Filho E, Gottardi R, Dionello RG (2010) Custos da secagem intermitente de grãos de milho submetidos a três temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80°C). *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 16(1): 17-21.

Goneli ALD, Corrêa PC, Afonso Júnior PC, Oliveira GHHD (2009) Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. *Revista Brasileira de Armazenamento V(especial)*: 64-73.

Goneli ALD, Vieira MC, Vilhasanti HDCB, Gonçalves AA (2014) Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 44(1): 56-64.

Jangam SV, Law CL, Mujumdar (2010) *Drying of foods, vegetables and fruits*. Singapore: National University of Singapore, 232p. Jideani VA, Mpotokwana SM (2009) Modeling of water absorption of botswana bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering* 92(1): 182–188.

Jideani V, Mpotokwane SM (2009) Modeling of water absorption of Botswana Bambara varieties using Peleg's equation. *Journal of Food Engineering* 92(2): 182 – 188.

Karizaki VM (2016) Kinetic modeling and determination of mass transfer parameters during cooking of rice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 38(1): 131-138.

Maia RB, Santos SGFD, Queiroz JS, Rodovalho RS, Silva DP, Morgado VNDM (2019) Drying kinetics and thermodynamic properties of pigeon pea beans. *Científica* 47(2): 164-174.

Meneghetti VL, Aosani E, Rocha JC, Oliveira M, Elias MC, Pohndorf RS (2012) Modelos matemáticas para a secagem intermitente de arroz em casa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(10): 1115–1120.

Mohsenin NN (1986) *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Publishers. 841p.

Morais SJDS, Devilla IA, Ferreira DA, Teixeira IR (2013) Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Revista Ciência Agronômica* 44(3): 455-463.

Oliveira GHH, Corrêa PC, Araújo EF, Valente DSM, Botelho FM (2010) Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Food Science & Technology* 45(1): 546-554.

Ong LK, Kurniawan A, Suwandi AC, Lin CX, Zhao XS, Ismadji S (2013) Transesterification of leather tanning waster to biodiesel at supercritical condition: Kinetics and thermodynamics studies. *The Journal of Supercritical Fluids* 75(1):11-20.

Prates MFO, Reis RC, Devilla IA, Faria RQ, Lima Junior AF (2012) Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 14(3): 514-521.

Quequeto WD, Siqueira VC, Ferranti LF, Schoeninger V, Leite RA (2017) Cinética de secagem dos grãos de feijão cultivar IPR Tangará. *Energia na Agricultura* 32(4): 408-415.

Radünz LL, Amaral ASD, Mossi AJ, Melo EDC, Rocha RP (2011) Avaliação da cinética de secagem de carqueja. *Engenharia na agricultura* 19(1): 19-27.

Resende O, Ferreira LU, Almeida DP (2010) Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais* 12(2): 171-178.

Resende O, Oliveira DEC, Costa LM, Ferreira Junior WN (2018) Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). *Engenharia Agrícola* 38(1): 103-109.

Santos FAZ, Lima DAR (2015) Características produtivas de diferentes cultivares de feijão no Município de Cáceres-MT. *Centro Científico Conhecer* 11(21): 408-420.

Sousa FC, Martins JJA, Rocha APT, Gomes JP, Pessoa T, Martins JN (2015) Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* [s.l.] 17(2): 195-200.

Sousa RV, Mata MERMC, Duarte MEM, Almeida RD, Rosa MEC (2016) Análise da cinética de secagem em camada fina do arroz vermelho em casca. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 18: 517529, 2016.

Viganó J, Azuara E, Telis VRN, Beristain CI, Jiménez M, Telis RJ (2012) Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. *Thermochimica Acta* 528(1): 63-71.