

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM AGRONOMIA

ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA

Manoel Ricardo Bezerra Santos

Rio Verde, GO

2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS RIO VERDE

GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM AGRONOMIA

ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA

MANOEL RICARDO BEZERRA SANTOS

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal
Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial
para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

Rio Verde – GO

Maio, 2022

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

S237i Santos, Manoel Ricardo Bezerra
Isotermas de dessorção de diferentes cultivares de
soja / Manoel Ricardo Bezerra Santos; orientador
Oswaldo Resende. -- Rio Verde, 2022.
26 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Cultivares. 2. Modelagem Matemática. 3. Oswin
Modificado. I. Resende, Oswaldo, orient. II. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 nº2376

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: Manoel Ricardo Bezerra Santos

Matrícula: 2016102200240205

Título do Trabalho: Isotermas de dessecção de diferentes cultivares de soja

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: Publicação de artigo futura

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30/05/2023

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.

Local

Rio Verde, 14/05/2022.
Data

Manoel Ricardo Bezerra Santos

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



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 nº 5/2022 - CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) seis dia(s) do mês de maio de 2022, às 09 horas e 30 minutos, reuniu-se por meio de videoconferência a banca examinadora composta pelos docentes: Osvaldo Resende (Orientador), Weder Nunes Ferreira Junior (membro) e Wellytton Darci Quequeto (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “Isotermas de dessorção de diferentes cultivares de soja” do(a) estudante Manoel Ricardo Bezerra Santos, Matrícula nº 201610220240205 do Curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)
Osvaldo Resende
Orientador

(Assinado Eletronicamente)
Weder Nunes Ferreira Júnior
Membro

(Assinado Eletronicamente)
Wellytton Darci Quequeto
Membro

Observação:

O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Weder Nunes Ferreira Júnior**, 2018202320140124 - Discente, em 06/05/2022 11:02:03.
- **Wellytton Darci Quequeto**, 2018202320140132 - Discente, em 06/05/2022 10:54:18.
- **Oswaldo Resende**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/05/2022 10:51:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/05/2022. 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: 385887

Código de Autenticação: 8c8e536547



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

Aprovação da banca examinadora

MANOEL RICARDO BEZERRA SANTOS

ISOTERMAS DE DESSORÇÃO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA

Trabalho de curso DEFENDIDO e APROVADO em 06 de maio de 2022 pela banca examinadora constituída pelos membros: Osvaldo Resende, Wellyton Darci Quequeto e Weder Nunes Ferreira Júnior.



Me. Wellyton Darci Quequeto

IF Goiano



Me. Weder Nunes Ferreira Junior

IF Goiano



Prof. Dr. Osvaldo Resende

IF GoianoRio Verde – GO

Maio, 2022

“Pois para uma árvore há esperança; mesmo quando cortada, volta a brotar e seus brotos não deixam de existir. Ainda que sua raiz apodreça na terra, e o seu tronco morra no pó, ela brotará ao cheiro das águas, e lançará ramos como uma planta nova”. Jó 14.7-9”

DEDICATÓRIA

A Deus pelo dom da vida, sabedoria e resiliência a mim imputados, por sempre me mostrar o caminho a seguir, ser meu refúgio, fortaleza, socorro bem presente mediante às tribulações.

À minha família por ser meu firme alicerce e espelho de amor, caráter e cumplicidade. Mãe, seu amor e dedicação foram fundamentais para minha formação enquanto ser humano, e me deram forças para continuar e nunca desistir dos meus sonhos. Pai e irmão, seus exemplos de homens fortes, de caráter e que se dedicam à sua família são minha lanterna para prosseguir adiante.

Aos meus amigos e colegas, pelo incentivo a alçar voos mais altos, cumplicidade e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da sabedoria, por me ensinar no meio desse longo caminho que foi a graduação a não desistir dos meus sonhos e a confiar que nos momentos mais difíceis Ele estava me ensinando algo e que seu fardo é leve e seu jugo é suave, pela família que tenho que é minha base e pelos amigos que fiz ao longo desse caminho.

Aos meus pais Rosenilda Pinheiro Bezerra e Antônio Evangelista, meu irmão José Antônio que contribuíram moralmente e financeiramente para a realização desse sonho e me deram forças em inúmeros momentos que nem eles sabem. Estendo meus agradecimentos aos meus primos Isabela Pinheiro e Rogério Ataídes por todo auxílio e estadia nos momentos que precisava estender a pesquisa, e aos demais familiares que direta ou indiretamente me incentivaram a prosseguir.

Ao meu professor e orientador Osvaldo Resende juntamente com toda a equipe do Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais que me receberam de braços abertos durante todo o período de iniciação científica, onde pude adquirir conhecimento e grandes amizades. À minha coorientadora Kelly Aparecida de Sousa por me passar todo o seu conhecimento e me socorrer sempre quando solicitada, o meu muito obrigado. Estendo meus agradecimentos ao Doutorando Weder Nunes que conheci no início das nossas graduações, e embora eu tenha dado uma pausa, nos reencontramos no laboratório e foi uma peça fundamental para a execução desse trabalho e minha formação enquanto graduando. A todos os colegas de laboratório que me auxiliaram durante esse período de estudo e aprendizado.

Aos amigos que fiz durante a graduação e nos denominamos "O sexteto", Daniel Victor, Érika Andrade, Madalena Arantes, Ritiane Alcântara e Victória Caroline que sempre me auxiliaram e me deram motivos para sorrir durante todos esses anos, sou grato a Deus pela vida de vocês. Às amigas de faculdade e de vida, Silvia Cristina e Rebeca Fernandes por todo apoio ao longo dessa trajetória, o meu muito obrigado.

Aos meus queridos amigos Ludimila Ferreira, Nathan Cruz e Marcus Sabino que de forma muito descontraída sempre me incentivaram a prosseguir e foram minha válvula de escape nos momentos difíceis que a vida nos permite passar, grato a Deus por ter vocês. Ao meu querido amigo Mateus Santos, que desde longa data tem me incentivado e me apoiado em todas as minhas decisões, muito obrigado.

Ao Instituto Federal Goiano, por ter proporcionado um ensino de qualidade e dar essa oportunidade a mim e a tantos que almejam ter uma graduação.

Muito obrigado!

RESUMO

SANTOS, Manoel Ricardo Bezerra Santos. Isotermas de dessecção de diferentes cultivares de soja. 26 p. Monografia (Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

A soja é uma cultura de importância mundial amplamente utilizada para elaboração de rações, produção de óleo e subprodutos, consumo *in natura*, possuindo cerca de 40% de proteínas e 19% de lipídeos sendo uma das maiores produtoras de óleo vegetal. Para a manutenção da qualidade e um armazenamento seguro a etapa de secagem é um dos processos essenciais para a conservação das qualidades desejáveis de produtos de origem vegetal sendo o teor de água o fator de suma importância para o controle de qualidade das indústrias processadoras de soja. Neste trabalho objetivou-se determinar as isotermas de dessecção de diferentes cultivares de soja por meio do método experimental estático-indireto e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais de higroscopicidade de grãos de soja das cultivares (BÔNUS; M-7739; CD-2728; NS-7300; BRS-7960; CD-2737). Foram coletados dados de seis variedades de soja que foram colhidos com teor de água de aproximadamente 18,0 % (base úmida.), utilizados para correlacionar o teor de água dos grãos de soja com a atividade de água do produto, efetuou-se a análise de regressão não-linear, a fim de ajustar um ou mais modelos que melhor descrevesse o fenômeno de dessecção do produto. Para verificar o grau de ajuste do modelo foi considerada a significância do coeficiente de regressão pelo teste t, a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio estimado (SE), do erro médio relativo (P), o teste de *Qui*-quadrado (χ^2), além disso para a definição do modelo utilizaram-se os critérios de seleção Informação de Akaike (AIC) e de Informação Bayesiano de Schwarz (BIC). O modelo de Oswin Modificado foi selecionado para representar as isotermas de dessecção dos grãos de soja das diferentes cultivares. Com base nas isotermas apresentadas, o produto pode ser gerenciado adequadamente, visando a manutenção de seu teor de água nos níveis recomendados para um armazenamento seguro.

Palavras-chave: Cultivares; Modelagem Matemática; Oswin Modificado.

ABSTRACT

SANTOS, Manoel Ricardo Bezerra. Desorption isotherms of different soybean cultivars 2022. 26 p. Monograph (Bachelor of Agronomy). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

Soybean is a crop of global importance, widely used for the production of animal feed, production of oil and by-products, consumption *in natura*, having about 40% of proteins and 19% of lipids, being one of the largest producers of vegetable oil. For the maintenance of quality and safe storage, the drying step is one of the essential processes for the conservation of the desirable qualities of products of vegetable origin, with the moisture content being the most important factor for the quality control of the soybean processing industries. The objective of this work was to determine the desorption isotherms of different soybean cultivars using the static-indirect experimental method and to adjust different mathematical models to the experimental data of hygroscopicity of soybean grains of the cultivars (BÔNUS; M-7739; CD-2728; NS- 7300; BRS-7960; CD-2737). Data were collected from six soybean varieties that were harvested with a moisture content of approximately 18.0 % (wet base), used to correlate the water content of soybeans with the water activity of the product, a non-linear regression analysis was carried out in order to fit one or more models that best described the desorption phenomenon of the product. To verify the degree of fit of the model, the significance of the regression coefficient was considered by the t test, adopting the 0.05 level of significance, the magnitude of the coefficient of determination (R^2), the values of the estimated mean error (SE), the relative mean error (P), the *Chi*-square test (χ^2) with a confidence interval of 0.99 ($p < 0.01$) and for the model selection, the Akaike Information selection criteria (AIC), and Schwarz Bayesian Information (BIC). The Modified Oswin model was selected to represent the desorption curve of soybeans from different cultivars. Based on the isotherms presented, the product can be managed properly, aiming to maintain its moisture content at the recommended levels for safe storage.

Keywords: Cultivars; Mathematical Modeling; Modified Oswin.

Lista de tabelas, quadros e figuras

FIGURA 1. Leitura das atividades de água (A_w) por meio do HigroPalm em B.O.D. sob diferentes temperaturas.....	17
FIGURA 2. Isotermas de dessecção estimadas pelo modelo de Oswin Modificado para os grãos das cultivares (A) BÔNUS, (B) BRS-7960, (C) CD-2728, (D) CD-2737, (E) M-7739 e (F) NS-7300 soja nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.....	23
TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos vegetais.....	18
TABELA 2. Valores de atividade de água (a_w decimal) das seis cultivares de soja em função do teor de água de equilíbrio (X_e) e da temperatura.....	19
TABELA 3. Coeficientes de determinação (R^2 , %), erro médio relativo (P, %), erro médio estimado (SE, decimal) e <i>Qui</i> -quadrado (X^2 , decimal) para os nove modelos analisados, para as diferentes cultivares de soja sob diferentes condições de temperatura (°C).....	20
TABELA 4. Valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC) para os modelos ajustados a higroscopicidade das diferentes cultivares de grãos de soja.....	22
TABELA 5. Coeficientes do modelo de Oswin Modificado ajustado aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as seis cultivares de soja, com os parâmetros estatísticos coeficiente de determinação (R^2 , decimal), erro médio estimado (SE, decimal), <i>Qui</i> -quadrado (χ^2 , decimal), e erro médio relativo (P, %).....	24

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Gerais	12
2.2 Específicos	12
3 REVISÃO DA LITERATURA	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
6 CONCLUSÃO	29

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de importância mundial, sendo utilizada para a elaboração de rações animais, produção de óleo e outros subprodutos, além do seu consumo *in natura* que vem se crescendo nas últimas décadas (EMBRAPA, 2008), possui excelente adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, o que permite seu cultivo por todas as regiões do país (ROCHA et al., 2018).

A soja é o principal grão oleaginoso cultivado no mundo, com cerca de 40% de proteínas, sendo a principal matéria prima para a fabricação de rações para consumo animal, e mesmo com um baixo teor de óleo, cerca de 19% disputa com o dendê a posição de maior produtora de óleo vegetal (DALL'AGNOL et al., 2007). Segundo Ribeiro et al. (2005), a soja é um produto com grande relevância na economia externa e interna brasileira, devido seu valor como grão para consumo, sua utilização alimentícia, bem como à valorização comercial de seus resíduos.

Para minimizar as perdas ocasionadas no campo devido aos ataques de microrganismos e insetos, é requerido que o produto seja colhido sadio e antecipadamente visando ter se uma boa produção de grãos com elevada qualidade, sendo a secagem primordial entre as técnicas envolvidas na conservação das qualidades desejáveis de produtos de origem vegetal para que o produto possa ter mais longevidade no armazenamento (RIBEIRO et al., 2005).

Para Ruivo (2018), o teor de água é um fator de suma importância para o controle de qualidade das indústrias processadoras de soja, devido às reações enzimáticas e as taxas de respiração metabólicas do grão que são menores nas faixas de baixa umidade do produto, evitando assim sua degradação. Desta forma o processo de secagem é considerado uma etapa essencial para o armazenamento e processamento da soja.

Os produtos de origem vegetal, como grãos, são higroscópicos, ou seja, possuem a capacidade de trocar de água na forma de vapor com o ambiente até que seja atingida a condição de equilíbrio. O sentido e intensidade do fluxo de vapor de água entre a massa de grãos e o ar intergranular dependerá da diferença de pressão de vapor da superfície do produto e do ar (CORRÊA et al., 2005 e SILVA et al., 2015). Para que o ocorra o equilíbrio higroscópico de produtos armazenados é necessário que a pressão de vapor de água do ar da atmosfera e a pressão de água da superfície do produto sejam iguais (ARAÚJO et al., 2005).

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Determinar as isotermas de dessorção de diferentes cultivares de soja.

2.2 Específicos

- Determinar as isotermas de dessorção das seis cultivares de soja por meio do método

experimental estático-indireto;

- Ajustar diferentes modelos aos dados experimentais de higroscopicidade das cultivares de soja (BÔNUS; M-7739; CD-2728; NS-7300; BRS-7960; CD-2737) e selecionar o modelo mais adequado para todas as cultivares.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Características gerais da cultura da Soja

A soja (*Glycine max (L) Merrill*) é uma leguminosa, originada nos países China e Japão há séculos. Em sua maioria é utilizada para consumo humano de variadas formas: *in natura*, processada, como também para animais em forma de ração, por ser rico em proteínas e vitaminas como riboflavina, niacina e ácido ascórbico (UMBELINO, 2021).

Os grãos de soja tem em sua composição química 58% de ácidos graxos poli-saturados (23% são monoinsaturados e 15% saturados), de 40 a 45% de proteínas, de 30 a 34% carboidrato, 18 a 20% de lipídeos (SILVA et al., 2006). Dito isso, vale ressaltar que essa composição pode alternar devido às diferenças genéticas presentes nas cultivares de soja (PAUCAR-MENACHO et al., 2010).

Sendo o maior produtor e exportador de soja do mundo, o Brasil se destaca no cenário agrícola mundial, posicionando uma grande importância econômica nacionalmente com exportações. Na safra 2020/2021, a cultura atingiu uma área plantada de 38,5 milhões de hectares, sendo 4,3% maior à safra anterior, alcançando a produção de 136 milhões de toneladas, onde segundo a CONAB (2021), houve um aumento de 8,9% da safra passada.

Apesar da soja estar nesse avanço contínuo em nosso país, ainda possuem razões que podem limitar à competitividade do agrícola da cultura. Nesse sentido, COGO (2020) apresentou dados estatísticos de armazenagem brasileira apresentando um record do déficit de 87,6 milhões de toneladas, que representa 63,94% da produção, havendo então a necessidade de melhorias nessa infraestrutura.

Além da falta de armazenamento estrutural, vale ressaltar que o Brasil é classificado como um país de clima tropical, prevalecendo as chuvas e altas temperaturas (CAVALCANTI, 2016). Sendo essas condições propícias ao desenvolvimento de bactérias, fungos, insetos, como também o aumento da taxa metabólica do próprio grão. Portanto, a fim de conservar a qualidade do grão por um determinado período e evitar perdas pós-colheita é necessário conhecer as propriedades fisiológicas do produto armazenado, dando ênfase na atividade higroscópica e respiratória dos cereais (ZEYMER, 2021).

O grão de soja possui a capacidade de absorver água do meio em que se encontra, classificada como higroscópica, buscando manter um equilíbrio entre o seu teor de água e as condições do ambiente. Atingindo um teor de água de equilíbrio quando o teor de água do grão encontra-se estável sob condições de psicrométricas do ar. Essa relação de equilíbrio resulta em uma representação gráfica da curva isotérmica de dessorção e adsorção para alimentos de temperatura constante,

chamada também de curvas de histerese (KAPSALIS, 2013; CHEN et al., 2019).

Portanto, é visto que não é só no campo que devem-se ser realizados os manejos adequados para a cultura a fim de se obter altas produtividades, esses manejos devem ser feitos todo o tempo antes de sua comercialização, trazendo uma alta qualidade dos grãos (ROMANI et al., 2018).

3.2 Armazenamento

Após a colheita, vem as etapas de pré-processamento de grãos onde a secagem e práticas de armazenagem, são processos que o grão é submetido antes de sua comercialização, sendo de suma importância para se manter a boa qualidade dos grãos (KUMAR; KALITA, 2017).

O teor de água presente nos grãos após a colheita e armazenamento, pode reduzir sua qualidade favorecendo o ataque de pragas e microrganismos, portanto é de suma importância averiguar a quantidade de água presente nos grãos durante essa etapa (SOARES et al., 2019).

A secagem vem sendo usada a fim de qualidade e estabilidade, pode ser definida como o meio de retirada da água dos grãos, sendo um método de transferência conjunta de massa e calor entre o grão e o ar seco. Onde a pressão de vapor na superfície do produto encontra-se maior que o vapor de ar seco (ALMEIDA; MACHADO, 2021).

O manejo pós-colheita também deve ser visto com mais atenção visando melhorar a qualidade e quantidade dos grãos, por meio dos processos de limpeza e secagem, que posteriormente passarão pelo processo de armazenamento, segundo SCHUH et al. (2011) as perdas nesse momento podem chegar a 30% da produção em algumas situações extremas. Utilizando esse dado a safra da soja 2020/2021, que obteve 136 milhões de toneladas produzidas, quando utilizado os dados de perdas, temos um prejuízo de 40,8 milhões de toneladas somente no Brasil (CONAB, 2021). Portanto, no período de armazenamento dos grãos de soja o teor de água deve ser de 11% (b.u.), podendo ser armazenada até um ano, para um período maior de aproximadamente cinco anos a teor de água ideal do grão de soja é de 9 a 10% (b.u.) (FERREIRA, 2018).

Para manter a qualidade e as características da soja durante o armazenamento, é necessário conhecer a relação entre o teor de equilíbrio de água do grão e a umidade relativa do ar, a uma certa temperatura. Quando o teor de água no produto é atingido a pressão parcial do vapor de água no produto é igual à pressão parcial do ar do ambiente onde está armazenado (ARSLAN-TONTUL, 2020).

Calcular a perda da matéria seca do grão, de acordo com o teor de água, temperatura e tempo de armazenamento, comprova o quão é importante o monitoramento para controle do CO₂ absorvido durante o armazenamento (GONÇALVES, 2019). A redução de matéria seca do grão resulta em uma suposição do tempo máximo do prazo de validade, determinado como período de tempo o qual os grãos são armazenados em segurança, sem que haja grandes perdas na qualidade e quantidade (KIBAR, 2021).

Portanto, para manter o teor de água dos grãos dentro de limites seguros para preservar sua

qualidade, afim de evitar perdas do produto devido à secagem excessiva, deve haver uma segurança durante a secagem dos grãos, sendo o bastante utilizar a tabela de equilíbrio higroscópico, resultando em uma diferença significativa ao teor higroscópico (PELEG, 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de seis cultivares de soja (BÔNUS; M-7739; CD-2728; NS-7300; BRS-7960; CD-2737) produzidos na safra 2018/2019 foram colhidos manualmente, aproximadamente, 6 kg de cada cultivar. O teor de água inicial apresentou em torno de 17,82% base seca (b.s.) determinado pelo método padrão de estufa, na temperatura de 105 ± 3 °C, durante 24 h, em três repetições, de acordo com a Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Posteriormente, foi realizada a triagem manual dos grãos e as amostras foram homogeneizadas. A homogeneização e a divisão das amostras foram feitas em homogeneizador tipo Boerner, no qual, primeiramente, as amostras foram passadas três vezes no equipamento (CANADA, 2016).

Após a homogeneização, foram separadas aproximadamente 3 kg de grãos de soja para cada uma das seis cultivares para a determinação das isotermas. As isotermas de desorção foram determinadas pelo método estático-indireto, em que a atividade de água (A_w) foi determinada por meio do equipamento Higropalm Model aw1.

A secagem das amostras de grãos foi realizada em estufa de ventilação forçada de ar, na temperatura de 40 °C, sendo padronizados em teores de água finais de 16,3; 14,8; 12,8; 10,8e 8,9% (base úmida) obtidos pela diferença de massa. Para cada teor de água foram separados, aproximadamente, 45 g de grãos em três repetições e foram realizadas as leituras no equipamento HigoPalm em condições de temperaturas controladas de 10, 20, 30 e 40 °C e a atividade de água experimental variando entre 0,53 a 0,82.

A calibração do equipamento foi realizada em temperatura ambiente com o produto e a precisão do mesmo é de $\pm 0,01\%$ de A_w em condições de temperaturas controladas de 10, 20, 30 e 40 °C (Figura 1).



Figura 1. Leitura das atividades de água (A_w) por meio do HigoPalm em B.O.D. sob diferentes temperaturas.

Aos dados experimentais de cada uma das cultivares BÔNUS, M-7739, CD-2728, NS-7300, BRS-7960, CD-2737 foram ajustados nove modelos matemáticos (Tabela 1) utilizados por diferentes pesquisadores para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, por meio de

análise de regressão não-linear.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos vegetais

Designação do modelo	Modelo	
$X_e = a - b \cdot \ln[-T + c] \cdot \ln(a_w)$	Chung-PFost	(1)
$X_e = \left[\frac{-1}{c \cdot T^d} \right] \cdot \ln \left[\frac{\ln(a_w)}{-a \cdot T^b} \right]$	Chen Clayton	(2)
$X_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot a_w)]$	Copace	(3)
$X_e = \left[\exp(a - b \cdot T) / (c - \ln(a_w)) \right]$	Harkins	(4)
$X_e = \left[\ln(1 - a_w) / -a(T + b) \right]^{1/c}$	Henderson Modificado	(5)
$X_e = (a + b \cdot T) / \left[(1 - a_w) / a_w \right]^{1/c}$	Oswin Modificado	(6)
$X_e = a \cdot \left(a_w \frac{b}{T^c} \right)$	Sabbah	(7)
$X_e = \exp \left\{ a - (b \cdot T) + \left[c \cdot \exp(a_w) \right] \right\}$	Sigma Copace	(8)
$X_e = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{-a \cdot (T^b)} \right]^{1/c}$	Cavalcanti Mata	(9)

Em que:

X_e (teor de água de equilíbrio, % b.s.);

a_w (atividade de água, decimal);

T (temperatura, °C);

a, b, c e d (coeficientes que dependem do produto).

Para verificar o grau de ajuste, foi considerado a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do teste de *Qui*-quadrado (χ^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (10)$$

$$SE = \sqrt{\sum (Y - \hat{Y})^2 / GLR} \quad (11)$$

$$\chi^2 = \sum (Y - \hat{Y})^2 / GLR \quad (12)$$

Em que:

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo;

N : número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais menos o número de parâmetros do modelo).

Além dos parâmetros anteriores, foram utilizados o critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação de Bayesian Schwarz (BIC). O AIC nos permite utilizar o princípio da

parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, segundo este critério, o modelo mais parametrizado nem sempre é o melhor (BURNHAM; ANDERSON, 2004).

O AIC é usado para comparar modelos não aninhados ou para comparar três ou mais modelos. Valores mais baixos de AIC refletem um melhor ajuste (AKAIKE,1973), conforme apresentado na Equação 13.

$$AIC = -2 \log \text{like} + 2p \quad (13)$$

Em que:

p é o número de parâmetros;

$\log \text{like}$ o valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

O BIC também considera o grau de parametrização do modelo e, portanto, quanto menor o valor do BIC for Schwarz (1978), melhor será o ajuste do modelo, Equação 14.

$$BIC = -2 \log \text{like} + p \ln(n) \quad (14)$$

Em que, n é o número de observações utilizadas para ajustar a curva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de atividade de água encontrados para cada temperatura estudada de acordo com cada cultivar. Os valores de atividade de água variaram de acordo com aumento da temperatura (10, 20, 30 e 40 °C), bem como da elevação do teor de água de equilíbrio (8,0 a 20,9% b.s.) (Tabela 2), sendo uma variável diretamente proporcional à essas condições. Comportamento similar foi observado por Santos et al. (2020) para o processo de adsorção dos grãos de café Arábica, em que sob uma atividade de água constante, e aumento da temperatura, promoveu a redução da atividade de água dos grãos.

Segundo Mazza e LeMaguer (1980), essa tendência se deve a uma redução no número de locais de sorção ativos necessários para ligar a água devido as alterações físicas e químicas no produto induzidas pela temperatura.

Tabela 2. Valores de atividade de água (a_w decimal) das seis cultivares de soja em função do teor de água de equilíbrio (X_e) e da temperatura

Cultivar	Temperatura °C							
	10		20		30		40	
	a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
BÔNUS	0,561	9,002	0,572	9,190	0,665	11,846	0,569	9,108
	0,647	11,788	0,665	11,906	0,719	14,201	0,660	12,404
	0,722	14,112	0,722	14,132	0,764	16,881	0,715	13,902

	0,766	16,458	0,824	20,103	0,821	20,285	0,763	16,597
	0,589	10,450	0,605	10,374	0,589	10,332	0,586	10,146
	0,665	12,317	0,662	12,198	0,719	14,375	0,650	11,703
M-7739	0,720	14,647	0,733	14,638	0,768	16,710	0,714	14,279
	0,779	17,210	0,782	16,789	0,791	18,482	-	-
	0,802	19,053	0,794	18,782	-	-	-	-
	0,570	10,042	0,596	10,682	0,590	9,926	0,585	9,845
	0,650	12,607	0,662	12,485	0,666	12,780	0,660	12,272
CD-2728	0,711	15,535	0,728	14,849	0,720	14,400	0,711	14,333
	0,778	18,457	0,818	20,507	0,774	17,502	0,761	17,291
	0,813	20,908	-	-	0,810	20,396	0,802	20,215
	0,571	10,179	0,594	10,213	0,599	10,179	0,589	10,054
	0,666	12,615	0,670	12,599	0,676	12,427	0,670	12,352
NS-7300	0,691	13,283	0,697	13,142	0,692	12,930	0,681	12,860
	0,776	17,467	0,775	16,720	0,771	16,660	0,757	16,462
	0,810	19,280	0,815	19,245	0,801	18,929	0,785	18,660
	0,583	10,385	0,609	10,584	0,605	10,211	0,618	10,112
	0,659	11,892	0,670	11,909	0,666	11,810	0,654	11,660
BRS-7960	0,723	14,518	0,731	14,494	0,729	14,411	0,717	14,148
	0,778	17,743	0,783	17,693	0,784	17,593	0,802	19,405
	0,814	20,306	0,817	19,697	0,816	19,577	-	-
	0,520	8,741	0,540	8,798	0,527	8,814	0,540	8,686
	0,661	12,218	0,674	12,285	0,672	12,767	0,660	12,235
CD-2737	0,698	13,356	0,701	13,365	0,702	13,365	0,691	13,348
	0,735	15,323	0,739	15,374	0,741	15,349	0,730	14,960
	0,794	19,181	-	-	0,804	19,163	-	-

Na Tabela 3, estão representados os valores dos parâmetros estatísticos analisados para os nove modelos ajustados, para os diferentes teores de água das seis cultivares estudadas.

Tabela 3 - Coeficientes de determinação (R^2 , %), erro médio relativo (P, %), erro médio estimado (SE, decimal) e *Qui*-quadrado (χ^2 , decimal) para os nove modelos analisados, para as diferentes cultivares de soja sob diferentes condições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Modelo	Cultivar							
	Bônus				M-7739			
	SE	P	R^2	χ^2	SE	P	R^2	χ^2
1	-	-	-	-	0,408	2,11	98,53	0,167
2	0,347	2,15	99,23	0,120	0,422	2,10	98,55	0,178
3	8,625	685,12	99,54	74,398	0,394	1426,02	99,54	0,155
4	2,693	18,74	97,29	7,254	-	-	-	-
5	-	-	-	-	0,358	1,48	98,87	0,128
6	0,287	1,63	99,43	0,825	0,306	1,35	99,99	0,094
7	0,488	3,17	98,35	0,238	0,487	2,69	97,92	0,237
8	30,25	190,91	99,56	915,35	0,343	1,58	98,96	0,118
9	0,267	1,56	99,51	0,721	0,357	1,71	98,88	0,127
	CD-2728				NS-7300			
	SE	P	R^2	χ^2	SE	P	R^2	χ^2
1	0,453	2,25	99,76	0,205	0,445	2,33	98,35	0,198
2	0,433	2,09	98,9	0,188	0,427	2,33	98,57	0,182
3	0,442	1500,01	98,82	0,195	0,415	1430,72	98,56	0,172
4	0,406	1,98	99,01	0,165	1,166	6,80	98,91	1,359
5	16,841	99,95	98,96	283,62	15,906	100	98,91	253,00
6	0,418	2,00	98,95	0,174	0,364	1,94	98,89	0,133
7	0,508	2,60	98,43	0,258	0,510	2,86	97,83	0,261
8	0,406	2,01	99,01	0,165	0,368	1,87	98,86	0,136
9	0,393	1,94	99,07	0,154	0,461	2,55	98,71	0,212
	BRS-7960				CD-2737			

	SE	P	R ²	χ^2	SE	P	R ²	χ^2
1	0,467	2,49	98,55	0,218	0,515	2,95	97,71	0,265
2	0,458	2,44	98,69	0,210	0,522	2,91	97,80	0,273
3	0,435	1463,19	98,74	0,189	0,435	1314,77	98,36	0,190
4	0,348	1,82	99,20	0,121	0,260	1,55	99,42	0,068
5	0,395	2,13	98,97	0,156	0,384	2,36	98,73	0,147
6	0,349	1,81	99,20	0,122	0,247	1,50	99,48	0,061
7	0,534	2,97	98,09	0,285	0,649	4,01	96,34	0,421
8	10,157	61,78	99,09	103,16	0,308	1,85	99,19	0,095
9	0,380	2,04	99,05	0,144	0,376	2,36	98,78	0,141

Para os valores do coeficiente de determinação (R²) (Tabela 3), os modelos ajustados para todas as seis cultivares estudadas apresentaram valores superiores a 97,0 %, porém Madamba et al. (1996) afirmam que a utilização deste parâmetro não deve ser utilizada como único critério de avaliação para seleção de modelos, por utilizar médias de valores positivos e negativos para modelos não lineares, ocasionando valores extremos.

O erro médio estimado (SE) de acordo com Draper e Smith (1981), é a capacidade que um modelo matemático tem de representar um processo físico onde a relação é inversamente proporcional, quanto menor for o valor para este parâmetro melhor é a representação do modelo para o fenômeno estudado. Observa-se que para a cultivar BÔNUS os modelos de Chen Clayton (2), Sabbah (7), Oswin Modificado (6) e Cavalcante Mata (9) apresentou o erro médio estimado próximo de zero, comparativamente aos demais modelos estudados: o modelo de Copace (3) não ajustou para a cultivar M-7739; para a cultivar CD-2728 o modelo de Henderson Modificado (5) o SE não ficou próximo de zero em comparação aos outros modelos; o modelo de Henderson Modificado (5) não ajustou para a cultivar NS-7300; o modelo de Sigma Copace (8) não ajustou para a cultivar BRS-7966 e para a cultivar CD-2737 todos os modelos se ajustaram em relação ao parâmetro SE.

Quanto ao *Qui*-quadrado (χ^2) no intervalo de confiança de 0,99 (χ^2 tabulado está entre = 5,81-8,26) para as cultivares estudadas, os valores do *Qui*-quadrado calculado para as cultivares CD-2737 e M-7739 todos os modelos ficaram no intervalo de confiança, já para a cv. BÔNUS somente os modelos Chen Clayton (2), Sabaah (7), Oswin Modificado (6) e Cavalcanti Mata (9) ficaram no intervalo de confiança; para a cultivar BS-7960 todos os modelos ficaram no intervalo de confiança exceto o modelo de Sigma Copace (8), e para as cultivares NS-7300 e CD-2728 o modelo de Henderson Modificado (5) não ficou no intervalo de confiança estudado. Quanto menor o valor deste parâmetro, melhor será o ajuste do modelo aos dados experimentais (GÜNHAN et al., 2005).

Para o parâmetro erro médio relativo (P), de acordo com Mohapatra e Rao (2005), os modelos que apresentar valores abaixo de 10% podem representar com satisfação o fenômeno de higroscopicidade de produtos vegetais. Os modelos de Copace (3), Harkins (4) e Sigma Copace (8) não ajustaram para a cultivar BÔNUS, para as cultivares CD-2737 e M-7739 no modelo de Copace (3) os valores do (P) ficaram superiores a 10%; os modelos de Copace (3) e Henderson Modificado

(5) não obtiveram bom ajuste para as cultivares BRS-7960 e NS-7300, e para a cultivar CD-2728 o modelo de Henderson Modificado (5) não obteve ajuste adequado.

De acordo com os parâmetros estatísticos avaliados tradicionalmente para a escolha do modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais para representar a higroscopicidade de produtos vegetais, para a cultivar BÔNUS os modelos de Chen Clayton (2), Oswin Modificado (5), Sabbah (7) e Cavalcanti Mata (9) se encaixam nos critérios de seleção; para a M-7739 e CD-2737 todos os modelos se adequam com satisfação, exceto o modelo de Copace (3); para as cultivares NS-7300 e BRS-7960 os modelos de Copace (3) e Henderson Modificado (5) não se ajustaram e para a cultivar CD-2728 o modelo de Henderson Modificado (5) não se ajustou.

Para a seleção do modelo que melhor descreve as curvas de dessecamento dos grãos de soja das cultivares estudadas foi aplicado a metodologia dos critérios de informação de Akaike (AIC) e de informação bayesiano de Schwarz (BIC). Neste caso, a indicação do melhor modelo pode ser mais precisa, uma vez que estes critérios consideram outros fatores como a análise do grau de parametrização dos modelos comparados (SILVEIRA, 2010).

Os menores valores do AIC e BIC (Tabela 4) indicam que o modelo é o mais adequado comparativamente aos demais modelos que apresentaram bons ajustes (GOMES et al., 2018). Vários autores utilizaram deste critério estatístico para a seleção do modelo matemático que melhor descreve a curva de sorção de produtos vegetais (FERREIRA JUNIOR et al., 2018; QUEQUETO et al., 2019; SOUZA et al., 2019; FONSECA et al., 2020).

Observando-se os ajustes dos modelos para as diferentes cultivares os modelos de Chen Clayton (2), Oswin Modificado (6) e Sabbah (7) obtiveram satisfatório ajuste em todas as cultivares (Tabela 4), então foram comparados os valores do AIC e BIC e, posteriormente, selecionado o modelo de Oswin Modificado (6) para representar a curva de dessecamento dos grãos de soja das seis cultivares estudadas.

Tabela 4. Valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e critérios de informação bayesiano de Schwarz (BIC) para os modelos ajustados a higroscopicidade das diferentes cultivares de grãos de soja

Modelo	Cultivar					
	BÔNUS		M-7739		CD-2728	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Chen Clayton	16,86	20,72	24,33	28,49	27,91	32,63
Oswin Modificado	9,94	13,03	12,84	16,17	25,5	29,28
Sabbah	27,01	30,1	28,47	31,81	33,09	36,87
	NS-7300		BRS-7960		CD-2737	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
	Chen Clayton	28,28	33,26	29,74	34,47	32,91
Oswin Modificado	21,2	25,19	18,33	22,11	5,00	8,56
Sabbah	34,55	38,53	34,82	38,6	40,06	43,62

O modelo de Oswin Modificado (6) proporcionou melhor ajuste para as isotermas de dessecamento de *blends* de café quando ajustados nas temperaturas de 10 e 30 °C, atividade de água

entre 0,10 e 0,85 e teor de água entre 2,20 e 5,51 % (b.s), respectivamente, (OLIVEIRA et al., 2020).

O modelo de Oswin Modificado (6) também foi utilizado para representar a higroscopicidade do jiló (*Solanum gilo*) (SARTI, 2019), sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) (ZEYMER et al., 2017), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (CAMPOS et al., 2016).

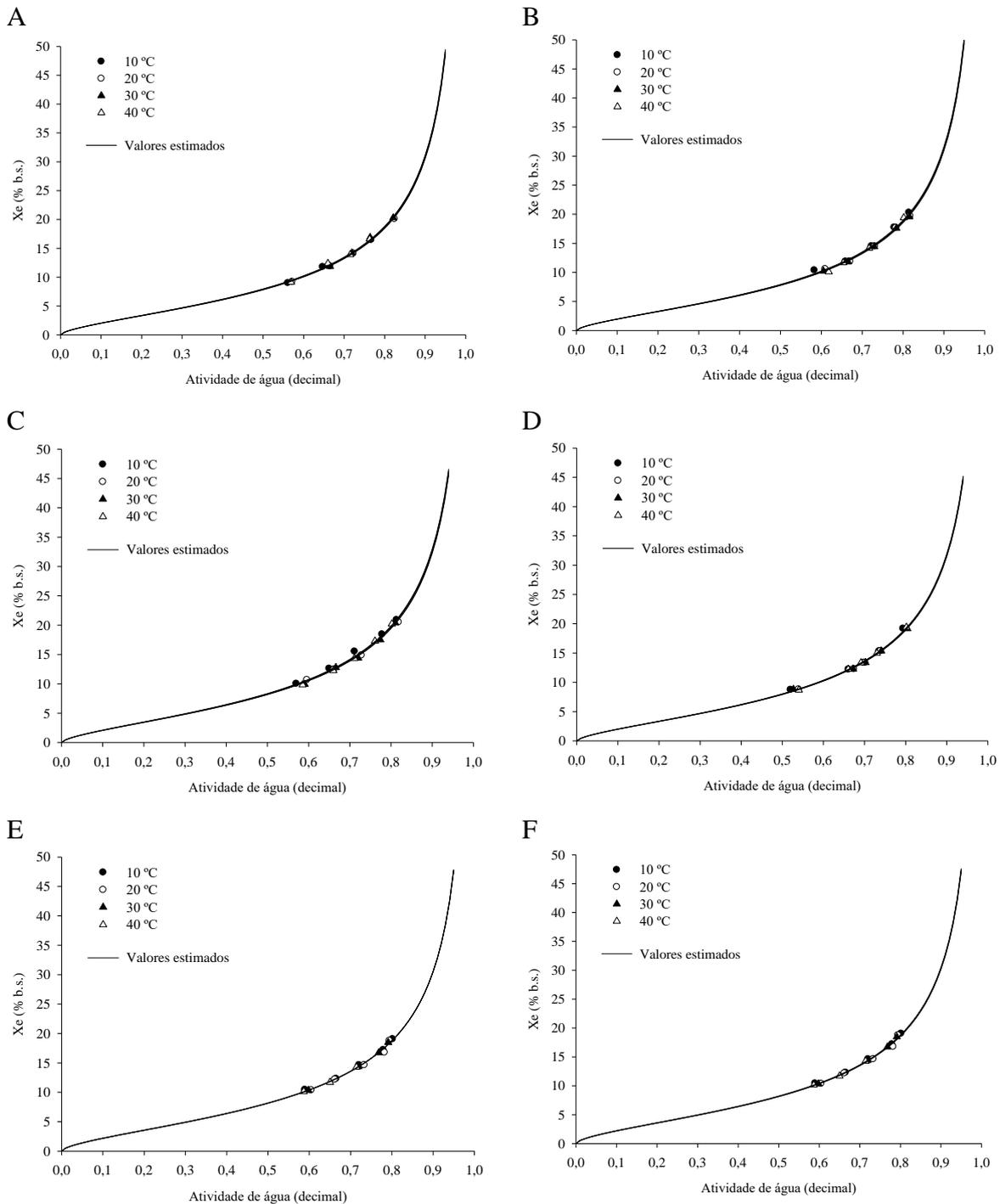


Figura 2. Isothermas de dessorção estimadas pelo modelo de Oswin Modificado para os grãos das cultivares (A) BÔNUS, (B) BRS-7960, (C) CD-2728, (D) CD-2737, (E) M-7739 e (F) NS-7300 soja nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C

Na Tabela 5 estão apresentados os coeficientes e os parâmetros estatísticos para o modelo de Oswin Modificado (6) ajustado aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as seis cultivares de soja estudadas.

Tabela 5. Coeficientes do modelo de Oswin Modificado ajustado aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as seis cultivares de soja, com os parâmetros estatísticos coeficiente de determinação (R^2 , decimal), erro médio estimado (SE, decimal), Qui-quadrado (χ^2 , decimal), e erro médio relativo (P, %)

Cultivar	Coeficientes	P (%)	SE	χ^2	R^2 (%)
Bônus	a = 7,752596	1,6302	0,2872	0,0825	99,4319
	b = 0,005136				
	c = 1,611074				
M-7739	a = 8,1555958	1,3520	0,3063	0,0938	99,9917
	b = 0,0003381				
	c = 1,6653875				
CD-2728	a = 8,417039	1,9987	0,4176	0,1744	98,9497
	b = -0,006284				
	c = 1,600156				
NS-7300	a = 8,108531	1,9353	0,3642	0,1326	98,8884
	b = 0,002887				
	c = 1,676472				
BRS-7960	a = 7,983986	1,8143	0,3492	0,1219	99,1996
	b = -0,00576				
	c = 1,588881				
CD-2737	a = 8,075719	1,4981	0,2469	0,0609	99,4777
	b = -0,003978				
	c = 1,592096				

As isotermas de desorção dos grãos de soja estimadas pelo modelo de Oswin Modificado (6) apresentam formato característico de curvas do tipo II (BRUNAUER et al., 1938) (Figura 2), demonstrando o formato sigmoidal, típico para vários produtos vegetais (CHAVES et al., 2015; HASSINI et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2014a; b).

O formato das isotermas depende da estrutura física e da composição química do produto. Fabra et al. (2009) afirmaram que o formato típico de uma curva isotérmica reflete a maneira pela qual a água se liga ao sistema de estratificação do produto. Assim, as fracas interações entre as moléculas de água e a superfície do produto gera alta atividade de água, tornando o produto instável. Quando as interações são fortes, a atividade da água é baixa e o produto é mais estável, reduzindo as chances de deterioração durante o armazenamento.

Com base nas isotermas apresentadas (Figura 2), o produto pode ser gerenciado adequadamente, visando a manutenção de seu teor de água nos níveis recomendados para um armazenamento seguro. Os gráficos das isotermas de sorção também podem ser utilizados para definir o período mais adequado para o armazenamento de grãos de soja nas várias regiões do país, considerando os dados de temperatura e umidade relativa (CAMPOS et al., 2016).

Segundo Navarro e Myung (2004), há vários fatores para se considerar, ao avaliar um modelo estatístico. Em geral, pode ser utilizado um método ajustando os dados de acordo com a realidade, como também aprofundando em algum modelo específico utilizando todas as suas ferramentas.

Com base nos resultados obtidos o modelo de Oswin Modificado (6) foi selecionado para representar as isotermas de dessorção dos grãos de soja de diferentes cultivares. Assim, o produto pode ser gerenciado adequadamente, visando a manutenção de seu teor de água nos níveis recomendados para um armazenamento seguro.

7 REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transaction on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p.716-723, 1973.
- ALMEIDA, R. F.; MACHADO, A. P. O. Secagem de alimentos e seu impacto na pós-colheita. II **Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia**, Anais do II CoBICET – Trabalho completo, 2021.
- ARSLAN-TONTUL, S. Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds. **LWT**, v.119, p.108859, 2020.
- BRASIL. Ministério Da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria nacional de defesa agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 398 p.
- BRUNAUER S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layer. **Journal of American Chemistry Society**, v. 60, p.309-319, 1938
- BURNHAM, K.P.; ANDERSON, D.R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. **Sociological Methods & Research**, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004
- CAMPOS, R.C.; CORRÊA, P.C.; FERNANDES, L.S.; BAPTESTINI, F.M.; COSTA, C.F.; BUSTOS-VANEGAS, J.D. Bean grain hysteresis with induced mechanical damage **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.10, p.930-935, 2016
- CANADA. **Canadian Grain Commission approved sample dividing equipment**5.2016. Disponível em: <<http://www.grainscanada.gc.ca/quality-qualite/sg-eg-eng.htm>>. Acesso em 01 fev. 2020.
- CAVALCANTI I. F. A., FERREIRA N. J., JUSTI DA SILVA M. G. A; SILVA DIAS M. A. F. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo, Oficina de Textos. p.135-148.CHAVES, T. H.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. DE; SMANIOTTO, T. A. DE S.; SOUSA, K. A. Isotermas e calor isostérico das sementes de pinhão-mansô. **Engenharia na Agricultura**, v.23, p.9-18. 2015
- CHEN, C. Validation of the component model for prediction of moisture sorption isotherms of two herbs and other products. **Foods**, v.8, n.6, p.191, 2019.
- COGO – Inteligência em agronegócio. **Déficit de armazenagem de grãos**. 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/brasil-deficit-recorde-armazenagem-cogo/>. Acesso em 17 de março de 2022.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safra 2020/21, v. 8, n. 6, sexto levantamento, mar. 2021.
- CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 1, p. 39–48, 2005.
- DALL'AGNOL, A., ROESSING, A. C., LAZZAROTTO, J. J., HIRAKURI, M. H., & de Oliveira, A. B. O complexo agroindustrial da soja brasileira. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 12 p. (Circular

Técnica, n. 43). DRAPER, N.R.; SMITH, H. Applied regression analysis. **John Wiley & Sons**, 3th ed., New York, 1998, 712p.

EMBRAPA, SOJA. IV Plano diretor da Embrapa Soja 2008-2011-2023. **Embrapa Soja-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 2008.

FABRA, M. J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Sorption isotherm and state diagram of grapefruit as a tool to improve product processing and stability. **Journal of Food Engineering**, v.93, p.52-58, 2009

FERREIRA JUNIOR, W.N.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C., COSTA, L.M. Isotherms and isosteric heat desorption of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. seeds. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.10, p. 504-12, 2018

FERREIRA, W. S. **Diagnóstico energético aplicado em aeração de grãos em silos verticais**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

FONSECA, N.N.; RESENDE, O.; FERREIRA, J.R.W.N.; SILVA, L.C.M.; ANDRADE, E.G.; OLIVEIRA, L.P. Desorption isotherms of graniferous sorghum grains. **Research, Society and Development**, v. 9, n.7, p. 1-16, 2020

GOMES, F.P.; RESENDE, O; SOUSA, E.P.; OLIVEIRA, D.E.C.; ARAÚJO NETO, F.R. Drying kinetics of crushed mass of ‘jambu’: Effective diffusivity and activation energy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n.7, p. 499-505, 2018

GONÇALVES, T. D. C. Dimensionamento e simulação operacional de um sistema de secagem a baixa temperatura. 2019. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Agrícola e Ambiental – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.

GÜNHAN, T.; DEMIR, V.; HANCIOGLU, E.; HEPBASLI, A. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v. 46, n. 11, p. 1667-1679, 2005.

HASSINI, L.; BETTAIEBA, E.; DESMORIEUXB, H.; TORRESC, S. S.; TOUILD, A. Desorption isotherms and thermodynamic properties of prickly pear seeds. **Industrial Crops and Products**, v.67, p.457-465, 2015.

KAPSALIS, J.G. Influences of hysteresis and temperature on moisture sorption isotherms. **In Water Activity**. Routledge, 2017. p.173-213.

KIBAR, Hakan; YÜCESAN, Buhara. Efeitos da duração do armazenamento em diferentes temperaturas sobre vários parâmetros fisiológicos da germinação de sementes de einkorn (*Triticum monococum* L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 93, p. 101851, 2021

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BRUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996

MAZZA, G.; LEMAGUER, M. Dehydration of onion: Some theoretical and practical considerations. **Journal of Food Technology**, v.15, p.181-194, 1980

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005

NAVARRO, D.J.; MYUNG, I.J. **Model evaluation and selection**. Columbus, USA: Ohio State University, 2004. 6p

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; CAMPOS, R. C.; DONADON, J. R. Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca. **Revista de**

Ciências Agrárias, v.42, p.203-210, 2014a.

OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; SOUZA, K. A.; SMANIOTTO, T. A. S. Propriedades termodinâmicas das sementes de pinhão manso. **Bioscience Journal**, v.30, p.147-157. 2014b.

OLIVEIRA, G.H.H.; OLIVEIRA, A.P.L.R, SOUZA, M.V.C.; NEVES, R.F.; BOTELHO, F.M.; BOTELHO, S.C.C. Water adsorption isotherms of coffee blends, **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 4, p.20988-20997, 2020.

PAUCAR-MENACHO, L. M., AMAYA-FARFÁN, J., BERHOW, M. A., MANDARINO, J. M. G., MEJIA, E. G. D., CHANG, Y. K. (2010) A high-protein soybean cultivar contains lower isoflavones and saponins but higher minerals and bioactive peptides than a low-protein cultivar. **Food Chemistry**, 120, 15-21.

PELEG, M. Models of sigmoid equilibrium moisture sorption isotherms with and without the monolayer hypothesis. **Food Engineering Reviews**, v.12, n. 1, p.1-13, 2020.

QUEQUETO, W.D.; RESENDE, O.; SILVA, P.C.; SILVA, F.A.Z.; SILVA, L.C.M. Drying kinetics of noni seeds. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.5, p. 250-58, 2019

RIBEIRO, D. M., CORRÊA, P. C., RODRIGUES, D. H., & GONELI, A. L. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Food Science and Technology**, v. 25, p. 611-617, 2005.

ROCHA, B. G. R.; AMARO, H. T. R; PORTO, E. M. V.; GONÇALVES, C. C.; DAVID, A. M. S. S.; LOPES, E.B. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n.2, p. 91-100, 2018.

ROMANI, G. E. Análise multicausal das perdas na colheita de soja na região Oeste do Paraná. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - **Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, Toledo, 2018.

RUIVO, T. D. Secagem de soja: determinação da difusividade e da porosidade do grão. Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos; **Universidade Estadual de Maringá**; Avenida Colombo, 5790, BL.13-07; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, 2018.

SANTOS, S.G.F.; SILVA, D.P.; SARTI, J.K.; ALMEIDA, V.G.; RODOVALHO, R.S. Adsorption isotherms and isosteric heat in *Coffea arabica* beans. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, e58128, 2020.

SARTI, J.K. Isotermas de dessecção e propriedades termodinâmicas de sementes de jiló. Monografia (Agronomia) **Instituto Federal Goiano- Campus Ceres**, 2019.

SCHUH, G. C., GOTTARDI, R., FERRARI FILHO, E., ANTUNES, L. E. G., & DIONELLO, R. G. Efeitos de dois métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha-RS, armazenados por 6 meses. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n. 1 (jan./mar. 2011), p. 235-244, 2011.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **Annals of Statistics**, v.6, n. 2, p.461-464, 1978.

SILVA, H. W.; COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; SOARES, R. S.; VALE, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 780–784, 2015.

SILVA, M. S., NAVES, M. M. V., OLIVEIRA, R. B. D., & LEITE, O. D. S. Composição química e valor protéico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Food Science and Technology**, v.

26, n. 3, p. 571-576, 2006.

SILVEIRA, F.G. Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte. (Dissertação de Mestrado) **Universidade Federal de Viçosa**, Programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada a biometria, 2010. 61p.

SOARES, T. Z. B. Manutenção da qualidade do feijão carioca sob armazenamento em atmosfera controlada. **Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, 2019.

SOUZA, D.G.; RESENDE, O; MOURA, L.C.; FERREIRA JUNIOR, W.N.; ANDRADE, J.W.S. Drying kinetics of the sliced pulp of biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Engenharia Agrícola**, v. 39, n.2, p. 176-81, 2019

UMBELINO, A. C. O mercado da soja para o Brasil, os Estados Unidos e a China sob a perspectiva da interdependência complexa. (Monografia) **Pontifícia Universidade Católica de Goiás**. Escola de Direito e Relações Internacionais, Goiânia 2021.66f

ZEYMER, J. S. **Modelagem matemática dos fenômenos de higroscopia e respiração de grãos de soja em diferentes condições de armazenamento**. (Tese doutorado) Universidade Federal de Viçosa, MG. 2021, 193f.

ZEYMER, J.S.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; BAPTESTINI, F.M.; FREITAS, R.C.P. Desorption isotherms of *Lactuca sativa* seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.8, p.568-572, 2017.