

**AGROTEC**Revista Agropecuária Técnica  
Since 1981

ISSN impresso 0100-7467 - ISSN online 2525-8990

**AGRARIAN SCIENCE AND TECHNOLOGY**

## Secagem de Variedade de Arroz Vermelho, Caqui e Maranhão

Pedro Henrique Menezes<sup>2,3</sup>, Shara Regina Borges<sup>1</sup>, Márcia Roseane Targino de Oliveira<sup>1</sup>,  
Normando Ribeiro-Filho<sup>1</sup>

### Resumo

O arroz vermelho (RR) é reconhecido por suas propriedades nutricionais excepcionais e compostos bioativos. Técnicas de preservação podem estender sua vida útil e aumentar seu valor de mercado. Compreender a relação entre a composição nutricional do RR e sua interação com a água é crucial para aprimorar o controle do processamento, a qualidade do produto e suas implicações culinárias. Este estudo avalia a influência da composição do RR e sua interação com a água. A composição nutricional foi medida. Um processo de secagem foi conduzido para elevar os pontos/períodos críticos de processamento de secagem usando uma incubadora com fluxo de ar (1 m/s) a 60 °C. Modelos empíricos foram aplicados para avaliar a resposta do material biológico e garantir um bom ajuste. Os experimentos e as análises estatísticas foram conduzidos em triplicata. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi empregada para avaliar a correlação entre os períodos de secagem e a composição nutricional. Os resultados revelaram que a composição nutricional influenciou os pontos/períodos críticos de secagem. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para 'CAQUI' e 'MARANHÃO'. A análise de ACP indicou que carboidratos e amilose impactaram o teor de água superficial. Foi observada correlação positiva entre o teor de cinzas e o ponto "D", e entre a fibra bruta e o ponto "E".

Palavras-chave: Arroz-vermelho, Cinética de Secagem, Modelos Matemáticos, ACP, Prática de Cozimento

### Abstract

Red rice (RR) is renowned for its exceptional nutritional properties and bioactive compounds. Preservation techniques can extend its shelf-life and enhance its market value. Understanding the relationship between the nutritional composition of RR and its water interaction is crucial for improving processing control, product quality and its culinary implications. This study evaluates the influence of RR composition and its water interaction. Nutritional composition was measured. A drying process was conducted to raise the drying critical processing points/periods using an incubator with airflow (1m/s) at 60°C. Empirical models were applied to assess the response of the biological material and ensure a good fit. The experiments and statistical analyses were conducted in triplicate. Principal Component Analysis (PCA) was employed to evaluate the correlation between drying periods and the nutritional composition. Results revealed that the nutritional composition influenced the drying critical points/periods. Page's model best fit the experimental data for 'CAQUI' and 'MARANHÃO'. PCA analysis indicated that carbohydrates and amylose impacted superficial water content. A positive correlation was observed between the ash content and "D" point, and crude Fibre and "E" point.

**Keywords:** Red rice, Drying Kinetics, Mathematical models, PCA, cooking practice

Submetido em 22/01/2022;

<sup>1</sup> Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Educacional do Amazonas, Prédio CCTI - Avenida Glaycon de Paiva, nº 1820, Bairro Mecejana, CEP: 69.304-560, Boa Vista, Roraima

<sup>3</sup> Sincro Ambiental e Topografia, R. Srg. Azevedo, 56 B - Aeroporto, Boa Vista - RR, 69310-128  
E-mail: normandofilho@cca.ufpb.br (Autor correspondente)

## 1. Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais consumidos no mundo, com mais da metade da população mundial como alimento. As áreas mais produtivas são provenientes de países de baixa renda (Kassam 2003). Portanto, dez países exportam 92% do arroz total no mercado internacional (incluindo Índia, Tailândia, Vietnã, Paquistão, Estados Unidos, Camboja, China, Birmânia, Brasil e Uruguai) (USDA 2023). Portanto, um pequeno problema em um dos maiores produtores de arroz pode gerar implicações significativas para o mercado global de arroz e para a segurança alimentar (Durand-Morat et al. 2018). Atualmente, o arroz possui diferentes tipos, incluindo cores como branco, preto, marrom e vermelho (Santos et al. 2020). No início do século XX, o arroz vermelho foi anunciado como um problema nos Estados Unidos por ser classificado como o problema de plantas daninhas mais prevalente para os produtores de arroz (Durand-Morat et al. 2018, Santos et al. 2020). Cultivares de arroz pigmentado, incluindo arroz preto, roxo escuro e vermelho, têm recebido grande atenção dos mercados e consumidores locais devido às suas altas propriedades nutricionais e pigmentos bioativos, incluindo ácidos fenólicos, flavonoides e antocianinas, que possuem atividade antioxidante e reduzem os radicais livres, contendo, portanto, substâncias benéficas à saúde que podem ser úteis contra o estresse oxidativo (da Silva, 2021).

As variedades de arroz pigmentado, conhecidas por seu rico conteúdo nutricional e propriedades promotoras da saúde, têm atraído significativa atenção de consumidores e pesquisadores (Mbanjo et al., 2020). A importância diversificada do arroz pigmentado destaca seus diversos compostos bioativos (Deng et al., 2013). Apesar de sua crescente popularidade, esforços intensivos são necessários para aumentar o potencial nutricional das variedades de arroz pigmentado, e ainda existem desafios na cadeia de suprimentos de sementes e no processo de produção (Mbanjo et al., 2020, Wang et al., 2019). A compreensão do papel central do arroz pigmentado na promoção da diversidade alimentar e da sustentabilidade agrícola gera uma necessidade urgente de elucidação dos compostos bioativos, efeitos na saúde, métodos de processamento, diversidade genética, aceitação pelo consumidor e aspectos de sustentabilidade do cultivo de arroz pigmentado (Mbanjo et al. 2020, Wang et al. 2019),

O arroz vermelho tornou-se muito popular devido ao acúmulo de taninos e antocianinas e à ausência de glúten (Dirceu et al., 2001). A intolerância ao glúten (doença celíaca) é uma enteropatia

autoimune causada pela ingestão de grãos que contêm glúten (incluindo trigo, cevada, trigo sarraceno e derivados) (Das e Bhattacharya 2019, Santos et al. 2020). Cerca de 1% da população mundial sofre de intolerância ao glúten; portanto, farinhas alternativas e amidos puros têm sido buscados para produtos sem glúten, visto que a demanda por esses produtos cresceu substancialmente (Das e Bhattacharya 2019).

Os grãos de arroz vermelho têm um baixo teor de umidade em sua constituição; no entanto, o uso de uma técnica de preservação para prolongar sua vida útil é importante (Santos et al. 2020). Entre várias técnicas bem conhecidas para preservação de alimentos, a secagem é um dos métodos de preservação amplamente utilizados para produtos agrícolas, pois prolonga a vida útil dos materiais sem perda dos principais nutrientes e a indústria alimentícia está interessada em sua aplicação (Karam et al. 2016). Ênfase tem sido dada ao desenvolvimento e aplicação de modelos empíricos, visando a harmonia entre a qualidade do ajuste e a facilidade de uso. Na maioria dos modelos, assumimos que as condições são isotérmicas e as constantes de secagem são independentes do teor de umidade. Entre os modelos empíricos, o modelo de dois termos, Henderson e Pabis, Lewis, Page e Page modificado têm sido amplamente utilizados (Panchariya et al. 2002). Alguns desses modelos correspondem a processos de primeira ordem, como Lewis; e Henderson e Pabis, ou processos de ordem superior, como Page. A maioria deles mostra um decaimento exponencial com um ou mais termos, o que pode ser interpretado como uma modificação empírica da solução da Lei de Fick (Ribeiro-Filho et al. 2021).

O processo de secagem tem sido estudado para entender as características dos alimentos e contribuir para uma compreensão mais completa do processo de secagem, reduzindo os custos operacionais e aumentando a qualidade do produto final (Toğrul e Pehlivan 2004). A cinética de secagem dos alimentos pode ser descrita por suas propriedades de transporte (condutividade térmica, difusividade térmica, difusividade de umidade e coeficientes de transferência de calor e massa da interface) (Toğrul e Pehlivan 2004, dos Santos et al. 2017). Portanto, todas as propriedades de transporte e modelagem matemática podem descrever os mecanismos de secagem e definir uma equação, que pode ser útil para as indústrias. Portanto, este estudo visa avaliar a influência da composição do RR e sua interação com a água. Além disso, ao avaliar a caracterização de cultivares de RR, curvas de secagem, pontos/períodos críticos de processamento e parâmetros cinéticos foram levantados para

estimar a taxa de secagem de diferentes variedades de arroz vermelho. Modelos matemáticos da literatura existente foram aplicados como uma informação adicional para elucidar a composição do RR e sua interação com a água. Esperamos que nossos resultados expliquem a relação entre a composição do RR e a interação da água, correlacionando-a com seu ponto crítico de secagem, e esperamos que esse entendimento ajude a melhorar os processos de secagem, estender a vida útil e informar as práticas culinárias.

## 2. Metodologia

### 2.1 Materiais

Cultivares de arroz-vermelho ('CAQUI' e 'MARANHAO') foram obtidas de agroindústrias localizadas em Santana dos Garrotes-PB. As cultivares de arroz-vermelho foram mantidas em suas embalagens originais e armazenadas para protegê-las da luz e da umidade excessiva até o momento do uso para os ensaios.

### 2.2 Composição Nutricional

A análise nutricional (umidade (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca), fibra bruta (%), proteína (%), lipídios (%), cinzas (%)) e carboidratos (%) foi determinada de acordo com o Brasil (2008). Os teores de umidade e cinzas foram conduzidos pelo método gravimétrico. A proteína bruta foi determinada de acordo com o método padrão ICC 105/2, utilizando um fator de conversão de 6,25 × N. Os lipídios totais foram analisados gravimetricamente por extração com éter de petróleo. O teor total de fibras foi determinado por gravimetria enzimática. O teor de carboidratos (teor total estimado de carboidratos) foi determinado pelas diferenças nas análises de umidade, proteína, cinzas e lipídios, realizadas em triplicata.

### 2.3. Teor de amilose (CA)

Um mililitro de etanol (95%) e 9 ml de NaOH 1 N foram misturados a 100 mg de farinha. Em seguida, as amostras foram aquecidas em banho-maria fervente por 10 minutos para gelatinizar o amido. Após a gelatinização, a amostra foi resfriada à temperatura ambiente e transferida para um balão volumétrico de 100 mL. Foram adicionados 5 mL de solução de amido, 1 mL de ácido acético 1 N e 2 mL de solução de iodo. Em seguida, essa solução foi completada até 100 mL com água destilada e homogeneizada por 20 minutos. Após a conclusão do preparo da amostra, a absorbância foi medida a 620 nm usando um espectrofotômetro. O teor de amilose foi determinado a partir de uma curva padrão de amilose de batata anterior. As variedades RR foram divididas em cinco grupos de acordo com

o teor de amilose: ceroso (1-2%), muito baixo (2-9%), baixo (10-20%), moderado (20-25%), alto (25-33%) (IRRI 2018).

### 2.4 Cinética de secagem do arroz vermelho

As amostras foram reidratadas com água destilada (10 g de H<sub>2</sub>O/80 g de amostra) e mantidas em um recipiente plástico com tampa a 4 °C durante a noite. Em seguida, as amostras foram secas em uma incubadora com fluxo de ar (1 m/s) a 60 °C até o equilíbrio termodinâmico. Durante a secagem, as amostras foram coletadas a cada 5 minutos para análise da atividade de água e do teor de umidade. O teor de umidade (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca) foi determinado pela secagem a 105 °C em uma incubadora por 24 h e calculado usando a Equação 1.

$$M_{bs} = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (1)$$

Onde,  $M_{bs}$  é o teor de umidade (g de H<sub>2</sub>O/g de pó seco),  $m_i$  é o peso inicial da amostra e  $m_f$  é o peso final da amostra.

#### 2.4.1 Curvas características, pontos de secagem e períodos de secagem

Utilizando os dados experimentais, os valores da taxa de secagem foram calculados, Equação 2:

$$R = \frac{m}{A} \left( \frac{X_i - X_f}{t_i - t_f} \right) \quad (2)$$

Onde,  $R$  é a taxa de secagem (g de H<sub>2</sub>O/g de pó seco.cm<sup>2</sup>),  $m$  é a massa das amostras,  $A$  é a área da amostra,  $X_i$  é o teor de umidade inicial (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca),  $X_f$  é o teor de umidade final (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca),  $t_i$  é o tempo de secagem inicial,  $t_f$  é o tempo de secagem final.

As curvas características foram geradas utilizando os dados de teor de umidade (Equação 1) versus taxa de secagem (Equação 2). As curvas geradas foram comparadas com a curva característica de taxa de secagem versus teor de umidade. Em seguida, 5 (cinco) pontos de secagem (de A a E) e 4 (quatro) períodos de secagem (AB, BC, BD e DE) foram identificados considerando que A é o ponto de secagem inicial; B é o período inicial da constante da taxa de secagem; C representa o período final da constante da taxa de secagem, o início do segundo período difusional e indica o limite entre o transporte convectivo de água e o transporte difusivo de água; D representa o início do segundo período difusional. período difusional; e

E representa o equilíbrio termodinâmico. Além disso, o intervalo AB representa o período de adaptação; o intervalo BC representa o período da constante da taxa de secagem; o intervalo CD representa o primeiro período difusional; e o intervalo DE representa o segundo período difusional (Travaglini 2008).

Utilizando os dados experimentais de secagem, os valores da taxa de secagem foram calculados, Eq. 3:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3)$$

Onde, RX é a razão de umidade do produto, adimensional, X é o teor de umidade (g de H<sub>2</sub>O/g de pó seco), X<sub>i</sub> é o teor de umidade inicial (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca) e X<sub>e</sub> é o teor de umidade de equilíbrio (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca).

#### 2.4.2 Modelos matemáticos

Ao final do processo de secagem, os pesos secos foram medidos, as taxas de secagem das amostras foram determinadas e as curvas de taxa de secagem versus tempo de secagem foram plotadas. Posteriormente, foram aplicados modelos matemáticos, incluindo Lewis (Equação 4), Page (Equação 5), Henderson & Pabis (Equação 6) e exponencial de dois termos (Equação 7). Os parâmetros de todas as equações foram estimados utilizando o software Statistica® 5.0.

$$RX = \exp(-k_i t) \quad (4)$$

$$RX = \exp(-k_i (t)^n) \quad (5)$$

$$RX = a_1 \exp(-kt) \quad (6)$$

$$RX = a_1 \exp(-k_1 t) + a_2 \exp(-k_2 t) \quad (7)$$

Onde, RX é a umidade do produto, adimensional; t é o tempo (min), e k, n, e a são os parâmetros das equações.

O ajuste dos diferentes modelos às observações foi avaliado por meio do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e do erro relativo médio (E%), definidos na equação 8.

$$E = \frac{100}{n_e} \sum_{i=1}^{n_e} \left| \frac{M_e^i - M_p^i}{M_e^i} \right| \quad (8)$$

Onde M<sub>e</sub><sup>i</sup> é o valor experimental, M<sub>p</sub><sup>i</sup> é o valor previsto e n<sub>e</sub> é o número de pontos experimentais.

#### 2.5 Estatística

O teste de Tukey foi aplicado para identificar uma diferença significativa (p<0,05) entre as amostras utilizando o Microsoft Excel®. A análise de regressão não linear foi aplicada com os dados

experimentais de isoterma de equilíbrio e cultivares de arroz-vermelho utilizando o software Statistica® 5.0, que estima os parâmetros. O ajuste dos diferentes modelos às observações foi avaliado com o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o erro relativo médio (E%), definido na equação 5 (seção 2.3.1). A análise de ACP foi aplicada utilizando o software Statistica® 5.0. Os critérios de Kaiser (autovalor > 1) e a variância cumulativa (>60%) foram utilizados para descrever/selecionar os dados, que são resumidos no gráfico bidimensional (Fig. 3), e a correlação foi avaliada utilizando a matriz de correlação de Pearson (Tabela 3).

### 3. Resultados e discussão

A composição nutricional de cinco cultivares de arroz vermelho (RR) foi avaliada (incluindo umidade (g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca), fibra bruta (%), proteína (%), lipídios (%), cinzas (%), carboidratos (%) e amilose (%)) (Tabela 1). Em seguida, todas as amostras foram secas em estufa com fluxo de ar (1 m/s) a 60 °C até o equilíbrio termodinâmico. Após a conclusão do processo de secagem, os pontos e períodos de secagem foram identificados utilizando a curva característica (Fig. 1) e todos os dados foram utilizados para aplicar modelos empíricos para avaliar a resposta de materiais biológicos, harmonizando a qualidade de ajuste e a facilidade de uso (Fig. 1 e Fig. 2).

#### 3.1. Caracterização da cultivar de arroz vermelho

O principal carboidrato presente no arroz é o amido. Nas plantas de arroz, a relação entre o acúmulo de carboidratos e o teor de água é complexa, pois a água desempenha um papel vital em diversas atividades metabólicas, como síntese, translocação e armazenamento de carboidratos (Wang et al., 2018). Portanto, a disponibilidade adequada de água é crucial para o crescimento da planta e para o acúmulo de carboidratos. As cultivares de arroz vermelho avaliadas apresentaram teor de carboidratos e umidade semelhantes (Tabela 1). O arroz acumula carboidratos por meio do processo de fotossíntese, onde a planta utiliza a luz solar para converter dióxido de carbono e água em glicose e oxigênio. Além disso, a glicose é então armazenada em diversas partes da planta de arroz na forma de carboidratos, como o amido. O amido serve como a principal forma de armazenamento de carboidratos nos grãos de arroz, fornecendo energia para a planta durante o crescimento e o desenvolvimento (Wang et al., 2018; Kusano et al., 2015). O amido contém dois componentes principais: amilopectina e amilose.

A amilose é um tipo de amido que se acumula no endosperma do grão (Wang et al. 2018). Portanto, o arroz acumula amilose no endosperma por meio de processos enzimáticos, regulação genética e fatores ambientais. Todas as cultivares avaliadas contêm níveis moderados de amilose (IRRI 2022). Ambas as cultivares avaliadas apresentaram teor de amilose semelhante (Tabela 1). Todas as cultivares RR avaliadas neste estudo contêm um teor de amilose maior do que as RR produzidas na Ásia, como Mun Poo (16%) e Mali Dang (15,8%). Além disso, elas também contêm um teor de amilose maior do que o arroz branco produzido na Ásia, como Hom Mali (12,99%) (Ratsewo et al. 2019). A proporção de amilose nos grãos de arroz influencia o índice glicêmico do arroz, com variedades com alto teor de amilose resultando em digestão mais lenta e menor impacto nos níveis de açúcar no sangue (Wang et al. 2018, Samyor et al. 2017). O arroz pigmentado sem polimento contêm um teor de amilose maior do que o arroz branco, pois retém a camada de farelo e o gérmen (Samyor et al. 2017, Kusano et al. 2015). Durante o cozimento, um alto teor de amilose indica uma textura mais firme e mantém sua forma; em contraste, um baixo teor de amilose significa um arroz mais macio e pegajoso (Wang et al. 2018).

Tabela 1: Composição nutricional das variedades de arroz vermelho, Caqui e Maranhão

Parametro	Variedades	
	Caqui	Maranhão
Umidade (%)	10,0 <sup>a</sup> ± 0,5	10,0 <sup>a</sup> ± 0,3
Proteína (%)	8,1 <sup>a</sup> ± 0,2	6,9 <sup>b</sup> ± 0,5
Lipídios (%)	0,8 <sup>b</sup> ± 0,1	1,3 <sup>a</sup> ± 0,3
Fibra bruta (%)	0,3 <sup>b</sup> ± 0,1	0,6 <sup>a</sup> ± 0,1
Carboidratos (%)	80,8 <sup>a</sup> ± 0,5	81,2 <sup>a</sup> ± 0,4
Minerais (%)	0,8 <sup>a</sup> ± 0,1	0,8 <sup>a</sup> ± 0,2
Amilose (%)	23,5 <sup>a</sup> ± 1,2	23,2 <sup>a</sup> ± 1,1

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n=3). Letras minúsculas diferentes na mesma linha são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No arroz, as proteínas desempenham papéis essenciais em diversos processos fisiológicos, incluindo crescimento, desenvolvimento e mecanismos de defesa contra estresses bióticos e abióticos (Wang et al. 2018). A variedade Caqui (8,1%) apresentou maiores concentrações de proteína do que a variedade Maranhão (6,9%) ( $p < 0,05$ ) (Tabela 1). Quando comparado ao RR produzido na Indonésia, como Solok e Cianjur, observou-se que o teor de proteína do arroz vermelho Solok (7,2%) é semelhante ao teor de proteína do Maranhão (Yuliana e Akhbar, 2020).

Por outro lado, o arroz vermelho Cianjur (9,5%) contém um teor de proteína maior do que todas as cultivares arroz vermelho avaliadas (Tabela 1) (Yuliana e Akhbar, 2020). O arroz acumula proteínas por meio do processo de síntese proteica, que ocorre dentro de suas células, onde a planta absorve nitrogênio do solo na forma de nitratos ou íons amônio (Wang et al. 2018). Além disso, o nitrogênio é então assimilado em aminoácidos, que são os blocos de construção das proteínas (Ribeiro-Filho et al. 2021). O acúmulo de proteínas contribui para seu valor nutricional como fonte de aminoácidos essenciais para o consumo humano.

Os lipídios são compostos de gorduras e óleos, gerados pela biossíntese de lipídios, e desempenham um papel crucial no armazenamento de energia e na estrutura da membrana (Wang et al. 2018, Samyor et al. 2017). As cultivares avaliadas contêm diferentes concentrações de lipídios, que variam de 0,8% (Caqui) a 1,3% (Maranhão) ( $p < 0,05$ ) (Tabela 1). Algumas cultivares de arroz vermelho cultivadas na Ásia, como Chakhao Angangba (2,1%), contêm maiores concentrações de lipídios (Devi e Badwaik 2022). Os lipídios são sintetizados em vários tecidos de plantas de arroz por meio da biossíntese de lipídios, que envolve a conversão de moléculas de acetil-CoA em ácidos graxos por meio de uma série de reações enzimáticas nos plastídios e no retículo endoplasmático das células vegetais (Wang et al. 2018, Kusano et al. 2015). No entanto, os lipídios em RR também podem ser acumulados durante o armazenamento na forma de corpos oleosos dentro dos grãos de arroz, o que aumenta sua acumulação no endosperma durante o desenvolvimento dos grãos (Wang et al. 2018, Samyor et al. 2017).

O arroz acumula fibras principalmente nas camadas externas do grão, que são compostas por polissacarídeos não amiláceos, incluindo celulose, hemicelulose e pectina (Wang et al., 2019). Ao observar o teor de fibras, as cultivares RR contêm diferentes teores de fibras que variam de 0,3% (CAQUI) a 0,6% (Maranhão), o que difere do teor de fibras da cultivar Chakhao Angangba (2,3%) produzida na Ásia (Lourembam Monika e Laxmikant, 2022). No arroz, o acúmulo de fibras é influenciado por fatores genéticos que regulam a biossíntese dos componentes da parede celular; e por fatores ambientais, como disponibilidade de água, temperatura e níveis de nutrientes (Wang et al., 2018, Kusano et al., 2015). O arroz pigmentado, que retém a camada de farelo, contém mais fibras alimentares (incluindo hemicelulose e celulose) do que o arroz branco (Samyor et al. 2017, Kusano et al. 2015). Compreender os mecanismos de geração de fibras é importante para melhorar a qualidade

nutricional do arroz e desenvolver variedades com maior teor de fibras.

Cinzas nos grãos de arroz referem-se ao conteúdo mineral, que é acumulado por meio da absorção de minerais do solo durante seu crescimento e desenvolvimento (Wang et al. 2018). A disponibilidade de minerais no solo, os níveis de pH, a composição do solo e as práticas de manejo de nutrientes podem influenciar a absorção de minerais e seu acúmulo nas plantas de arroz. Portanto, a fertilidade adequada do solo e níveis equilibrados de nutrientes são essenciais para garantir a absorção ideal de minerais pelas plantas de arroz (Wang et al. 2018, Samyor et al. 2017, Kusano et al. 2015). Todas as amostras avaliadas contêm um teor de cinzas semelhante (Tabela 1), exceto MNA-PB902 (1,5%,  $p < 0,05$ , Tabela 1). O arroz pigmentado, que retém a camada de farelo, tende a ter maior teor de cinzas do que o arroz branco (Wang et al. 2018). Além disso, nos grãos de arroz, as cinzas são principalmente acumuladas na camada externa; portanto, variedades RR com maior concentração de cinzas tendem a ter uma camada externa espessa (Samyor et al. 2017). O teor de cinzas é uma indicação de que os grãos de arroz fornecem minerais essenciais, importantes para diversas funções fisiológicas do corpo, incluindo a saúde óssea, a atividade enzimática e os processos metabólicos. O consumo de arroz com teor adequado de cinzas contribui para a ingestão geral de minerais na dieta (Wang et al. 2018). Todas as cultivares de arroz vermelho variam seu conteúdo nutricional devido a fatores genéticos (Ratsewo et al. 2019, Wang et al. 2018). Tanto o arroz pigmentado quanto o arroz branco têm seu crescimento e composição nutricional influenciados pelas principais condições edafoclimáticas (incluindo características do solo, temperatura, exposição solar, disponibilidade hídrica, altitude, variabilidade climática e pressão de pragas/doenças) (Ratsewo et al. 2019).

Todos os dados nutricionais acima são importantes para entender o comportamento do arroz-vermelho durante o processo de secagem, armazenamento e cozimento. Durante o cozimento do arroz, lipídios e proteínas interagem com o amido, afetando a viscosidade, o volume e a pegajosidade (Martin e Fitzgerald, 2002). Além disso, proteínas e amido formam uma rede (amido-proteína) que restringe a adsorção de água. Por outro lado, os lipídios formam complexos com o amido, mas também restringem a adsorção de água durante o cozimento. Como resultado, uma matriz de arroz com alto teor de proteínas e lipídios resulta em perda de água e arroz menos pegajoso, pois adsorve menos água durante o cozimento (Singh et al., 2009). O arroz-

vermelho é pouco polido, o que mantém a firmeza do grão. Além disso, contém menor teor de amilose do que o arroz branco e, portanto, requer mais tempo para um cozimento eficaz (José Almeida et al., 2009). O teor de amilose é um dos parâmetros mais importantes para medir o comportamento de cozimento do arroz (Xie et al., 2008). Da mesma forma, no cozimento do arroz, a interação entre toda a composição nutricional e o teor de umidade é um parâmetro crucial para a compreensão de outros importantes processos do arroz vermelho, incluindo prazo de validade, armazenamento, embalagem e processo de secagem (Ribeiro-Filho et al., 2021).

### 3.2. Secagem do arroz vermelho

Durante o processo de secagem, a quantidade e a relação entre todos os parâmetros envolvidos não são bem conhecidas, pois podem mudar de acordo com a composição nutricional da matéria-prima.

O arroz acumula fibras principalmente nas camadas externas do grão, que são compostas por polissacarídeos não amiláceos, incluindo celulose, hemicelulose e pectina (Wang et al., 2019). Ao observar o teor de fibras, as cultivares RR contêm diferentes teores de fibras que variam de 0,3% (CAQUI) a 0,6% (Maranhão e MNA-PB405), ou que difere do teor de fibras da cultivar Chakhao Angangba (2,3%) produzida na Ásia (Lourembam Monika e Laxmikant, 2022). No arroz, o acúmulo de fibras é influenciado por fatores genéticos que regulam a biossíntese dos componentes da parede celular; e por fatores ambientais, como disponibilidade de água, temperatura e níveis de nutrientes (Wang et al., 2018, Kusano et al., 2015). O arroz pigmentado, que retém a camada de farelo, contém mais fibras alimentares (incluindo hemicelulose e celulose) do que o arroz branco (Samyor et al. 2017, Kusano et al. 2015). Compreender os mecanismos de geração de fibras é importante para melhorar a qualidade nutricional do arroz e desenvolver variedades com maior teor de fibras.

Cinzas nos grãos de arroz referem-se ao conteúdo mineral, que é acumulado por meio da absorção de minerais do solo durante seu crescimento e desenvolvimento (Wang et al. 2018). A disponibilidade de minerais no solo, os níveis de pH, a composição do solo e as práticas de manejo de nutrientes podem influenciar a absorção de minerais e seu acúmulo nas plantas de arroz. Portanto, a fertilidade adequada do solo e níveis equilibrados de nutrientes são essenciais para garantir a absorção ideal de minerais pelas plantas de arroz (Wang et al. 2018, Samyor et al. 2017, Kusano et al. 2015). Todas as amostras avaliadas contêm um teor de cinzas semelhante (Tabela 1), exceto MNA-PB902

(1,5%,  $p < 0,05$ , Tabela 1). O arroz pigmentado, que retém a camada de farelo, tende a ter maior teor de cinzas do que o arroz branco (Wang et al. 2018). Além disso, nos grãos de arroz, as cinzas são principalmente acumuladas na camada externa; portanto, variedades RR com maior concentração de cinzas tendem a ter uma camada externa espessa (Samyot et al. 2017). A teoria de cinzas é uma indicação de que os grãos de arroz fornecem minerais essenciais, importantes para diversas funções fisiológicas do corpo, incluindo a saúde óssea, a atividade enzimática e os processos metabólicos. O consumo de arroz com teor

adequado de cinzas contribui para a ingestão geral de minerais na dieta (Wang et al. 2018). Todas as cultivares RR variam seu conteúdo nutricional devido a fatores genéticos (Ratsewo et al. 2019, Wang et al. 2018). Tanto o arroz pigmentado quanto o arroz branco têm seu crescimento e composição nutricional influenciados pelas principais condições edafoclimáticas (incluindo características do solo, temperatura, exposição solar, disponibilidade hídrica, altitude, variabilidade climática e pressão de pragas/doenças) (Ratsewo et al. 2019).

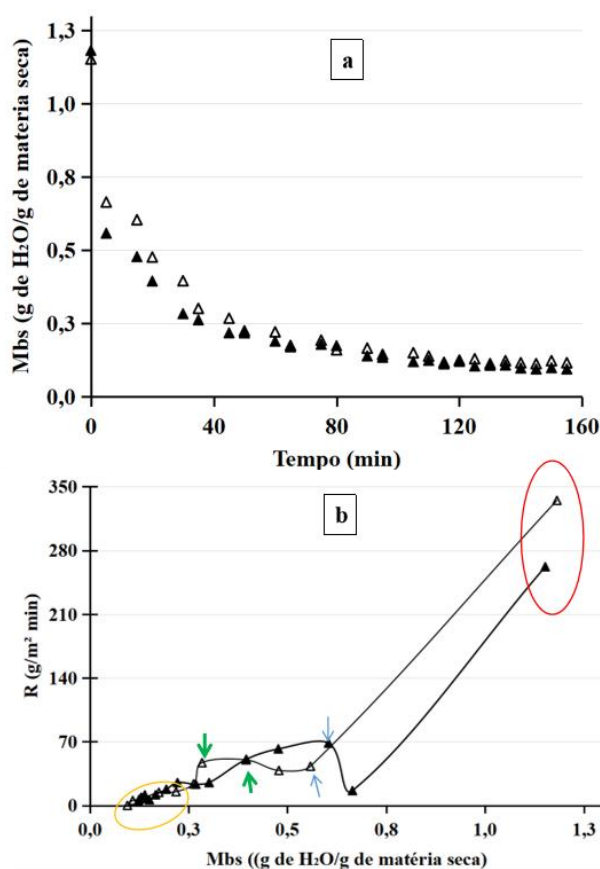


Figura 1: a) Curva de secagem das cultivares de arroz vermelho: Caqui ( $\Delta$ ) e Maranhão ( $\blacktriangle$ ); e b) Relação de umidade das cultivares de arroz vermelho: Caqui ( $\blacktriangle$ ) e Maranhão ( $\triangle$ ). R - Taxa de secagem ( $\text{Kg}/\text{m}^2 \text{ min}$ ). Mbs - Umidade ( $\text{g de H}_2\text{O}/\text{g de pó seco}$ ). O ciclo vermelho indica os pontos críticos “A” para cultivares de arroz vermelho como Caqui, Maranhão, MNA-PB-901 e MNA-PB-902; a seta azul indica os pontos críticos “B” para cultivares de arroz vermelho como Caqui, Maranhão, MNA-PB-901 e MNA-PB-902; a seta verde indica os pontos críticos “C” para cultivares de arroz vermelho como Caqui, Maranhão, MNA-PB-901 e MNA-PB-902, que representa o período final da constante da razão de umidade, o início do segundo período difusional e indica o limite do transporte de água convectivo para o transporte de água por difusão; e o ciclo amarelo indica o início do segundo período difusional (D); e equilíbrio termodinâmico (E).

Todos os dados nutricionais acima são importantes para entender o comportamento do arroz-vermelho durante o processo de secagem, armazenamento e cozimento. Durante o cozimento do arroz, lipídios e

proteínas interagem com o amido, afetando as partículas, o volume e a pegajosidade (Martin e Fitzgerald, 2002). Além disso, proteínas e amido formam uma rede (amido-proteína) que restringe a

adsorção de água. Por outro lado, os lipídios formam complexos com o amido, mas também restringem a adsorção de água durante o cozimento. Como resultado, uma matriz de arroz com alto teor de proteínas e lipídios resulta em perda de água e arroz menos pegajoso, pois adsorve menos água durante o cozimento (Singh et al., 2009). O arroz-vermelho é um pouco polido, o que mantém a firmeza do grão. Além disso, contém menor teor de amilose do que o arroz branco e, portanto, requer mais tempo para um cozimento eficaz (José Almeida et al., 2009). O teor de amilose é um dos parâmetros mais importantes para medir o comportamento de cozimento do arroz (Xie et al., 2008). Da mesma forma, no cozimento do arroz, a interação entre toda a composição nutricional e o teor de umidade é um parâmetro crucial para a compreensão de outros processos importantes do arroz vermelho, incluindo prazo de validade, armazenamento, embalagem e processo de secagem (Ribeiro-Filho et al., 2021). Durante o processo de secagem, a quantidade e a relação entre todas as interrupções envolvidas podem não ser bem conhecidas, pois mudam de acordo com a composição nutricional da matéria-prima.

O arroz acumula fibras principalmente nas camadas externas do grão, que são compostas por polissacarídeos não amiláceos, incluindo celulose, hemicelulose e pectina (Wang et al., 2019). Ao observar o teor de fibras, as cultivares avaliadas apresentaram diferentes teores de fibras que variam de 0,3% (CAQUI) a 0,6% (Maranhão e MNA-PB405), ou que diferem do teor de fibras da cultivar Chakhao Angangba (2,3%) produzida na Ásia (Lourebam Monika e Laxmikant, 2022). No arroz, o acúmulo de fibras é influenciado por fatores genéticos que regulam a biossíntese dos componentes da parede celular; e por fatores ambientais, como disponibilidade de água, temperatura e níveis de nutrientes (Wang et al., 2018, Kusano et al., 2015). O arroz pigmentado, que retém a camada de farelo, contém mais fibras alimentares (incluindo hemicelulose e celulose) do que o arroz branco (Samyot et al. 2017, Kusano et al. 2015). Compreender os mecanismos de geração de fibras é importante para melhorar a qualidade nutricional do arroz e desenvolver variedades com maior teor de fibras.

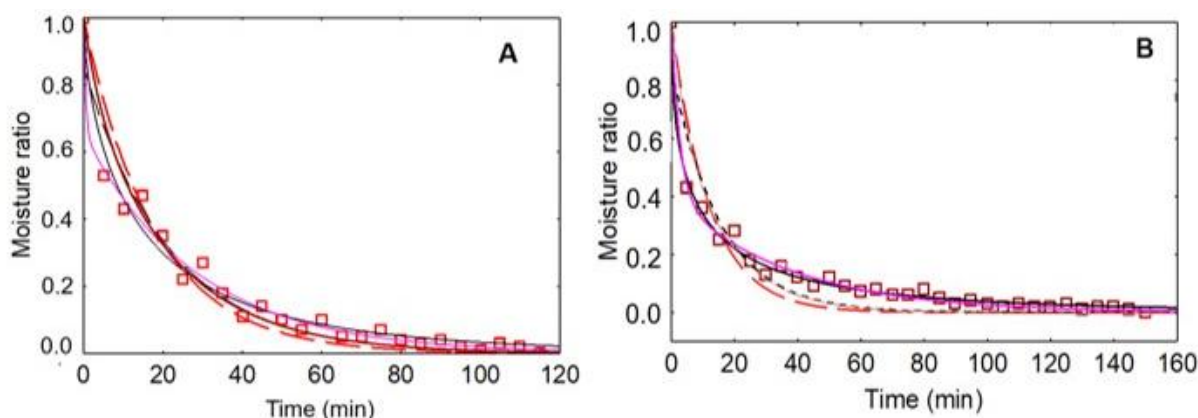


Fig. 2: Curva de secagem de cinco cultivares de grãos de arroz vermelho (incluindo (A) 'CAQUI', (B) 'MARANHÃO', (C) 'MNA-PB-901', (D) 'MNA-PB-902' e (E) 'MNA-PB-405') determinada pelo modelo matemático de Lewis (---), Henderson and Pabis (---), Page (—), Difusional (—), e Exponencial de dois termos (—) a 60°C.

Cinzas nos grãos de arroz referem-se ao conteúdo mineral, que é acumulado por meio da absorção de minerais do solo durante seu crescimento e desenvolvimento (Wang et al. 2018). A disponibilidade de minerais no solo, os níveis de pH, a composição do solo e as práticas de manejo de nutrientes podem influenciar a absorção de minerais e seu acúmulo nas plantas de arroz. Portanto, a fertilidade adequada do solo e níveis equilibrados de nutrientes são

essenciais para garantir a absorção ideal de minerais pelas plantas de arroz (Wang et al. 2018, Samyot et al. 2017, Kusano et al. 2015). Todas as amostras avaliadas contêm um teor de cinzas semelhante (Tabela 1), exceto MNA-PB902 (1,5%,  $p < 0,05$ , Tabela 1). O arroz pigmentado, que retém a camada de farelo, tende a ter maior teor de cinzas do que o arroz branco (Wang et al. 2018). Além disso, nos grãos de arroz, as cinzas são principalmente acumuladas na camada

externa; portanto, variedades RR com maior concentração de cinzas tendem a ter uma camada externa espessa (Samyot et al. 2017). A cinza de teoria é uma indicação de que os grãos de arroz fornecem minerais essenciais, importantes para diversas funções fisiológicas do corpo, incluindo a saúde óssea, a atividade enzimática e os processos metabólicos. O consumo de arroz com teor adequado de cinzas contribui para a ingestão geral de minerais na dieta (Wang et al. 2018).

Todas as cultivares RR variam seu conteúdo nutricional devido a fatores genéticos (Ratseewo et al. 2019, Wang et al. 2018). Tanto o arroz pigmentado quanto o arroz branco têm seu crescimento e composição nutricional influenciados pelas principais condições edafoclimáticas (incluindo características do solo, temperatura, exposição solar, disponibilidade hídrica, altitude, variabilidade climática e pressão de pragas/doenças) (Ratseewo et al. 2019).

Tabela 2: Parâmetros obtidos, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvio quadrático médio (DMM) dos modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de cultivares de arroz vermelho (incluindo 'Caqui' e 'Maranhão').

Model	Cultivars	parameters				$R^2$	MSD
		a	k	b	n		
Diffusional	CAQUI	0,34	2,01	0,02		0,985	0,02
	Maranhão	0,60	0,38	0,07		0,990	0,02
Lewis	CAQUI		0,06			0,920	0,06
	Maranhão		0,08			0,870	0,07
Henderson and Pabis	CAQUI	0,86	0,05			0,944	0,05
	Maranhão	0,84	0,06			0,892	0,06
Two-exponential term	CAQUI	0,20	0,23			0,954	0,05
	Maranhão	0,25	0,25			0,913	0,06
Page	CAQUI		0,18		0,65	0,975	0,04
	Maranhão		0,36		0,48	0,991	0,02

a representa o processo de secagem por difusão devido ao baixo teor de água (água interna).

k representa o efeito das condições externas durante o processo de secagem, incluindo mudanças de temperatura e fluxo de ar.

b representa o tempo necessário para atingir um determinado nível de secagem.

n representa a resistência interna do material.

Todos os dados nutricionais acima são importantes para entender o comportamento do arroz-vermelho durante o processo de secagem, armazenamento e cozimento. Durante o cozimento do arroz, lipídios e proteínas interagem com o amido, afetando as partículas, o volume e a pegajosidade (Martin e Fitzgerald, 2002). Além disso, proteínas e amido formam uma rede (amido-proteína) que restringe a adsorção de água. Por outro lado, os lipídios formam complexos com o amido, mas também restringem a adsorção de água durante o cozimento. Como resultado, uma matriz de arroz com alto teor de proteínas e lipídios resulta em perda de água e arroz menos pegajoso, pois adsorve menos água durante o cozimento (Singh et al., 2009). O arroz-vermelho é um pouco polido, o que mantém a firmeza do grão. Além disso, contém menor teor de amilose do que o arroz branco e, portanto, requer mais tempo para um cozimento eficaz (José Almeida et al., 2009). O teor de amilose é um dos

parâmetros mais importantes para medir o comportamento de cozimento do arroz (Xie et al., 2008). Da mesma forma, no cozimento do arroz, a interação entre toda a composição nutricional e o teor de umidade é um parâmetro crucial para a compreensão de outros processos importantes do arroz vermelho, incluindo prazo de validade, armazenamento, embalagem e processo de secagem (Ribeiro-Filho et al., 2021). Durante o processo de secagem, a quantidade e a relação entre todos os intermediários envolvidos podem não ser bem conhecidas, pois mudam de acordo com a composição nutricional da matéria-prima.

Do ponto de vista industrial, um processo de secagem adequadamente otimizado prolonga a vida útil dos alimentos sem a perda de nutrientes. Além disso, estudos de secagem aplicados a alimentos podem melhorar as operações industriais e reduzir o desperdício. Nossos resultados confirmam que o arroz vermelho com alta concentração de lipídios

tende a conter alta concentração de fibras e baixo teor de proteínas. A composição do arroz vermelho é influenciada por características genéticas, características do solo, condições ambientais (radiação solar e temperatura) ou processamento (grau de polimento). Nossos resultados também indicam que carboidratos e amilose são responsáveis pela sorção de água em superfícies de arroz vermelho (períodos convectivos AB e BC). A composição mineral influencia o segundo período de secagem difusional (DE). A fibra bruta está correlacionada ao tamanho da monocamada. Os dados dos grãos Caqui e Maranhão se ajustaram quando os modelos de Page, Difusional e Exponencial de dois termos foram aplicados; no entanto, os dados dessas cultivares não se ajustaram bem quando os modelos de Lewis e Henderson e Pabis foram aplicados, os quais não se ajustaram bem em regiões de baixo teor de água que representam o transporte difusional. Embora este trabalho contribua para uma compreensão mais completa do processo de secagem de alimentos como arroz e cultivares de arroz vermelho, estudos futuros considerando cultivares de arroz vermelho em diferentes temperaturas, isotermas de dessecamento, propriedades termodinâmicas e mecanismos químicos/bioquímicos ressaltam a natureza evolutiva da ciência dos alimentos, o que enfatiza a necessidade de pesquisa contínua para refinar nossa compreensão dos processos de secagem do arroz vermelho, suas interações com a água e suas implicações para a gastronomia. Além disso, todas as cultivares de arroz vermelho diferem em sua relação com a adsorção de água; portanto, cada variedade de arroz vermelho deve ser manuseada de forma diferente durante o cozimento. Finalmente, essas descobertas contribuem para que as indústrias aprimorem as informações sobre o controle e o armazenamento do processamento de alimentos. Além disso, a importância de compreender as complexidades da composição do arroz vermelho, os processos de secagem e a influência de vários fatores nos resultados culinários. Esse conhecimento pode capacitar chefs, cozinheiros e profissionais da indústria alimentícia a tomar decisões informadas na seleção, preparação e utilização do arroz vermelho em diversas aplicações culinárias.

#### 4. Conclusões

A composição da cultivar de arroz-vermelho influenciou o processo de secagem. Avaliou-se a influência dos parâmetros nutricionais do arroz-vermelho nos pontos críticos de secagem (de A a E) e em seus períodos de secagem (AB, BC, BD e DE). Carboidratos e amilose influenciam a sorção de

água na superfície do arroz-vermelho (períodos convectivos de secagem AB e BC) e têm influência muito baixa na sorção de água no arroz-vermelho (períodos difusionais CD e DE). O teor de cinzas influencia o segundo período de secagem difusional (DE). A fibra bruta e o ponto "E" apresentam correlação significativa. Ambas as amostras avaliadas apresentaram o limite entre o transporte convectivo de água e o transporte de água por difusão (ponto C). Todos os modelos testados se ajustaram bem aos dados experimentais para ambos os materiais e apresentaram valores de  $R^2 > 0,9$ . As cultivares de Caqui e Maranhão se ajustaram quando aplicadas aos modelos de Page, Difusional e Exponencial de Dois Termos. O modelo de Page é o que melhor se ajusta aos dados experimentais dos grãos de Caqui e Maranhão. A ACP revela que carboidratos e amilose estão envolvidos na retenção de água superficial. O teor de cinzas e o ponto "D" apresentaram correlação positiva significativa. A fibra bruta é responsável pela retenção de água durante o último período de secagem difusional ("E").

#### Declaração de Conflitos de Interesse

Os autores declaram não ter interesses financeiros ou relacionamentos pessoais conflitantes conhecidos que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

#### Disponibilidade dos dados

Os dados serão disponibilizados mediante solicitação.

**Conflitos de interesse/Interesses conflitantes** - Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesse financeiro ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

#### Referências

Brasil. **Métodos Físico-Químicos para Análises de Alimentos**. Ministério da Saúde, Instituto Adolfo Lutz, 2008.

Da Silva, A. P. G. Fighting coronaviruses with natural polyphenols. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.37, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102233>

Das, A. B.; Bhattacharya, S. Characterization of the batter and gluten-free cake from extruded red rice flour. **LWT – Food Science and Technology**, v.102, p.197–204, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.061>

- Deng, G. F.; Xu, X. R.; Zhang, Y.; Li, D.; Gan, R. Y.; Li, H. B. Phenolic compounds and bioactivities of pigmented rice. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 53(3):296–306, 2013. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.529624>
- Dirceu, A.; Nilson Gilberto, F.; Mauro Antônio, R.; Aldo Merotto, J.; Ribas Antônio, V. Arroz vermelho: ecofisiologia e estratégias de controle. **Ciência Rural**, v.31, p.341–349, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000200016>
- Dos Santos, F. S.; De Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; Santos, D. C. Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed ‘pitaya’ peels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.872–877, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p872-877>
- Devi, L. M.; Badwaik, L. S. Variety difference in physico-chemical, cooking, textural, pasting and phytochemical properties of pigmented rice. **Food Chemistry Advances**, v.1, 100059, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fca.2022.100059>
- Durand-Morat, A.; Nalley, L. L.; Thoma, G. The implications of red rice on food security. **Global Food Security**, v.18, p.62–75, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.08.004>
- IRRI. Quality characteristics of milled rice. **International Rice Research Institute**, 2018. <http://www.knowledgebank.irri.org/millingprocess/index.php/ricequality-mainmenu-281/quality-characteristics-of-milled-rice-mainmenu-283>
- Jacob, F. F.; Striegel, L.; Rychlik, M.; Hutzler, M.; Methner, F.-J. Spent yeast from brewing processes: a biodiverse starting material for yeast extract production. **Fermentation**, v.5, 2019. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030071>
- José Almeida, P.; Zaczuk, B. P.; Dos Anjos, C. V.; Queiroz, R. V. Comparação entre características agrônômicas, culinárias e nutricionais em variedades de arroz branco e vermelho. **Revista Caatinga**, v.22, p.243–248, 2009.
- Karam, M. C.; Petit, J.; Zimmer, D.; Baudelaire Djantou, E.; Scher, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: a review. **Journal of Food Engineering**, v.188, p.32–49, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.005>
- Kassam, A. H. Rice Almanac: source book for the most important economic activity on earth. **Los Banos (Philippines): IRRI**, 2002.
- Khair, R.; Pan, Z.; Salim, A.; Hartsough, B. R.; Mohamed, S. Moisture diffusivity of rough rice under infrared radiation drying. **LWT – Food Science and Technology**, v.44, p.1126–1132, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.008>
- Kusano, M.; Yang, Z.; Okazaki, Y.; Nakabayashi, R.; Fukushima, A.; Saito, K. Using metabolomic approaches to explore chemical diversity in rice. **Molecular Plant**, v.8, n.1, p.58–67, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.010>
- Lourembam, M. D.; Laxmikant, S. B. Variety difference in physico-chemical, cooking, textural, pasting and phytochemical properties of pigmented rice. **Food Chemistry Advances**, v.1, 100059, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fca.2022.100059>
- Martin, M.; Fitzgerald, M. A. Proteins in rice grains influence cooking properties. **Journal of Cereal Science**, v.36, p.285–294, 2002. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0415>
- Mbanjo, E. G. N.; Kretschmar, T.; Jones, H.; Ereful, N.; Blanchard, C.; Boyd, L. A.; Sreenivasulu, N. The genetic basis and nutritional benefits of pigmented rice grain. **Frontiers in Genetics**, v.11:229, 2020. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00229>
- Paiva, F. F.; Vanier, N. L.; Berrios, J. D. J.; Pan, J.; Villanova, F. D. A.; Takeoka, G.; Elias, M. C. Physicochemical and nutritional properties of pigmented rice subjected to different degrees of milling. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.35, p.10–17, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.01.001>
- Paiva, F. F.; Vanier, N. L.; Berrios, J. D. J.; Pinto, V. Z.; Wood, D.; Williams, T.; Pan, J.; Elias, M. C. Polishing and parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. **Food Chemistry**, v.191, p.105–112, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.106>
- Panchariya, P. C.; Popovic, D.; Sharma, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v.52, p.349–357, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00131-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00131-7)
- Prasanth, B. D. R. Prediction of moisture adsorption characteristics of dehydrated fruits using the GAB isotherm model. **Annals of Agricultural Crop Science**, v.3, n.1, p.1036, 2018.
- Prasanth, B. D. R.; Amunogoda, P. N. R. J. Moisture adsorption characteristics of solar-dehydrated mango and jackfruit. **Food and Bioprocess Technology**, v.6, p.1720–1728, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0852-1>
- Ratsewo, J.; Warren, F. J.; Siriamornpun, S. The influence of starch structure and anthocyanin

- content on the digestibility of Thai pigmented rice. **Food Chemistry**, v.298, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125061>
- Ribeiro-Filho, N.; Akepach, P.; Sanchez De Alsina, O. L. Hygroscopicity and isosteric heat of cashew apple waste, non-fermented and fermented. **Food Bioscience**, v.42, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101109>
- Samyot, D.; Das, A. B.; Deka, S. C. Pigmented rice: a potential source of bioactive compounds – a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v.52, n.5, p.1073–1081, 2017. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13378>
- Santos, N. C.; Da Silva, W. P.; Barros, S. L.; Almeida, R. L. J.; De Brito Araújo, A. J.; Da Silva Nascimento, A. P. Red rice (*Oryza sativa* L.) use in flour production: convective drying and bioactive quality. **Journal of Food Process Engineering**, v.43, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13420>
- Singh, J.; Kaur, L.; Rao, M. A. Textural and rheological characteristics of raw and cooked potatoes. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**, p.249–271, 2009. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374858-8.00009-6>
- Tirawanichakul, S.; Soponronnarit, S.; Prachayawarakorn, S.; Varanyanond, W.; Tungtrakul, P. Effect of fluidized bed drying temperature on various quality attributes of paddy. **Drying Technology**, v.22, p.1731–1754, 2004. <https://doi.org/10.1081/DRT-200026324>
- Toğrul, İ. T.; Pehlivan, D. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.413–425, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.003>
- Travaglini, D. A.; Aguirre, J. M.; Silveira, E. T. Desidratação de frutas e hortaliças. In: Instituto de Tecnologia de Alimentos – Manual Técnico, Campinas: ITAL, 2008.
- Tran, T. L. N.; Miranda, A. F.; Abeynayake, S. W.; Mouradov, A. Differential production of phenolics, lipids, carbohydrates and proteins in stressed and unstressed aquatic plants, *Azolla filiculoides* and *Azolla pinnata*. **Biology**, v.9, 2020. <https://doi.org/10.3390/biology9120397>
- USDA. Production, Supply and Distribution Online. United States Department of Agriculture, 2023. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>
- Xie, L.; Chen, N.; Duan, B.; Zhu, Z.; Liao, X. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. **Journal of Cereal Science**, v.47, p.372–379, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.12.006>
- Yuliana, N. D.; Akhbar, M. A. Chemical and physical evaluation, antioxidant and digestibility profiles of white and pigmented rice from different areas of Indonesia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.23, 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.29220>
- Wang, W.; Li, Y.; Dang, P.; Zhao, S.; Lai, D.; Zhou, L. Rice secondary metabolites: structures, roles, biosynthesis, and metabolic regulation. **Molecules**, v.23, n.12, 3098, 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23123098>