



Propriedades físicas de variedades de arroz vermelho (*Oriza sativa* L.)

Carlos Dornelles Ferreira Soares¹, Shara Regina dos Santos Borges¹, Pedro Henrique Menezes^{2,3}, Normando Ribeiro-Filho¹, Márcia Roseane Targino de Oliveira¹

Resumo

A caracterização física do arroz vermelho é estratégica para fortalecer a agroindústria regional, especialmente pela crescente demanda por alimentos funcionais e sem glúten. Este estudo avaliou as variedades Cáqui e Maranhão, com e sem casca, coletadas em Santana dos Garrotes (PB). Foram analisados comprimento, largura, espessura, densidades aparente e real, porosidade, esfericidade, circularidade, cor, peso de 100 grãos e umidade, utilizando paquímetro digital, proveta graduada, óleo vegetal e estufa a 105 °C. As análises em triplicata foram submetidas a delineamento inteiramente casualizado e teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que os grãos com casca apresentaram maiores dimensões, porosidade, circularidade e peso de 100 grãos, enquanto os sem casca exibiram maiores valores de esfericidade e densidades. A análise de componentes principais explicou 95% da variabilidade total, separando os grupos com e sem casca. Os achados fornecem subsídios para o beneficiamento, armazenamento e valorização do arroz vermelho em sistemas produtivos regionais.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., biometria, densidade, porosidade, PCA

Abstract

The physical characterisation of red rice is a strategic tool to strengthen the regional agro-industry, particularly due to the growing demand for functional and gluten-free foods. This study evaluated Cáqui and Maranhão varieties, with and without husk, collected in Santana dos Garrotes (PB, Brazil). Length, width, thickness, bulk and true densities, porosity, sphericity, circularity, colour, 100-grain weight and moisture content were determined using a digital caliper, graduated cylinder, vegetable oil and an oven at 105 °C. Triplicate analyses were performed under a completely randomised design, and means were compared by Tukey's test ($p < 0.05$). Results showed that husked grains exhibited greater dimensions, porosity, circularity and 100-grain weight, whereas dehusked grains had higher sphericity and density values. Principal component analysis explained 95% of total variability, distinguishing husked from dehusked samples. These findings provide technical insights to improve processing, storage and valorisation of red rice within regional production systems.

Keywords: *Oryza sativa* L., biometrics, density, porosity, PCA

Submetido em 22/01/2022;

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

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

³ 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 produzidos e consumidos no mundo, sendo a principal fonte calórica para mais da metade da população global (USDA, 2023). O mercado internacional é altamente concentrado, com dez países responsáveis por cerca de 92% das exportações globais, incluindo Índia, Tailândia, Vietnã, Paquistão, Estados Unidos, Camboja, China, Mianmar, Brasil e Uruguai (USDA, 2023). Dessa forma, mesmo pequenas flutuações na produção de grandes produtores podem impactar a segurança alimentar mundial (Durand-Morat et al., 2018). Atualmente, diferentes tipos de arroz são consumidos, com destaque para cultivares pigmentados, como os arrozes preto, roxo e vermelho (Santos et al., 2020). Estes grãos se diferenciam pelo elevado teor de compostos bioativos, como fenóis, flavonoides e antocianinas, que apresentam propriedades antioxidantes e benéficas à saúde (Deng et al., 2013; Da Silva, 2021).

No Brasil, o arroz exerce papel estratégico não apenas no aspecto nutricional, mas também nas dimensões econômica e social, sobretudo em áreas rurais (Pereira et al., 2009). No Nordeste, destaca-se o arroz vermelho, considerado parte do patrimônio cultural e alimentar da região, especialmente nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará. Dentre os tipos especiais produzidos no país, o arroz vermelho é o de maior relevância socioeconômica, cultivado majoritariamente por agricultores familiares em sistemas tradicionais (Mbanjo et al., 2020). A produção se concentra em áreas específicas, como o Vale do Piancó (PB), reconhecido pela fertilidade natural dos solos e isolamento geográfico, fatores que favoreceram a preservação de variedades locais como “Maranhão”, “Cáqui” e “Tradicional”. Contudo, a ausência de melhoramento genético, o uso de sementes não padronizadas e práticas artesanais comprometem a qualidade final e limitam seu potencial de mercado (Wang et al., 2019).

As limitações no setor de pós-colheita representam um dos principais gargalos para a valorização do arroz vermelho regional. Ainda predominam processos empíricos de secagem, armazenamento inadequado e ausência de beneficiamento padronizado (Pereira et al., 2009). Tais deficiências impactam diretamente a conservação, a classificação e a comercialização, restringindo o valor agregado do produto. Estudos mostram que as propriedades físicas dos grãos, como massa específica, tamanho, formato e densidade, influenciam diretamente operações agroindustriais como secagem, limpeza, classificação e armazenamento (Chandrasekar & Viswanathan,

1999; Karababa, 2006). Assim, a compreensão dessas características é essencial para a adequação de equipamentos e processos às condições locais, garantindo maior eficiência, padronização e redução de perdas.

Nesse contexto, a caracterização física do arroz vermelho se apresenta como ferramenta estratégica para o fortalecimento da agroindústria regional, especialmente diante da crescente demanda por alimentos funcionais e sem glúten, dado que o arroz vermelho é naturalmente isento dessa proteína (Das & Bhattacharya, 2019; Santos et al., 2020). Avaliar parâmetros físicos de variedades como Cáqui e Maranhão, em condições com e sem casca, fornece informações técnicas valiosas para orientar o desenvolvimento de tecnologias de beneficiamento, armazenamento e secagem específicas. Diante disso, o presente estudo determinou as características físicas dessas variedades, contribuindo para a valorização do arroz vermelho, a redução de perdas e o fortalecimento da cadeia produtiva a partir de bases científicas consistentes e adaptadas à realidade local.

2. Metodologia

2.1. Matéria-prima

As amostras das variedades de arroz vermelho “Cáqui” e “Maranhão” foram obtidas diretamente de produtores rurais e agroindústrias localizadas no município de Santana dos Garrotes, no estado da Paraíba. Os grãos, oriundos da safra 2009–2010, foram coletados nas formas de grãos em casca e beneficiados. Posteriormente, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, onde foram submetidas à caracterização física. As análises realizadas incluíram: medições biométricas (comprimento, largura e espessura), determinação da densidade aparente e real, cálculo da porosidade, circularidade e esfericidade, além da determinação do peso de 100 grãos e do teor de umidade, tanto para grãos em casca quanto descascados, sendo as cascas removidas em laboratório.

2.2. Dimensões biométricas

A caracterização biométrica foi conduzida em uma amostra composta por 60 grãos, com e sem casca, de cada variedade. As dimensões dos grãos — comprimento (a), largura (b) e espessura (c) — foram determinadas com o auxílio de um paquímetro digital da marca Stainless Worker, com precisão de 0,01 mm.

2.2.1. Esfericidade

A esfericidade (Esf) dos grãos foi calculada com base na razão entre o diâmetro equivalente (Deq) e

o comprimento (a), conforme definido por Mohsenin (1986), utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{Esfericidade} = \frac{Deq}{a} \quad (1)$$

2.2.2. Diâmetro equivalente

O diâmetro equivalente (Deq), que representa uma medida escalar do tamanho médio tridimensional dos grãos, foi calculado de acordo com Mohsenin (1986) por meio da seguinte equação:

$$Deq = (a \cdot b \cdot c)^{1/3} \quad (2)$$

Onde: a = comprimento do grão (mm); b = largura (mm); c = espessura (mm).

2.2.3. Circularidade

A circularidade (Cr) foi determinada com base nos valores de comprimento (a) e largura (b) dos grãos, utilizando a equação proposta por Mohsenin (1986). Essa razão permite avaliar a forma dos grãos quanto à aproximação a um formato circular.

$$Cr = \frac{b}{a} \quad (3)$$

2.2.4. Densidade aparente

A densidade aparente (DA) foi determinada pela relação entre a massa (M) de aproximadamente 30 g de grãos e o volume ocupado (VO) por essa massa em uma proveta graduada, conforme método descrito por Ferreira et al. (2005). As análises foram realizadas em triplicata, utilizando-se a seguinte equação:

$$DA = \frac{M}{VO} \quad (4)$$

2.2.5. Densidade real

A densidade real (DR) foi determinada pelo método de deslocamento de líquido, utilizando óleo vegetal, devido à sua baixa absorção pelos grãos. Inicialmente, o volume de óleo foi registrado em proveta, e, após adição dos grãos de massa conhecida, anotou-se o novo volume. A DR foi então calculada com base na equação abaixo (Ferreira et al., 2005):

$$DR = \frac{M}{V2 - V1} \quad (5)$$

Onde: M = massa dos grãos (g); V1 = volume inicial do óleo (mL); *V2* = volume final após deslocamento (mL).

2.2.6. Porosidade

A porosidade (P) foi determinada com base nos valores obtidos para densidade aparente (DA) e densidade real (DR), aplicando-se a equação abaixo, conforme descrito por Karababa (2006), Amin et al.

(2004), e Chandrasekar & Viswanathan (1999):

$$P = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) \quad (6)$$

2.3. Umidade

O teor de umidade dos grãos foi determinado em triplicata, utilizando estufa a 105 °C durante 18 horas. Após o período de secagem, os grãos foram pesados em balança analítica, de acordo com o método proposto por Solomon & Zewdu (2009). A equação expressa a porcentagem de água perdida durante a secagem em relação à massa inicial da amostra.

$$U\% = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (7)$$

U% = teor de umidade (%); Pi = massa inicial da amostra antes da secagem (g); Pf = massa final da amostra após secagem (g)

2.4. Peso de 100 grãos

O peso de 100 grãos foi determinado pelo método gravimétrico. Inicialmente, 100 grãos em casca foram selecionados manualmente e pesados em balança analítica com precisão de 0,0001 g. Em seguida, as cascas foram removidas e os grãos descascados novamente pesados, permitindo assim a obtenção do peso para ambas as formas.

2.5. Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC). As médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, com o auxílio do software Statistica® (versão 5.0). A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada utilizando o Statistica® (versão 5.0) para reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados multivariados complexos, melhorando a interpretabilidade e auxiliando na identificação de tendências e correlações entre tratamentos e amostras. O critério de Kaiser, baseado em autovalores maiores que 1 e variância cumulativa > 60%, foi utilizado para descrever e selecionar os dados para análise.

3. Resultados e discussão

As amostras das variedades de arroz vermelho “Cáqui” e “Maranhão” foram coletadas em Santana dos Garrotes (PB) e analisadas no Laboratório de Tecnologia de Produtos Agropecuários da UFPB. A caracterização física incluiu medições biométricas (comprimento, largura, espessura), densidades aparente e real, porosidade, esfericidade, circularidade, cor, peso de 100 grãos e teor de umidade. Os métodos aplicaram paquímetro digital, proveta graduada, óleo vegetal e estufa a 105 °C. As

análises foram realizadas em triplicata. Os dados foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) com o software Statística® (versão 5.0).

3.1. Comprimento, largura, espessura e diâmetro equivalente (Deq)

As dimensões físicas dos grãos, como comprimento (a), largura (b) e espessura (c), são fundamentais para a classificação varietal e o desenvolvimento de equipamentos destinados à separação e beneficiamento. O diâmetro equivalente (Deq), determinado pelas equações propostas por Mohsenin (1986), sintetiza essas medidas,

permitindo comparações entre variedades. No arroz vermelho, as variedades Cáqui com casca (CCC) apresentaram diferenças significativas de A, B e Deq quando comparadas ao Cáqui sem casca (CSC) ($p < 0,05$; Fig. 1A). De forma semelhante, a variedade Maranhão com casca (MCC) apresentou maiores valores de A, B, C e Deq em relação à Maranhão sem casca (MSC) ($p < 0,05$; Fig. 1B). Comparando todas as amostras (CCC, CSC, MCC e MSC), os grãos em casca exibiram maiores valores de A, B e Deq ($p < 0,05$; Fig. 1C). Esses resultados reforçam a classificação varietal segundo a Instrução Normativa N° 06/2009 e destacam a importância dessas medidas para o processamento e armazenamento (Mohsenin, 1986).

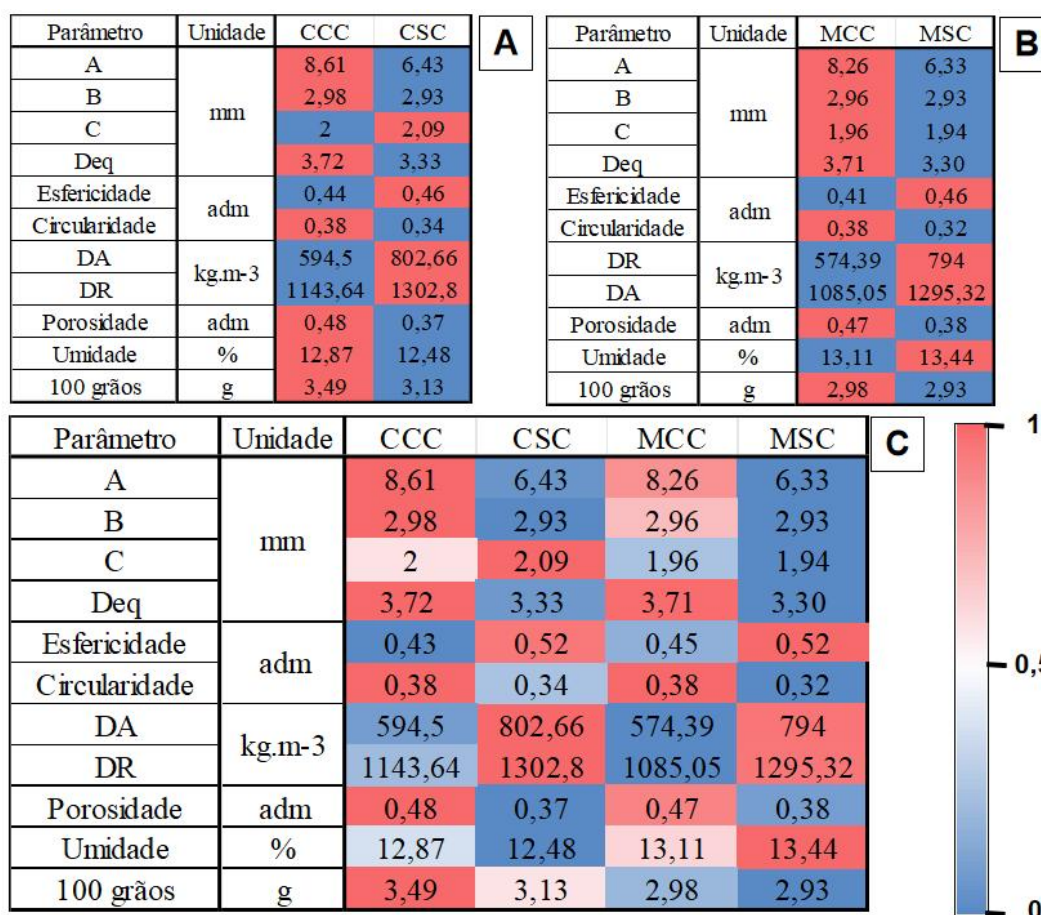


Figura 1: Mapa de calor da caracterização física (comprimento (A), largura (B), espessura (C)), densidade aparente (DA), densidade real (DR), porosidade (adimensional), esfericidade (adimensional), circularidade v, peso de 100 grãos e teor de umidade. (a) Caracterização física comparativa entre a amostras Caqui com casca (CCC) e Caqui sem casca (CSC); (b) Caracterização física comparativa entre a amostras Maranhão com casca (MCC) e Maranhão sem casca (MSC); e (c) Caracterização física comparativa entre a variedades Caqui e Maranhão, com e sem casca.

3.2. Esfericidade e circularidade

A esfericidade (Esf) e a circularidade (Cir) são parâmetros geométricos adimensionais usados para caracterizar a forma dos grãos. Quanto mais próximos da unidade, mais esférico ou circular o grão se apresenta. Para a variedade Cáqui,

observou-se que os grãos em casca (CCC) apresentaram circularidade significativamente superior à dos sem casca (CSC) ($p < 0,05$; Fig. 1A). Já para a variedade Maranhão, a circularidade também foi maior nos grãos em casca (MCC) em relação aos sem casca (MSC) ($p < 0,05$; Fig. 1B). De

forma geral, os grãos em casca (CCC e MCC) apresentaram maior circularidade, enquanto os grãos sem casca (CSC e MSC) exibiram maiores valores de esfericidade ($p < 0,05$; Fig. 1C). Esses achados confirmam a influência do beneficiamento sobre a forma dos grãos e corroboram estudos prévios que relacionam a geometria do grão ao desempenho em peneiras, classificadores e processos de beneficiamento (Costa Júnior & Devilla, 2008; Silva & Corrêa, 2000).

3.3. Densidade aparente, densidade real e porosidade

As propriedades relacionadas à densidade são fundamentais para operações de armazenamento e transporte. A densidade aparente (DA) é determinada pela relação massa-volume e situa-se entre 550 e 1000 kg/m³ para produtos agrícolas (Ribeiro Filho, 2010). A densidade real (DR), obtida pelo deslocamento de líquido, foi maior nas amostras descascadas. Em contrapartida, a porosidade (P) foi mais elevada nos grãos em casca (CCC e MCC) em comparação aos sem casca (CSC e MSC) ($p < 0,05$; Fig. 1A–C). Esses resultados confirmam que os grãos descascados apresentam maior compactidade (maiores DA e DR), enquanto os grãos com casca retêm mais espaços vazios, refletidos na porosidade. Valores próximos foram relatados por Costa Júnior e Devilla (2008) em arroz vermelho. Essas propriedades são determinantes para processos de secagem, aeração e dimensionamento de silos, pois definem a resistência ao fluxo de ar e influenciam as trocas de calor e massa (Mata et al., 2002; Silva et al., 2007).

3.5. Umidade e peso de 100 grãos

O teor de umidade (U) é um dos principais fatores de conservação e estabilidade de grãos. Nas variedades analisadas, a umidade foi significativamente maior nos grãos em casca (CCC e MCC) quando comparados aos descascados (CSC e MSC) ($p < 0,05$; Fig. 1A–B), mas manteve-se dentro dos limites normativos (Solomon & Zewdu, 2009). De modo semelhante, o peso de 100 grãos (M) foi superior nas amostras em casca para ambas as variedades ($p < 0,05$), sendo a variedade Cáqui (CCC) mais pesada que a Maranhão (MCC). Ao comparar todas as amostras, observa-se que os grãos em casca apresentaram maiores valores de umidade e peso de 100 grãos, enquanto os descascados apresentaram valores reduzidos devido à remoção da casca (Fig. 1C). Esses parâmetros são fundamentais para determinar rendimento, qualidade e potencial de armazenamento, além de influenciar a semeadura e o processamento (Silva et al., 2007; Silva et al., 2003).

3.4. Análise de componentes principais para do parâmetros físico das variedade de arroz vermelho, Caqui e Maranhão, com e sem casca

A análise de componentes principais (PCA) foi uma ferramenta robusta para compreender a relação entre as variáveis físicas avaliadas nos grãos de arroz vermelho. De acordo com Mohsenin (1986), parâmetros geométricos como comprimento, largura e espessura são indicadores fundamentais das propriedades tecnológicas de grãos e sementes, influenciando diretamente etapas de beneficiamento, armazenamento e processamento.

Neste estudo, PC1 explicou 75% da variância e destacou a separação entre amostras com casca (MCC e CCC) e sem casca (MSC e CSC), demonstrando que o beneficiamento exerce papel determinante sobre as propriedades físicas. Já PC2 explicou 20% da variância e destacou a influência da espessura (C) e do teor de umidade, reforçando o papel da hidratação na modificação estrutural dos grãos (Kibar & Öztürk, 2008). Esses achados evidenciam que a PCA permite identificar padrões claros entre diferentes tratamentos e amostras, facilitando a seleção de parâmetros relevantes para a indústria.

A correlação linear obtida entre os parâmetros físicos confirmou a forte interdependência entre variáveis primárias, como comprimento (A), largura (B) e espessura (C), e variáveis derivadas, como esfericidade, densidade e porosidade. Estudos anteriores mostram que a geometria do grão influencia não apenas o desempenho em processos industriais, mas também a qualidade final do produto, especialmente no cozimento (Singh et al., 2010). A correlação positiva entre comprimento e porosidade sugere que grãos mais longos apresentam maior volume de espaços internos, o que pode favorecer a absorção de água durante a cocção. Por outro lado, a correlação negativa entre comprimento e densidades (DA e DR) indica que o aumento da dimensão longitudinal resulta em grãos menos compactos (Altuntas e Yildiz, 2007). Assim, os resultados reforçam que medições simples, como A, B e C, podem antecipar características mais complexas, reduzindo custos em análises laboratoriais detalhadas.

Outro aspecto relevante é a influência do beneficiamento sobre as propriedades físicas. Amostras sem casca (MSC e CSC) apresentaram maior esfericidade, DA e DR, enquanto amostras com casca (MCC e CCC) apresentaram maiores valores de comprimento, largura, diâmetro equivalente e porosidade. Os resultados destacaram

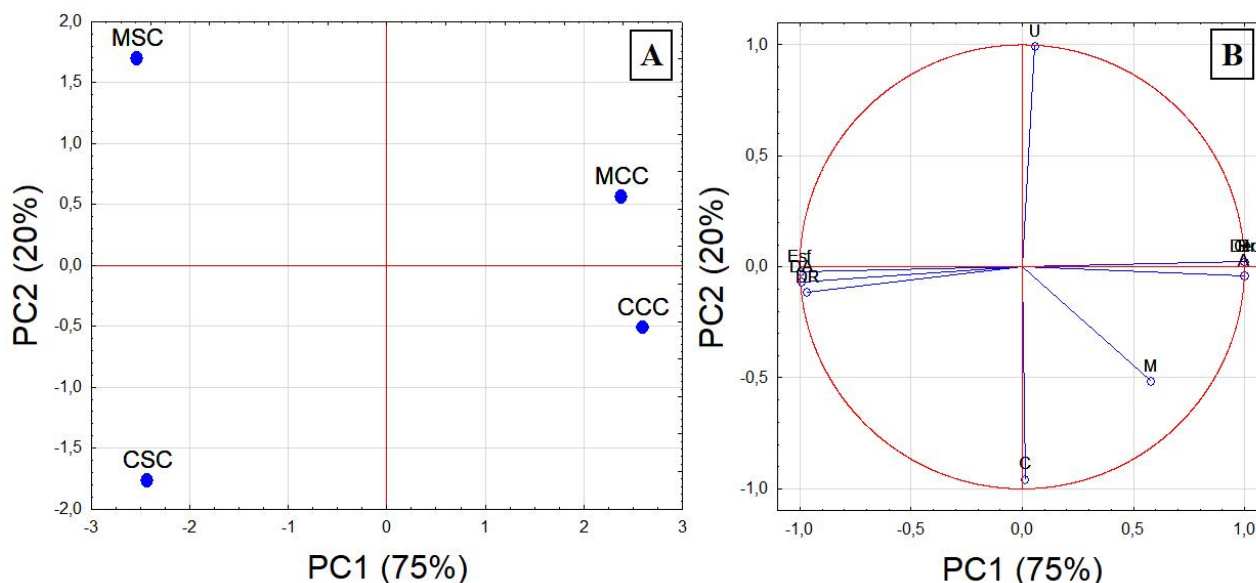


Figura 2: (a) PCA score plot demonstrando variação do parâmetros físico das variedade de arroz vermelho, Caqui e Maranhão, com e sem casca; e (b) PCA loading plot demonstrando variação do parâmetros físico das variedade de arroz vermelho, Caqui e Maranhão, com e sem casca. As amostras avaliadas foram Caqui com casca (CCC), Caqui sem casca (CSC), Maranhão com casca (MCC) e Maranhão sem casca (MSC). Os parâmetros avaliados foram comprimento (A), largura (B), espessura (C)), densidade aparente (DA), densidade real (DR), porosidade (adimensional), esfericidade (adimensional), circularidade, peso de 100 grãos e teor de umidade.

a importância do grau de beneficiamento na alteração da morfologia dos grãos e suas implicações tecnológicas. Grãos mais esféricos e densos, como os sem casca, tendem a apresentar maior resistência mecânica e comportamento distinto em operações de moagem e armazenamento. Já os grãos com casca, por apresentarem maior

porosidade, podem ter vantagens na hidratação e na velocidade de cocção, aspectos relevantes para a indústria de alimentos e bebidas. Esses resultados evidenciam como a decisão de manter ou retirar a casca pode ser orientada pelo destino industrial dos grãos.

Tabela 1: Correlações de Pearson para os parâmetros físico das variedade de arroz vermelho, Caqui e Maranhão, com e sem casca.

	A	B	C	Deq	Esf	Cir	DA	DR	P	U	M
A	1,00										
B	0,99	1,00									
C	0,03	0,00	1,00								
Deq	0,99	1,00	0,00	1,00							
Esf	-0,99	-1,00	0,00	-1,00	1,00						
Cir	0,99	1,00	0,00	1,00	-1,00	1,00					
DA	-0,98	-1,00	0,03	-1,00	1,00	-1,00	1,00				
DR	-0,95	-0,98	0,03	-0,98	0,98	-0,98	0,99	1,00			
P	0,99	1,00	0,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	-0,98	1,00		
U	0,02	0,08	-0,97	0,08	-0,08	0,08	-0,12	-0,15	0,08	1,00	
M	0,63	0,55	0,31	0,55	-0,55	0,55	-0,49	-0,36	0,55	-0,43	1,00

Caqui com casca (CCC), Caqui sem casca (CSC), Maranhão com casca (MCC) e Maranhão sem casca (MSC). Os parâmetros avaliados foram comprimento (A), largura (B), espessura (C)), Diâmetro equivalente (Deq), esfericidade (Esf), circularidade (Cir), densidade aparente (DA), densidade real (DR), porosidade (P), umidade (U) e peso de 100 grãos (M).

A correlação negativa entre espessura (C) e teor de umidade destaca a influência direta da morfologia

sobre a capacidade de hidratação dos grãos. Grãos mais espessos tendem a apresentar menor absorção de água durante o processo de maceração (Kibar e Öztürk, 2009). Essa relação é crucial para aplicações industriais, já que o teor de umidade é determinante tanto na eficiência energética da cocção quanto na textura do produto final. Como limitação, o estudo concentrou-se em uma única variedade de arroz vermelho, o que restringe a generalização dos resultados. Trabalhos futuros podem incluir diferentes variedades e condições de processamento, ampliando a compreensão do impacto das variáveis físicas no desempenho tecnológico do arroz. Em síntese, os resultados confirmam que a análise física aliada à PCA é uma estratégia eficiente para selecionar parâmetros de qualidade com aplicações diretas no processamento, armazenamento e desenvolvimento de novos produtos.

Os resultados deste estudo demonstram que os parâmetros geométricos básicos, como comprimento, largura e espessura, apresentam forte correlação com propriedades físicas mais complexas, incluindo densidade, porosidade, esfericidade, circularidade, teor de umidade e peso de 100 grãos, permitindo o uso de medições simples como preditores de qualidade tecnológica. A análise de componentes principais evidenciou diferenças significativas entre grãos com e sem casca, destacando a influência do beneficiamento sobre a morfologia e o desempenho dos grãos, o que possui aplicações diretas na seleção de matérias-primas para diferentes usos industriais, desde o armazenamento até a otimização de processos de cocção. Contudo, uma limitação do presente trabalho é a avaliação restrita à variedade de arroz vermelho Maranhão, o que pode limitar a extrapolação dos resultados para outras variedades ou condições ambientais. Futuras pesquisas devem explorar a aplicabilidade desses achados em diferentes genótipos, assim como avaliar o impacto das propriedades físicas sobre atributos sensoriais e funcionais, fornecendo subsídios mais amplos para a indústria de alimentos e bebidas.

4. Conclusão

As análises mostraram que os grãos de arroz vermelho apresentam diferenças significativas em função da presença ou ausência da casca. Os grãos Caqui com casca (CCC) exibiram maiores valores de comprimento, largura, diâmetro equivalente, circularidade, porosidade, umidade e peso de 100 grãos quando comparados ao Caqui sem casca (CSC). De forma semelhante, os grãos Maranhão com casca (MCC) apresentaram maiores valores de comprimento, largura, espessura, diâmetro

equivalente, circularidade, porosidade e peso de 100 grãos em relação ao Maranhão sem casca (MSC). A análise de componentes principais explicou 95% da variabilidade total, separando as amostras com casca (CCC e MCC), associadas a maiores dimensões e porosidade, das amostras sem casca (CSC e MSC), associadas a maiores valores de esfericidade, densidade aparente e densidade real. Além disso, correlações significativas indicaram que comprimento e largura estão positivamente associados ao diâmetro equivalente, circularidade e porosidade, enquanto apresentam correlação negativa com esfericidade, densidade aparente e densidade real.

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

- Altuntas, E.; Yildiz, M. Physical properties of various grains. *Journal of Food Engineering*, v. 78, n. 3, p. 847–854, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.012>
- Amin, M.; et al. Determination of physical properties of agricultural products. *Journal of Food Engineering*, v. 64, n. 1, p. 47–52, 2004.
<https://doi.org/10.1016/S0260-8774%2803%2900135-0>
- Ferreira, C.M., Pinheiro, B.S., Sousa, I.S.F., Morais, O.P. **Qualidade do arroz no Brasil: Evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás-GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 61p.
- Chandrasekar, V.; Viswanathan, R. Physical properties of agricultural grains and seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 74, n. 1, p. 35–46, 1999.
<https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0427>
- Costa Júnior, A. C.; Devilla, I. Physical and mechanical properties of red rice grains. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 404–409, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400010>

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

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102213>

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.2018.12.027>

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**, v. 53, n. 3, p. 296–306, 2013.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2010.529624>

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>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical databases. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: jan. 2010.

Karababa, E. Physical properties of popcorn kernels. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 100–107, 2006.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.010>

Kibar, H.; Öztürk, T.; Esen, B. The effect of moisture content on physical and mechanical properties of rice (*Oryza sativa* L.). **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 3, p. 745–750, 2010.

Mata, M. E. R. M. C.; Duarte, M. E. M. Martins. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 79–93, 2002.

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, p. 229, 2020.

<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00229>

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

Pereira, J. A.; Bassinello, P. Z.; Cutrim, V. A.; Ribeiro, V. Q. Comparação entre características agrônômicas, culinárias e nutricionais em variedades de arroz branco e vermelho. **Caatinga**, v. 22, p. 243–248, 2009.

Ribeiro Filho, N. M. Estudo de caracterização e isotermas de sorção do bagaço do pseudofruto do

caju, enriquecido para ração animal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFCG, Campina Grande, 2010. 99 p.

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 Processing and Engineering**, v. 43, 2020.

<https://doi.org/10.1111/jfpe.13470>

Silva, F.S.; Corrêa, P.C.; Goneli, A.L.D.; Ribeiro, R.M.; Afonso Júnior, P.C. Efeito do Beneficiamento nas Propriedades Físicas e Mecânicas dos Grãos de Arroz de Distintas Variedades. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n.1, p. 33–41, 2003.

Silva, G. M.; Maia, M. M.; Moraes, C. O. C. Influência do peso da semente sobre a germinação e o vigor de cevadilha vacariana (*Bromus auleticus trinius*). **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 1, p. 123–126, 2007.

Silva, J. S.; Corrêa, P. C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: Silva, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG, 2000. p. 21–37.

Silva, R. L.; Borges, S. R. S.; Oliveira, M. R. T. de; Malaquias, J. B. Caracterização do arroz vermelho: estratégia para valorização e estímulo do empoderamento dos atores da cadeia. Anais do XII Encontro de Extensão, 2010, UFPB, Bananeiras-PB. Anais do I SECITEAC, 2010.

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,

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374878-9.00009-6>

Solomon, T.; Zewdu, Y. Moisture content determination in cereal grains. **Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 529–533, 2009. <https://doi.org/10.1007/s13197-009-0031-5>

USDA – United States Department of Agriculture. Rice: world markets and trade. Washington, DC. Disponível em:

<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 03 abr. 2023.

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, p. 3098, 2018.

<https://doi.org/10.3390/molecules23123098>

