

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Andressa Fernandes Leal

Efeitos da secagem intermitente e do beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido

Santa Maria, RS
2022

Andressa Fernandes Leal

Efeitos da secagem intermitente e do beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestra em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Santa Maria, RS
2022

Leal, Andressa
Efeitos da secagem intermitente e do beneficiamento
na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz
polido / Andressa Leal.- 2022.
64 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Carteri Coradi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Cachoeira de Sul, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2022

1. Beneficiamento. intermitência. Pré-processamento.
Qualidade. Secagem I. Carteri Coradi, Paulo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

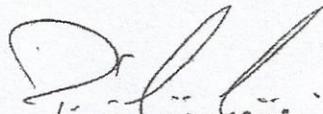
Declaro, ANDRESSA LEAL, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Andressa Fernandes Leal

Efeitos da secagem intermitente e do beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do título de **Mestra em Engenharia Agrícola**.

Aprovada em 15 de setembro de 2022.



Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi
UFSM Campus Cachoeira do Sul

**Prof. Paulo Carteri Coradi, Dr. (UFSM) - via videoconferência
(Presidente/Orientador)**



**Profa. Joseane Erbice dos Santos, Dra. (IFFARROUPILHA) – via videoconferência
Membro Externo**



**Profa. Eracilda Fontanela, Dra. (UNIPAMPA) – via videoconferência
Membro Externo**

Santa Maria, RS
2022

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ser essencial em todos os momentos da minha vida, meu destino, meu guia e ao meu pai que de onde está guia meus passos e ilumina minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores que cruzaram meu caminho e me ensinaram a importância da educação para a transformação da sociedade.

Agradeço principalmente ao Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi pelas orientações e apoio ao longo do mestrado.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade em cursar o mestrado.

Ao Grupo de Pesquisa em Postharvest Innovation: Technology, Quality & Sustainability e ao Laboratório de Pós-colheita de Grãos- LAPOS, pela estrutura física e tecnológica para condução do experimento.

“Tenho arado a terra e plantado sementes. Algumas crescem rápido, outras mais lentamente, mas estou aqui a adubá-las e regá-las. Deus me diz para ter paciência e confiar na colheita. E quando pergunto a Ele quando os frutos virão, Ele me responde piscando o olho: Cada um na sua estação”.

RESUMO

Efeitos da secagem intermitente e do beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido

AUTORA: Andressa Fernandes Leal
ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

RESUMO: A qualidade do arroz em casca pode determinar o tipo de beneficiamento na indústria e o preço do produto pago ao produtor, enquanto que, a etapa de secagem é uma das mais importantes e podem influenciar sobre a qualidade dos grãos. Entre as formas de secagem, a intermitente é a mais utilizada no arroz por reduzir as tensões no grão em função dos processos de transferências de massa (água) do interior do grão para a periferia e, conseqüentemente pode amenizar o efeito abrupto da temperatura de secagem durante o período que a massa de grãos permanece em descanso na câmara de intermitência. Entretanto, o aumento do tempo de secagem pode aumentar a temperatura da massa de grãos e colaborar negativamente sobre a qualidade dos grãos, quando submetidos ao processo intermitente. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tempo de secagem-intermitência e do beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido. O experimento foi realizado em uma unidade armazenadora de grãos a nível de fazenda no município de Cachoeira do Sul-RS. Os lotes de grãos de arroz oriundas de colheita mecanizada, com teor de água dos grãos entre 24 e 20% (b.u.), foram submetidas imediatamente às operações de pré-limpeza e secagem. As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul. Os tratamentos analisados foram à secagem (temperatura média da massa do grão de 41 °C), a intermitência (temperatura média da massa do grão de 40 °C) e o tempo de secagem de 14 horas a uma temperatura média do ar de secagem de 107 °C.. Para cada tempo de secagem foi realizada amostragem dos grãos na câmara de secagem e na intermitência para avaliação da qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido. Entre os resultados obtidos observou-se que os efeitos cumulativos do tempo de 14 horas de secagem-intermitência influenciaram no aumento da temperatura da massa de grãos de arroz em casca para 49 °C. Ao longo das oito horas iniciais de secagem alcançou-se o máximo rendimento e qualidade nos grãos. Na avaliação física verificou-se redução no rendimento de grãos inteiros e na classificação física. Os percentuais de proteína e fibra bruta, gordura e cinzas foram alterados, enquanto que, a morfologia do amido foi afetada, bem como a composição de minerais no arroz polido. Concluiu-se que a etapa de intermitência prolongou o tempo de secagem do arroz em casca, sendo o fator determinante para a qualidade dos grãos.

Palavras-chave: Beneficiamento. Intermitência. Pré-processamento. Qualidade. Secagem.

ABSTRACT

Effects of intermittent drying and processing on the physical, physicochemical and morphological quality of polished rice

AUTHOR: Andressa Fernandes Leal
ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

ABSTRACT: The quality of paddy rice can determine the type of processing in the industry and the price of the product paid to the producer, while the drying stage is one of the most important and can influence the quality of the grains. Among the forms of drying, intermittent drying is the most used in rice because it reduces the tensions in the grain due to the processes of mass transfer (water) from the interior of the grain to the periphery and, consequently, can mitigate the abrupt effect of the drying temperature, during the period that the grain mass remains at rest in the flashing chamber. However, the increase in drying time can increase the temperature of the grain mass and collaborate negatively on the quality of the grains, when submitted to the intermittent process. Thus, this study aimed to evaluate the effects of drying-intermittance time and processing on the physical, physicochemical and morphological quality of polished rice. The experiment was carried out in a grain storage unit at farm level in the municipality of Cachoeira do Sul-RS. The batches of rice grains from mechanized harvesting, with grain moisture content between 24 and 20% (w.b.), were immediately submitted to pre-cleaning and drying operations. The samples collected were analyzed at the Postharvest Laboratory (LAPOS) of the Federal University of Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul. The treatments analyzed were drying (mean temperature of the grain mass of 41 °C), the intermittence (mean temperature of the grain mass of 40 °C) and the drying time of 14 hours at an average temperature of the drying air of 107 °C. For each drying time, grain sampling was carried out in the drying chamber and at intermittence to evaluate the physical, physicochemical and morphological quality of the polished rice. Among the results obtained, it was observed that the cumulative effects of the 14-hour drying-intermittance time influenced the increase in the temperature of the mass of rice in husk to 49 °C. During the eight initial hours of drying, the maximum yield and quality of the grains was reached. In the physical evaluation, there was a reduction in the whole grain yield and in the physical classification. The percentages of protein and crude fiber, fat and ash were altered, while the morphology of the starch was affected, as well as the mineral composition in the polished rice. It was concluded that the intermittence stage prolonged the drying time of paddy rice, being the determining factor for the quality of the grains.

Keywords: Drying. Intermittent. Pre-processing. Processing. Quality.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Fluxograma do processo dos grãos de arroz em nível de fazenda. | 17 |
| FIGURA 2 - Secador Intermitente. | 32 |
| FIGURA 3 - Parâmetros de monitoramento da secagem intermitente do arroz em casca. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente (A), temperatura e velocidade do ar de secagem e exaustão (B), curva de secagem (C), temperatura da massa de grãos e teor de água na secagem (D). | 38 |
| FIGURA 4 - Efeitos da secagem intermitente no beneficiamento do arroz polido. | 40 |
| FIGURA 5 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade física do arroz polido. ... | 42 |
| FIGURA 6 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade físico-química do arroz polido. | 44 |
| FIGURA 7 - Mapa de calor representando a distância euclidiana para os tratamentos e as variáveis avaliadas na avaliação da qualidade do arroz polido. | 46 |
| FIGURA 8 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis renda (R), rendimento (RD), grãos quebrados beneficiamento (GQB), grãos quebrados na classificação (GQC), grãos trincados (GT), grãos fragmentados (GF), peso total (PT), grãos sadios (GS), grãos ardidos (AD), grãos mofados (MO), grãos gessados (GE), grãos picados e manchados (PM), teor de água (TA), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), gordura (G), amido (A) e cinzas (CZ) avaliadas em arroz polido. | 47 |
| FIGURA 9 - Difrátogramas de raios-X das amostras de arroz polido. As letras A,B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem (zero a cinco horas), intermediária (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente. ... | 48 |
| FIGURA 10 - Cristalinidade relativa do arroz polido. As letras A,B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente. ... | 49 |
| FIGURA 11 - Microscopia eletrônica de varredura do arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A, D, G), intermediária (cinco a dez horas) (B, E, H) e final (dez a quatorze horas) (C, F, I). | 51 |
| FIGURA 12 - Composição química de arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediária (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas). | 53 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - Referências sobre a cultura do arroz..... | 15 |
| TABELA 2 - Denominação dos tipos de arroz e processos..... | 16 |
| TABELA 3 - Estudos recentes realizados com sobre as operações de pós-colheita. | 20 |
| TABELA 4 - Limites toleráveis de defeitos do arroz beneficiado polido. | 21 |
| TABELA 5 - Secagem do arroz. | 22 |
| TABELA 6 - Qualidade de grãos de arroz. | 25 |
| TABELA 7 - Análises multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means..... | 35 |
| TABELA 8 - Análise de variância do beneficiamento do arroz polido..... | 39 |
| TABELA 9 - Análise de variância da classificação física do arroz polido. | 41 |
| TABELA 10 - Análise de variância da qualidade físico-química do arroz polido. | 43 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 13 |
| 1.1 Objetivo geral..... | 13 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 14 |
| 3 HIPÓTESES CIENTÍFICAS | 14 |
| 4 REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 5 MATERIAL E MÉTODOS | 31 |
| 5.1 Caracterização do experimento | 31 |
| 5.2 Secagem e amostragem do arroz em casca | 31 |
| 5.3 Beneficiamento do arroz | 33 |
| 5.4 Classificação física do arroz..... | 33 |
| 5.5 Avaliação da qualidade físico-química do arroz | 33 |
| 5.6 Análises de difração de raios (XRD) | 34 |
| 5.7 Análises de microscopia eletrônica de varredura (SEM)..... | 34 |
| 5.8 Análises estatísticas..... | 35 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 6.1 Secagem do arroz em casca..... | 37 |
| 6.2 Qualidade física do arroz polido..... | 39 |
| 6.3 Qualidade físico-química do arroz polido | 42 |
| 6.4 Análises multivariadas | 45 |
| 6.5 Análise de difatogramas de raios-X..... | 47 |
| 6.6 Análises de microscopia eletrônica de varredura..... | 50 |
| 7 CONCLUSÕES | 55 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 56 |

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza Sativa* L.) é um dos cereais de maior importância para o mundo, são cerca de 502,1 milhões de toneladas (base beneficiada) de arroz produzidos anualmente (USDA, 2020). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável por 57% da produção nacional, tornando-se o maior produtor de arroz do Brasil (IBGE, 2020).

Os grãos produzidos são exportados para diversos países, surgindo assim a necessidade de se obter grãos com altos padrões de qualidade, visto que a qualidade do grão de arroz infere sobre os valores de comercialização (ZHENG et al., 2017). Vários são os fatores que causam à perda de qualidade dos grãos, entre eles a pós-colheita, desde o recebimento, a secagem, a armazenagem até o beneficiamento do produto (CORADI et al., 2020a).

A secagem é uma fase importante e para que ocorra o processo é necessário que a pressão de vapor dos grãos seja maior que a pressão de vapor do ar de secagem. Quando a secagem é mal conduzida, pode provocar danos térmicos e físicos nos grãos, aumentando o percentual de grãos quebrados e diminuindo o rendimento de grãos inteiros durante o beneficiamento, além de aumentar as fissuras interna do grão, deixando-o mais suscetível à deterioração nas etapas seguintes de pós-colheita.

A composição química e a qualidade tecnológica industrial dos grãos podem ser afetadas pelo tempo, forma e temperatura de secagem. Os grãos de arroz são compostos principalmente por carboidratos, amido, proteínas, lipídios, fibras, minerais vitaminas e compostos fenólicos. O amido é o principal componente do endosperma do arroz e serve como fonte primária de carboidratos. O amido consiste em dois componentes principais, amilose e amilopectina (ZHANG et al., 2020).

A qualidade industrial do arroz em casca determina a destinação dos grãos na etapa de beneficiamento e no preço pago ao produtor, através da avaliação do rendimento de grãos inteiros (ELIAS, 2007; SCARIOT et al., 2020). Dentre os métodos disponíveis para a secagem de arroz, a secagem intermitente é a mais utilizada. Este método é caracterizado pela recirculação da massa de grãos no secador e com períodos de descanso na câmara de intermitência. Os grãos após passarem pela câmara de secagem são submetidos a um período de descanso, para que a água das camadas mais internas dos grãos migre do centro para a

periferia, pela diferença de potencial, sem ação direta do calor, utilizando a própria temperatura adquirida pela passagem na câmara de secagem (CORADI et al., 2020). Durante a fase de secagem há formação de processos de transferência de calor e massa no interior dos grãos, o que impõe tensões no grão para que ocorra a sua secagem (ASSAR et al., 2016). Essas tensões são a grande causa dos danos físicos e potenciais deteriorações dos grãos. O estágio de intermitência ou temperatura minimiza a transferência de massa (água) do interior do grão para a periferia e, conseqüentemente ameniza o efeito abrupto da temperatura de secagem, conseguindo melhores resultados de qualidade de grãos (JUN et al., 2016).

Muitos estudos comprovam a eficiência deste método na secagem do arroz. Entretanto, há necessidade de se avaliar o efeito do tempo da secagem intermitente sobre a qualidade dos grãos, uma vez que, quanto maior o tempo, maior número de vezes o produto passará pela secagem.

Após a secagem dos grãos, o arroz pode ser submetido ao beneficiamento, classificando o produto conforme o processo utilizado seja para grãos de arroz integrais ou polidos. Todavia, o descasque e o polimento por serem processos abrasivos que retira a película e o germe do grão onde está a maior parte das proteínas, podem causar maiores trincas ou rachaduras no endosperma, alterando a qualidade física, físico-química e morfológica do arroz. Assim, o aumento do tempo (número de vezes que a massa de grãos passa pela câmara de secagem) e da temperatura de secagem pode colaborar negativamente sobre a qualidade dos grãos, quando submetidos ao beneficiamento mais abrasivo, pois se o grão apresentar fissuras decorrente dos efeitos da secagem, pode tornar os grãos mais sujeitos a quebra durante os processos de descasque e polimento, afetando assim a qualidade tecnológica e morfológica do arroz.

2. OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Baseado na importância do arroz para a produção mundial, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tempo de secagem-intermitência e do beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido.

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos cumulativos do tempo de secagem e intermitência sobre a qualidade física do arroz polido.
- Avaliar os efeitos cumulativos do tempo de secagem e intermitência sobre a qualidade físico-química do arroz polido.
- Avaliar os efeitos cumulativos do tempo de secagem e intermitência sobre a qualidade morfológica do arroz polido.

3. HIPÓTESES CIENTÍFICAS

- Supõe-se que o tempo de secagem e intermitência influencie na temperatura da massa de grãos e na qualidade física do arroz polido.
- Supõe-se que o tempo de secagem e intermitência influencie na temperatura da massa de grãos e na qualidade físico-química do arroz polido.
- Supõe-se que o tempo de secagem e intermitência interfira na temperatura da massa de grãos e na qualidade morfológica do arroz polido.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A Cultura do Arroz

O arroz é uma monocotiledônea (*Oryza sativa*), da família das gramíneas (Poaceae). O cereal é cultivado como alimento básico essencial para grande parte da população mundial (SETYANINGSIH et al., 2016), sendo a principal fonte de ingestão de calorias para aproximadamente da metade da população e é um esteio para as populações rurais e para a segurança alimentar em muitos países de baixa renda. Diversos departamentos e organizações realizam pesquisas a fim de identificar aspectos da cultura, conforme verificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Referências sobre a cultura do arroz.

| Autores | Titulo |
|---------------|---|
| CONAB (2018) | Levantamento de safras |
| USDA (2017) | Tabelas mensais do arroz |
| FAO (2018) | Perspectivas da Agricultura |
| CONAB (2021) | Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos |
| SOSBAI (2018) | Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil |
| BRASIL (2009) | Projeções do Agronegócio |

No mundo, o arroz ocupa a segunda posição entre os cereais mais cultivados, abrangendo aproximadamente 161 milhões de hectares, produzindo cerca de 756,5 milhões de toneladas de grãos sem casca, correspondente a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (CONAB, 2018). De acordo com a FAO (2017), a produção mundial de grãos crescerá cerca de 1% por ano, o que levará a um aumento total em 2026 de 13% para o arroz, sendo a Ásia, a África e a América do Sul as regiões mais consumidoras, enquanto que, o principal país produtor de arroz é a China, seguida pela Índia (USDA, 2017).

O Brasil ocupa a 9ª posição no ranking mundial em relação à produção (FAO, 2018). A estimativa de produção da safra brasileira é na ordem de 10,0 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2021). De acordo com o MAPA (2020) a área plantada de arroz no Brasil deve chegar até 1.612 mil hectares em 2021. Os orizicultores brasileiros destinam sua produção basicamente para três canais: venda para formação de estoques públicos e privados, venda para indústrias e exportação (SOSBAI, 2018). Mais de 90% dos brasileiros o consomem pelo menos numa refeição diária (CONAB, 2021).

O estado do Rio Grande do Sul se destaca como o maior produtor nacional, sendo responsável por em torno de 70% do total produzido no Brasil, seguido por Santa Catarina com produção de 8,5% e 9,8%, nas safras 2014/15 e 2015/16, respectivamente (SOSBAI, 2018). Ainda se destacam no país, os estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (CONAB, 2021). No Brasil o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Portaria 06/2009,

regulamenta o padrão e a classificação do arroz em casca, do qual foram extraídas as denominações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Denominação e conceitos dos tipos de arroz e processos existentes.

| Arroz | Grãos provenientes da espécie <i>Oryza sativa</i> L. |
|----------------------------|--|
| Arroz beneficiado | O produto maduro que foi submetido a algum processo de beneficiamento e se encontra desprovido, no mínimo, da sua casca |
| Arroz com premix | O produto resultante da junção de arroz beneficiado mais grãos ou grânulos com nutrientes, respeitada a legislação específica |
| Arroz integral (esbramado) | O produto do qual somente a casca foi retirada |
| Arroz em casca natural | O produto que antes do beneficiamento não passa por qualquer preparo industrial ou processo tecnológico |
| Arroz glutinoso | O produto pertencente à variedade da espécie <i>Oryza sativa</i> L. glutinoso, cujos grãos de aparência branca e opaca tendem, por cocção, a aderir entre si, por estarem constituídos quase que integralmente de amilopectina |
| Arroz mal polido | o produto que após o polimento apresenta estrias longitudinais visíveis a olho nu |
| Arroz parboilizado | O produto que foi submetido ao processo de parboilização |
| Arroz polido | o produto de que, ao ser beneficiado, se retiram o germe, o pericarpo e a maior parte da camada interna (aleurona) |
| Arroz preto | O produto pertencente à variedade da espécie <i>Oryza sativa</i> L., cujos grãos apresentam o pericarpo de coloração preta |
| Arroz vermelho | O produto pertencente à variedade da espécie <i>Oryza sativa</i> L., cujos grãos apresentam |

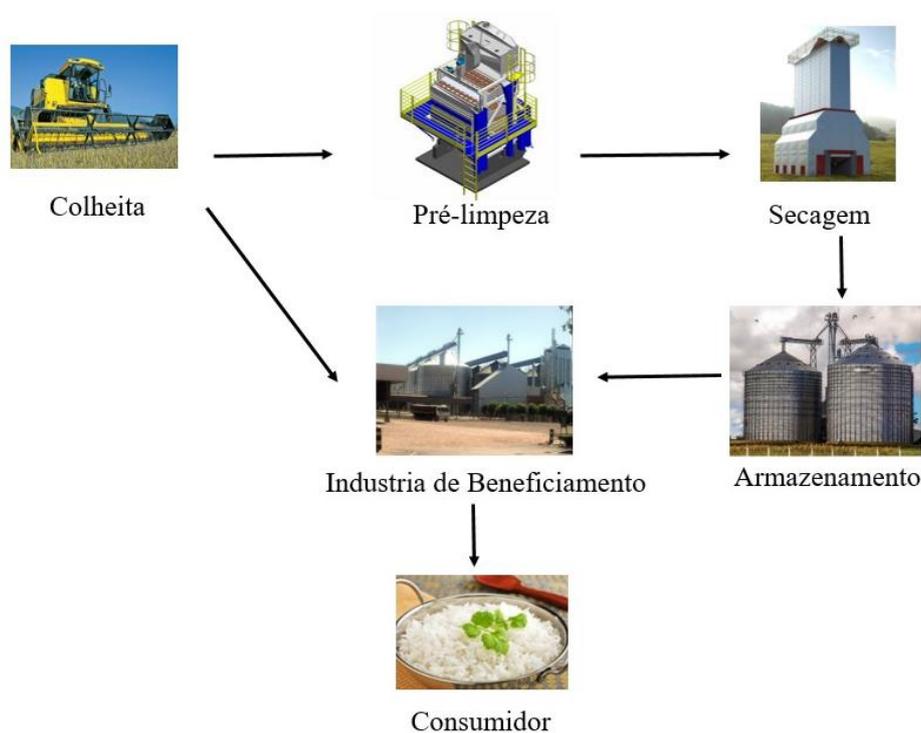
Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa 06/2009.

4.2 Operações de pós-colheita

As operações de pós-colheita de arroz envolvem as etapas posteriores à colheita até a obtenção do produto final, principalmente no que se refere à secagem, armazenagem e beneficiamento do produto (Figura 1). De acordo com o levantamento realizado pelo IBGE (2020) a capacidade dos estoques de arroz em casca do país atingiu um total de 4,1 milhões de toneladas no ano de 2020, sendo que destes 2,7 milhões de toneladas estão estocados no Rio Grande do Sul. Com relação ao estoque do arroz beneficiado são cerca de 103 mil toneladas estocadas no estado do Rio Grande do Sul (IBGE 2020).

Os sistemas de armazenamento garantem ao produtor rural os melhores preços de venda do arroz, uma vez que ele pode esperar o melhor momento para vender, comercializando na entressafra, época que a demanda aumenta e a oferta diminui. Outra vantagem deste sistema é a economia com transporte, pois em geral no período da safra o valor do transporte está mais elevado, o que permite que o produtor obtenha um maior rendimento na entrega do seu produto, pois, evita a espera dos caminhões nas filas das unidades industriais, o que compromete a qualidade do grão.

Figura 1 - Fluxograma do processo dos grãos de arroz em nível de fazenda.



Fonte: Autor

Os grãos de arroz são colhidos com teores de água de 16% a 26% (b.u.) e posteriormente são encaminhados para o recebimento nas unidades armazenadoras e beneficiadoras, onde o caminhão e a massa de grãos são pesados e amostrados. As amostras são encaminhadas para o laboratório, onde são analisadas a qualidade e determinada a classificação do produto (ZIEGLER et al., 2021), e dos processos seguintes.

A descarga do produto é realizada com auxílio de tombadores mecânicos onde os grãos são descarregados pela ação da gravidade, e descarregada nas moegas, onde são encaminhados para a pré-limpeza e limpeza. Estas devem ser realizadas com máquinas de ar, que utilizam o princípio do fluxo de ar, e com peneiras de diferentes tamanhos para obter o nível de limpeza desejado (ZIEGLER et al., 2021). Quando realizada de forma correta ela torna mais fácil a movimentação dos grãos pelos equipamentos, permitindo a uniformização da secagem.

Os lotes de grãos podem ser recebidos nas seguintes condições: secos e sujos, secos e limpos e úmidos e sujos (MITTAL et al., 2019). Caso os lotes estejam com altos teores de impurezas, matérias-estranhas e água, os grãos são submetidos aos processos de pré-limpeza e secagem para reduzir o percentual de sujidades e

água para uma condição segura de armazenamento, evitando possíveis contaminações por microrganismos que podem ocasionar perdas de qualidade, ou então, para que os grãos possam ser beneficiados (RAMOS et al., 2019).

A indústria recebe também arroz seco e limpo, o mesmo é encaminhado para um armazenamento temporário e depois submetido ao processo de beneficiamento. Os sistemas de armazenamento podem ser não herméticos (convencional), semi-hermético ou a granel (silos horizontais, silos verticais e armazéns), hermético, refrigerado e armazenamento em atmosfera modificada (ZIEGLER et al., 2021), porém o sistema de armazenamento da indústria é utilizado apenas de forma temporária a fim de garantir o seu próprio abastecimento.

Após um período de armazenamento, os grãos são submetidos ao beneficiamento. Para o descasque são utilizados rolos de pedra, borrachas ou mistos. O descascador mais comum utiliza rolos de borracha que giram em velocidades diferentes em direções opostas (BUGGENHOUT et al., 2013).

A partir do descasque se obtém o grão integral, aquele que é desprovido apenas da casca. O arroz integral é passado por vários branqueadores que aplicam forças abrasivas removendo as camadas externas do arroz e o embrião, revelando o endosperma amiláceo branco (ANTUGULU & PAN, 2014; TRAN et al., 2018; MEDINA et al., 2021). O processo de branqueamento que produz o arroz branco é avaliado pelo grau de polimento do arroz, que pode ser monitorado de diversas formas (TRAN et al., 2018).

Após este procedimento os grãos de arroz são conduzidos para a separação de tamanhos, onde são separados em grãos inteiros, grãos $\frac{3}{4}$ e quirera, e após são levados a seleção eletrônica para a verificação e seleção de defeitos. Finalmente os grãos são separados em grupos, classes e tipos, embalados e disponibilizados para o consumo. Diversos estudos avaliaram os efeitos da pós-colheita e do beneficiamento sobre a qualidade final do arroz, conforme se observa na Tabela 3.

Tabela 3 - Estudos recentes realizados com operações de pós-colheita.

| Autores | Titulo |
|-----------------------------|--|
| IBGE (2020) | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Estatística da Produção Agrícola |
| Meneghetti et al. (2012) | Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca |
| Tong et al. (2020) | Impacto das operações pós-colheita no grão de arroz qualidade: uma revisão |
| Ziegler et al. (2021) | Sistemas de armazenamento de grãos e efeitos da umidade, temperatura e tempo na qualidade dos grãos - Uma revisão |
| Mittal et al. (2019) | Sistema não destrutivo baseado em processamento de imagens para avaliação da qualidade do arroz e defeitos para classificação de acordo com o valor comercial inferido |
| Ramos et al. (2019) | Características da farinha e do amido isolado de arroz vermelho submetido a diferentes condições de secagem |
| Abayawickrama et al. (2017) | Influência da alta temperatura diurna durante o estágio de enchimento de grãos na formação de fissuras em arroz |
| Antugulu & Pan (2014) | Processamento industrial de arroz em todo o mundo e impacto sobre conteúdo, estabilidade e retenção de macro e micronutrientes |
| Buggenhout et al. (2013) | A suscetibilidade à quebra de arroz cru e parboilizado: uma revisão |
| Tran et al. (2018) | Contabilizando o efeito do grau de polimento na extração de proteína de arroz em um ambiente industrial |
| Medina et al. (2021) | Avaliação do destino e dos riscos à saúde de |

alguns resíduos de pesticidas durante o
processamento industrial de arroz na
Argentina

Nas unidades de beneficiamento, o arroz é processado, deixando o mesmo ao ponto de ser consumido. Em geral, os processos de beneficiamento do arroz incluem duas etapas, a remoção da casca com uma máquina de descasque para produzir arroz integral e a remoção das camadas externas e do embrião para produzir arroz polido (TONG et al., 2020). No Brasil o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Portaria 06/2009, regulamenta a classificação do arroz. Segundo a normativa, o arroz em casca pode ser classificado como natural, parboilizado e integral, enquanto o arroz beneficiado pode ser classificado como polido, parboilizado integral e parboilizado polido (Tabela 4).

Tabela 4 - Limites toleráveis de defeitos do arroz beneficiado polido em %.

| Tipo | MEI | Mofados e Ardidos | Picados ou Manchados | Gessado e Verdes | Rajados | Amarelos | Total Quebrados e Quirera | Quirera (máximo) |
|------|------|-------------------------|----------------------------|------------------------|---------|----------|---------------------------------|---------------------|
| 1 | 0,10 | 0,15 | 1,75 | 2,00 | 1,00 | 0,50 | 7,50 | 0,50 |
| 2 | 0,20 | 0,30 | 3,00 | 4,00 | 1,50 | 1,00 | 15,00 | 1,00 |
| 3 | 0,30 | 0,50 | 4,50 | 6,00 | 2,00 | 2,00 | 25,00 | 2,00 |
| 4 | 0,40 | 1,00 | 6,00 | 8,00 | 3,00 | 3,00 | 35,00 | 3,00 |
| 5 | 0,50 | 1,50 | 8,00 | 10,00 | 4,00 | 5,00 | 45,00 | 4,00 |

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa 06/2009

4.3 Secagem

Na Tabela 5, estão alguns estudos recentes sobre a qualidade do arroz submetida à secagem sobre diferentes condições. A secagem se caracteriza como o processo de retirada da água dos grãos em níveis que permitem o armazenamento por períodos prolongados (ZIEGLER et al., 2021). A secagem artificial com ar aquecido eleva a capacidade de secagem e diminui o tempo de operação, entretanto a mesma pode ocasionar danos aos grãos devidos a elevada temperatura (LANG et al., 2018).

Tabela 5 – Estudos realizados com secagem do arroz.

| Autores | Titulo |
|---------------------------|---|
| Morteza et al. (2016) | Estudo sobre a cinética de secagem do arroz em casca: secagem Intermitente |
| Hampel et al. (2019) | Modelagem contínua da secagem a vapor superaquecido de grãos individuais de arroz. |
| Ziegler et al. (2021) | Sistemas de armazenamento de grãos e efeitos da umidade, temperatura e tempo na qualidade dos grãos |
| Lang et al. (2018) | Efeitos da temperatura de secagem e das condições de armazenamento de longo prazo sobre os compostos fenólicos do arroz preto |
| Taghinezhad et al. (2020) | Secagem de arroz parboilizado com diferentes secadores: propriedades termodinâmicas e de qualidade, modelagem matemática. |
| Douymaz et al. (2015) | Secagem de fatias de marmelo: Efeito dos pré-tratamentos nas características de secagem e reidratação |
| Kumar et al. (2014) | Secagem intermitente de produtos alimentícios: uma revisão crítica |
| Meneghetti et al. (2012) | Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. |
| Mohammad et al. (2015) | Sobre as características de modelos de secagem em camada fina para secagem intermitente de arroz bruto. |
| Dong et al. (2010) | Distribuição de umidade em um grão de arroz durante a secagem. |
| Bertotto et al. (2019) | Efeito das condições de secagem na qualidade do arroz IRGA 424 |
| Wang et al. (2017) | Efeito da secagem intermitente em alta temperatura na viabilidade e vigor de sementes de arroz |

| | |
|-----------------------|--|
| Pereira et al. (2020) | Secagem contínua e intermitente de arroz áspero: efeitos no tempo efetivo do processo e na difusividade efetiva da massa |
| Franco et al., 2020 | Modelagem e experimentação da secagem contínua e intermitente de grãos de arroz em casca |
| Prietto et al. (2015) | Operações pós-colheita e níveis de aflatoxina no arroz |

Na secagem intermitente o monitoramento do teor de água inicial dos grãos, a temperatura da massa de grãos e do ar, bem como o período de intermitência é fundamental para garantir a qualidade da operação. O tempo da operação de secagem intermitente está relacionado à temperatura do ar de secagem e a taxa de intermitência. Dong et al. (2010) avaliando a secagem de arroz em casca verificaram que a intermitência à 50 °C por um período de 120 minutos foi suficiente para remover cerca de 80% do gradiente do teor de água.

De acordo com o estudo realizado por Meneghetti et al. (2012), o tempo necessário para se atingir a temperatura ideal de armazenamento, em uma amostra com teor de água inicial de 20% de b.u, foi de 5, 8 e 10 h para as relações de intermitência de 1:1, 1:2 e 1:4 respectivamente. Os resultados obtidos pelos autores concluem que a relação de intermitência modifica o tempo de operação e a taxa horária de secagem dos grãos de arroz. Meneghetti et al., (2012) ainda verificaram que o modelo de Midilli melhor ajustou os dados de secagem intermitente. O modelo de Midilli também se mostrou eficaz no estudo de Mohammad et al. (2015) acrescido do modelo de Dois Termos, que de acordo com o estudo também apresentou os melhores ajustes na secagem intermitente.

No estudo realizado por Bertotto et al. (2018), os autores avaliaram na secagem intermitente o fator teor de água inicial (15, 17 e 19%), a temperatura do ar de secagem (40, 50 e 60 °C) e tempo de intermitência (40, 80 e 120 min) no rendimento de grãos de arroz da variedade IRGA 424. Eles concluíram que para atingir um rendimento acima de 58% (exigido pela indústria) é fundamental que a secagem seja realizada as temperaturas próximas de 40 °C, com período de

descanso de 40 min e um teor de água inicial de 19%. Nessas condições, o grão atingiu um teor de água de 13% em 84 min.

Em comparação com a secagem contínua a secagem intermitente apresentou vantagens quando comparadas. Wang et al. (2017) compararam ambas as secagens em grãos de arroz, analisando os efeitos das temperaturas de secagem de 50 e 60 °C e o tempo de 5, 10, 15 e 20 min, seguidas de intermitência a 25 °C por 45 min. Eles concluíram que a taxa de secagem foi melhorada com a intermitência. Além disso, os melhores de qualidade foram obtidos a 50 °C por 5 min. Estes resultados corroboram com o estudo de Pereira et al., (2020) que compararam os dois métodos de secagem com temperaturas do ar de secagem a 50 e 70 °C, tempo de secagem de 10 e 20 min, e tempo de intermitência de 20 e 40 min. Os autores verificaram que o tempo e secagem de 10 min a 50 °C, o que ocasionou uma redução de 32,2% do tempo efetivo de secagem em comparação com a secagem contínua. Franco et al. (2020) verificaram que na secagem intermitente a temperatura na superfície do grão foi menor que na secagem contínua, o que minimiza danos térmicos aos grãos.

Outra forma de secagem utilizada no arroz é com tecnologia silo-secador, também conhecida como secagem estacionária e ou de leito fixo. Este método de secagem apresentou bons resultados sobre a qualidade dos grãos. Menezes et al. (2012) avaliaram o efeito de diferentes temperaturas do ar de secagem estacionária na qualidade de grãos de arroz, utilizando-se temperaturas de 32, 38, 44 e 50 °C. De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que as temperaturas de 32 e 38 °C são as mais adequadas, pois não comprometeram a qualidade dos grãos, enquanto que, a temperatura de 50 °C reduziu a qualidade física. Lang et al. (2019), estudaram a influência das temperaturas de secagem (20, 40, 60, 80 e 100 °C) em secador de leito fixo, seguidas por doze meses de armazenamento em atmosfera normal, sobre os fenólicos do arroz preto. Os autores verificaram que a elevação da temperatura do ar de secagem reduziu o conteúdo total de fenólicos livres, flavonóides livres e antocianinas.

Assim como a secagem contínua, a secagem estacionária pode apresentar algumas desvantagens quando comparada com a secagem intermitente, o que pode ser verificado em estudo realizado por Prietto et al. (2015), que verificaram contaminações fúngicas e micotoxinas na massa de grãos de arroz submetidas a

secagem em silo-secador, em função do tempo prolongado de secagem dos lotes de grãos com altos teores de água até alcançarem as condições seguras de umidade de armazenamento.

4.4 Qualidade de grãos de arroz

No setor do arroz não existe atualmente uma definição uniforme e aplicável sobre a “qualidade do arroz” e há ainda menos unanimidade sobre como ela deve ser medida (CUSTÓDIO et al., 2019), conforme podemos observar na Tabela 6. Dentre as variáveis de qualidade de grãos de arroz o rendimento de grãos inteiros é um dos principais, pois está diretamente relacionado ao valor de mercado (SINGH et al., 2017). O rendimento é definido como a proporção de grãos inteiros após o processo de beneficiamento. É considerado grão inteiro o grão que possui um comprimento superior a 75% do comprimento original do arroz (ABAYAWICKRAMA et al., 2017). O rendimento é afetado pelos seguintes fatores: cultivar, manejo da cultura e pelas operações de pós-colheita, principalmente a secagem e o beneficiamento.

Tabela 6 – Estudos relacionados com a qualidade de grãos de arroz.

| Autores | Titulo |
|-----------------------------|--|
| Singh et al. (2017) | Impacto da infestação voluntária de arroz na produtividade e na qualidade dos grãos do arroz |
| Abayawickrama et al. (2017) | Influência da alta temperatura diurna durante o estágio de enchimento de grãos na formação de fissuras no arroz |
| Scariot et al. (2020) | Efeito da temperatura do ar de secagem e armazenamento na qualidade industrial e química de grãos de arroz |
| Lang et al. (2018) | Secagem em leito fluidizado de grãos de arroz preto: impacto nas propriedades de cozimento, digestibilidade in vitro do amido e bioacessibilidade de compostos fenólicos |
| Zhang et al. (2003) | Alterações nas propriedades físico-químicas e |

| | |
|--------------------------|--|
| | estruturas do amido de grãos de arroz na brotação pré-colheita |
| Buggenhout et al. (2013) | A suscetibilidade à quebra de arroz cru e parboilizado: uma revisão |
| Iguaz et al. (2006) | Influência do manuseio e processamento do arroz em casca nas fissuras e na produtividade. |
| Aquerreta et al. (2007) | Efeito da secagem intermitente sobre qualidade do arroz em casca |
| Yun et al. (2016) | Mapeamento genético e confirmação de características quantitativas para corretagem de grãos em arroz |
| Purhagen et al. (2018) | PADDYHECK - um instrumento para determinação da qualidade do arroz. |
| Yamakawa et al. (2007) | Perfil de expressão abrangente de genes relacionados ao enchimento de grãos de arroz sob alta temperatura usando microarray de DNA |
| Zhu et al. (2019) | Os efeitos da brotação pré-colheita no campo sobre a estrutura morfológica e propriedades físico-químicas do arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) |
| Tong et al. (2020) | Impacto das operações pós-colheita na qualidade do grão de arroz: uma revisão |
| Tran et al. (2018) | Contabilizando o efeito do grau de moagem na extração de proteína de arroz em um ambiente industrial |
| Menezes et al. (2012) | Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz |
| Paiva et al. (2016) | Efeito do polimento e parboilização nas propriedades nutricionais e tecnológicas do arroz pigmentado |
| Kuo et al. (2016) | Identificação de grãos de arroz usando |

| | |
|----------------------|---|
| | análise de imagem e classificação baseada em representação esparsa |
| Mishra et al. (2021) | Identificação da melhor forma física do arroz para previsão não destrutiva do conteúdo de proteína utilizando espectroscopia no infravermelho próximo para apoiar a fenotipagem digital |
| Monks et al. (2013) | Efeitos do polimento na composição centesimal, ácido fólico, ácidos graxos e propriedades tecnológicas do arroz |
| Wang et al. (2021) | Efeito da secagem intermitente em alta temperatura na viabilidade e vigor de sementes de arroz |
| Xu et al. (2021) | As condições de polimento na moagem de arroz afetam diferencialmente as propriedades físico-químicas do amido de arroz ceroso com baixo e alto teor de amilose |

O rendimento de grãos inteiros pode ser afetado pela formação de fissuras, resultante principalmente pela operação de secagem. As fissuras além de comprometer o rendimento de grãos inteiros, também pode alterar de forma negativa a composição química dos grãos (SCARIOT et al., 2020). Quando os grãos apresentam fissuras e são submetidos ao beneficiamento, os mesmos podem romper-se, principalmente durante o descasque e polimento (ZHANG et al., 2003; GBENA et al., 2016). Iguaz et al. (2006) verificaram que a secagem intermitente afetou a qualidade de grãos de arroz com incremento na temperatura do ar de secagem. Eles também verificaram que a intermitência diminui a proporção de grãos fissurados, melhorando assim a qualidade dos grãos.

O efeito do número de ciclos de secagem também influencia na fissuração dos grãos. Aquerreta et al. (2007) estudaram o efeito do ciclo de secagem em diferentes períodos de intermitência na fissuração e no rendimento de grãos inteiros de arroz. Os autores concluíram que a porcentagem de grãos fissurados diminui quando a

secagem é realizada em duas ou três etapas. A etapa de têmpera foi importante para reduzir os grãos fissurados e aumentar o rendimento de grãos inteiros.

Além das fissuras, a porcentagem de grãos gesso também pode resultar em um menor rendimento de grãos inteiros. A presença de gesso no grão afeta a qualidade da aparência do arroz beneficiado e é um dos principais fatores que quantifica o preço do grão, uma vez que pode ser visualmente identificado pelos consumidores. Os grãos gessados podem ser categorizados como barriga branca, núcleo branco e costas brancas com base em sua localização no endosperma ou dentro dele (YUN et al., 2016). Os grãos gessados têm maior opacidade do que os não farináceos, enquanto que, a translucidez dos grãos pode-se determinar a consistência de gesso dos grãos (PURHAGEN et al., 2018). Os grãos gessados podem ser formados pela síntese de amido, pela estrutura e o arranjo dos grânulos de amido (YAMAKAWA et al., 2007).

O amido assim como os carboidratos são os principais componentes do arroz, seguido por proteínas, fibras e cinzas em menor quantidade (SCARIOT, 2020). Alguns dos parâmetros que definem as propriedades do amido são o tamanho dos grânulos, o poder de expansão, a solubilidade, propriedades de gelatinização e conteúdo de amilose (ZHU et al., 2019). O amido de arroz contém quase 20% de amilose e 75-80% de amilopectina (SINGH et al., 2017). O conteúdo de amilose do arroz é importante para a qualidade do cozimento. O arroz de grão longo contém 19–22% de amilose, enquanto que os grãos médios contêm 15–16% de amilose (SINGH et al., 2017). Yun et al., (2016) afirma que a presença de espaços de ar entre os grânulos de amido nos endospermas gessados diminui a densidade do grão e faz com que os grãos se quebrem.

Além do amido, a proteína é o componente mais abundante do grão de arroz. As proteínas do arroz podem ser divididas em quatro categorias: albumina, globulina, prolamina e glutelina (TONG et al., 2020). A albumina é altamente solúvel em água e particularmente apreciada como uma fração de proteína rica em nutrientes (TRAN et al., 2018). Os lipídios e as enzimas lipolíticas estão presentes principalmente nas camadas externas do grão de arroz e, portanto, são mais susceptíveis as alterações pelos processos de secagem e beneficiamento (TONG et al., 2020). Já as cinzas são distribuídas principalmente nas camadas de farelo da cariopse de arroz (PAIVA et al., 2016).

Scariot et al. (2020) analisaram a temperatura do ar de secagem e o tempo de armazenamento na qualidade industrial e na composição química dos grãos de arroz. Os autores utilizaram a taxa de intermitência de 1:1, submetendo a temperaturas de 55 e 65 °C e condicionaram os grãos por 240 dias em sacos de tecido e a cada 60 dias foram realizados o beneficiamento para análise de qualidade. De acordo com os resultados o aumento da temperatura diminuiu o rendimento de grãos inteiros para ambos os subgrupos, além disso, o teor de lipídeos para ambos os subgrupos foi reduzido, aumentando o teor de cinzas para o subgrupo branco. Os teores de lipídios e proteínas diminuíram, enquanto os teores de fibras e cinzas aumentaram durante o armazenamento para os grãos do subgrupo branco.

Outro fator que afetou a qualidade físico-química dos grãos de arroz foi o beneficiamento, principalmente do arroz polido. A etapa do polimento de arroz removeu as camadas onde estão o farelo e o germe, que são ricas em proteínas, fibras e gordura. O polimento modificou o processo de envelhecimento do arroz afetando a aparência e a qualidade sensorial do arroz (TONG et al., 2019). Assim, embora o processo de polimento proporcione benefícios às propriedades físicas, sensoriais e conservantes do arroz, as propriedades nutricionais são diminuídas (PAIVA et al., 2016). Os processos de polimento podem influenciar o conteúdo de amilose e as propriedades físico-químicas (TONG et al., 2019). O grau de polimento do arroz determina a proporção de farelo e endosperma que é alterada. Monks et al., (2013) examinaram os efeitos do grau de polimento (8-14%) na composição de ácidos graxos do arroz, a composição centesimal, o teor de amilose e as propriedades tecnológicas do arroz. Os resultados obtidos por eles mostraram que mesmo o menor grau de polimento ocasionou a diminuição no teor de ácido fólico, cinzas e gorduras, de aproximadamente 72, 41 e 65%, respectivamente.

Wang et al., (2021) avaliaram a qualidade físico-química do arroz em função dos graus de polimento (0-12%) do arroz. Eles observaram que à medida que o grau de polimento era ampliado, diminuía o rendimento, o teor de proteína, os lipídeos, as cinzas, as fibras, vitamina B1 e vitamina E. Entretanto, o teor de amido e amilose aumentaram de forma não linear. O rendimento foi drasticamente diminuído conforme o grau de polimento, passando de 62,13 para 33,16%.

O estudo realizado por Xu et al., (2021) testou o efeito do polimento nas propriedades do amido, utilizando arroz ceroso, polido em velocidades de (750, 950 e 1050 rotações por minuto) e tempo de duração de 20, 40 e 60 segundos. Eles observaram que conforme houve incremento na velocidade e no tempo, aumentou o poder de intumescimento e o índice de solubilidade do amido com baixo e alto teor de amilose. O polimento também ocasionou no amido maior pseudoplasticidade.

Para determinar as perdas qualitativas do amido, proteínas e lipídeos, pesquisadores tem utilizado a Microscopia Eletrônica de varredura (MEV). Esse sistema combina análise de imagem e técnicas de aprendizado de máquina para obter inspeção e avaliação automáticas (KUO et al., 2016). Os efeitos dos tratamentos térmicos e químicos sobre os grãos, especialmente de trigo e milho, também foram observados usando MEV (DANG e COPELAND et al., 2004). Sigh et al. (2003) utilizando a MEV mostraram que os grânulos de amido nos endospermas opacos de giz estão ao redor e fracamente agrupados, enquanto os endospermas translúcidos têm grânulos de amido poliédricos e compactos.

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), também é uma ferramenta importante para poder avaliar as características de qualidade, como polimento, aparência do grão, qualidades nutricionais, alimentares e culinárias. Mishra et al., (2021) compararam o potencial preditivo da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para três formas físicas de arroz, ou seja, grão de arroz em casca, arroz integral e arroz em pó, com o objetivo de identificar a melhor forma física a ser adaptada no futuro uso para a previsão do teor de proteína de alto rendimento em amostras de arroz. Eles concluíram que a forma física do arroz integral é suficiente para prever o teor de proteína no arroz, portanto, moer o arroz e medi-lo na forma de farinha não é necessário, economizando tempo e recursos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização do experimento

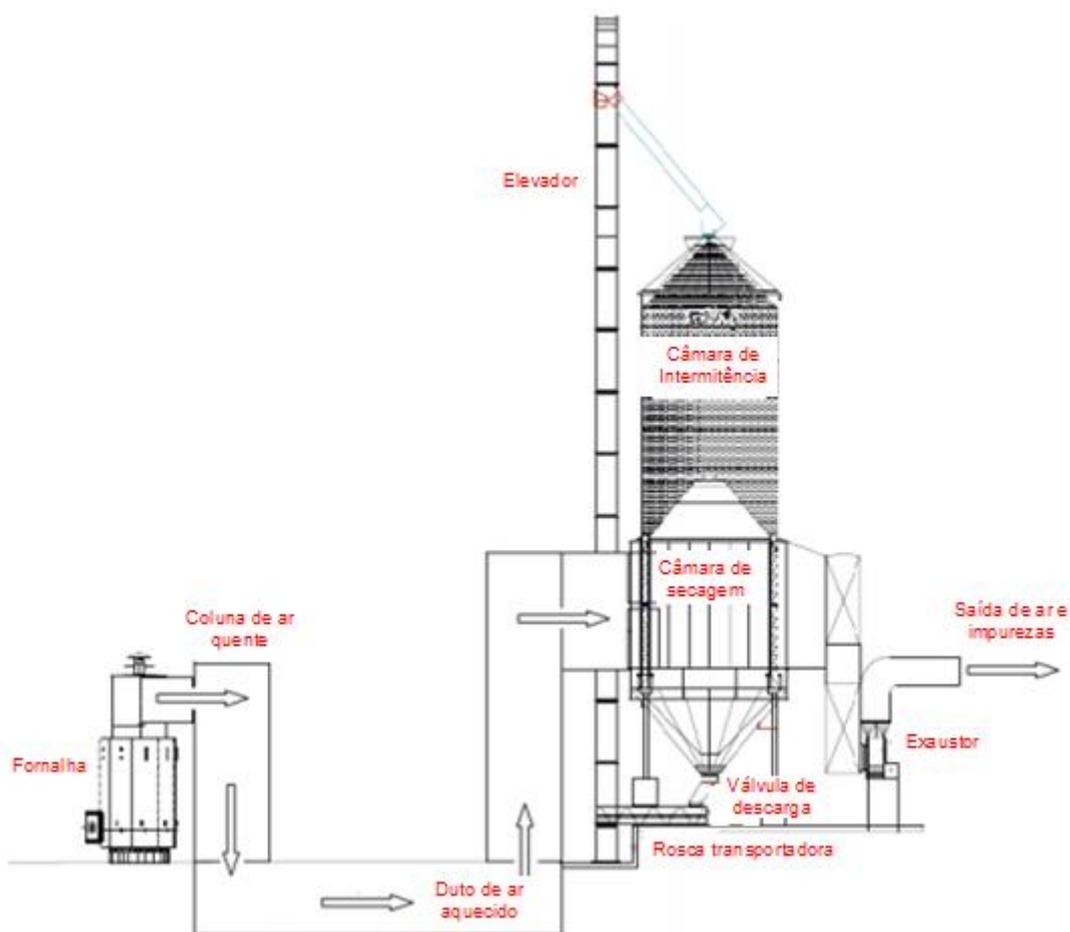
O experimento foi realizado em uma unidade armazenadora de grãos a nível de fazenda no município de Cachoeira do Sul-RS. Os lotes de grãos de arroz oriundas de colheita mecanizada, com teor de água dos grãos entre 24 e 20% (b.u.) (SOSBAI, 2012), foram submetidas imediatamente às operações de pré-limpeza e secagem. As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul.

Os tratamentos analisados foram à secagem (temperatura média da massa do grão de 41 °C, variando de 29 a 47 °C), a intermitência (temperatura média da massa do grão de 40 °C, variando de 29 a 49 °C) e o tempo de secagem de 14 horas (corresponde ao número de vezes que o produto passou pelos processos de secagem e intermitência), a uma temperatura média do ar de secagem de 107 °C (variando de 73 a 130 °C), em três repetições. Para cada tempo de secagem foi realizada amostragem dos grãos na câmara de secagem e na intermitência para avaliação da qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido.

5.2 Secagem e amostragem do arroz em casca

Após passar pelo processo de pré-limpeza na máquina de ar e peneiras, a secagem dos grãos de arroz em casca foi realizada em um secador intermitente, modelo Horbach (Figura 2), até que o teor de água do grão seja reduzido para 11% (b.u.). O secador intermitente era composto de uma câmara de secagem, câmara de intermitência, sistema de descarga, aquecimento e ventilação e um elevador para realizar a intermitência. Nesse sistema, o produto não ficou exposto constantemente ao ar de secagem, apenas durante o intervalo de tempo em que passava pela câmara de secagem. O tempo de circulação do produto fora da câmara de secagem foi considerado como tempo de equalização (câmara de intermitência).

Figura 2 - Secador Intermitente.



Fonte: Autor.

A coleta das amostras de grãos foi realizada a cada hora na câmara de intermitência e na câmara de secagem. Nas amostras coletadas, a temperatura da massa de grãos foi medida por meio de um termômetro de mercúrio. Simultaneamente à coleta das amostras, foi realizada a medição da velocidade e da temperatura do ar de secagem e exaustão na entrada de ar do secador e na saída da coifa, respectivamente, com o auxílio de um anemômetro de pás. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram medidas por meio de um termohigrômetro digital calibrado. O teor de água foi determinado pelo método indireto de capacitância elétrica, aferido com o método padrão em estufa a 105 °C (BRASIL, 2009).

5.3 Beneficiamento do arroz

A moagem dos grãos foi realizada em um provador de arroz (Zaccaria, PAZ-1/DTA, Limeira, Brasil), que foi regulamentada e tratada de acordo com as recomendações técnicas para moagem de arroz (BRASIL, 2009) indústria fabricante de equipamento. Foram pesados 100 gramas de grãos em casca, colocados gradativamente na moega “cone” de entrada de alimentação do equipamento beneficiador para obtenção do arroz polido. O polimento foi realizado pelas pedras abrasivas do brunidor. Após o beneficiamento, as amostras foram submetidas às análises de qualidade. As amostras foram separadas, identificadas e armazenadas em sacos de polietileno. Após o beneficiamento, as amostras foram submetidas à análise de qualidade.

5.4 Classificação física do arroz

Um cilindro separador alveolar de 5,5 mm (Zaccaria, Paz-1 / DTA, Limeira, Brasil) foi usado para classificar os grãos inteiros. O cilindro separador rotativo continha uma função gravitacional que separava os grãos deslocando os grãos quebrados para a moega horizontal, enquanto os grãos inteiros ficavam presos nos recipientes do cilindro para posterior descarregamento. As amostras processadas foram pesadas em balança de precisão (Marte Científica, modelo AD330, São Paulo, Brasil), para posterior encaminhamento ao manual de classificação do arroz polido conforme Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

5.5 Avaliação da qualidade físico-química do arroz

Para determinar amido (AM), proteína bruta (PB), gordura (FT), cinzas (AS) e fibra bruta (FB) em grãos de arroz, espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) (Metrohm, espectrômetro DS2500, Herisau, Suíça). As amostras foram homogeneizadas e colocadas na cápsula de amostragem. A análise foi baseada em iluminar uma amostra com radiação infravermelha próxima e então medir a diferença entre a quantidade de energia emitida pela espectroscopia e refletida pela amostra para o detector. Essa diferença foi medida em várias bandas, criando um espectro para cada amostra. Os registros dos dados espectrais foram feitos no modo

reflectância, na faixa espectral de 400 nm - 2500 nm. Os espectros foram obtidos em triplicata.

5.6 Análises de difração de raios (XRD)

Os difratogramas foram obtidos em um difratômetro de pó de raios-X Rigaku, modelo Miniflex 300, operando no modo step, com velocidade de varredura de 0,5 se e passo de varredura de 0,03 °, em ângulos de 5 a 100 °. Este equipamento possui radiação Cu K α ($\lambda = 1,54184 \text{ \AA}$) e uma fonte de alimentação com 30 kV e 10 mA. O índice de cristalinidade (X_c) foi determinado de acordo com a Eq. 1:

$$C = H_c / (H_a + H_c) \quad (1)$$

em que,

H_c : Altura do pico cristalino

H_a : Altura correspondente à fase amorfa

5.7 Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As análises microscópicas foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Carl Zeiss, Sigma 300 VP, Jena, Alemanha) com filamento de emissão por campo (FEG-Fiels Emission Gun) do tipo Schotky (filamento de tungstênio recoberto com óxido de zircônio), equipado com coluna Geminii (Carl Zeiss, Sigma 300 VP, Jena, Alemanha). As imagens foram obtidas utilizando o detector secundário (SE2) em modo de alto vácuo (1×10^{-9} bar), energia de 1, 5 e 6 KV, distância de trabalho de 5 mm e acima de 35 mm, abertura de 15 μm , ampliações (26X, 30X, 36X, 40X, 44X, 48X, 100X, 300X, 500X, 1000X, 2000X, 3000X e 5000X).

Para a energia dispersiva de raios X (EDS), foi utilizado o detector de raios X EDS (Bruker, Quantax 200-Z10, Billerica, Massachusetts, US), equipado com janela de quartzo de 10 mm² e software ESPRIT. As EDS foram obtidas com uso do detector secundário (SE2) no modo de pressão variável, que consistiu na inserção de gás nitrogênio no compartimento da amostra, permitindo a variação da pressão parcial entre 1 e 133 Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \times 10^{-5}$ bar), distância de trabalho 8.5 mm, energia de 20 kV e abertura de 60 μm .

5.8 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e as análises de regressão foram realizadas no programa de computador Sisvar. Para verificar a associação entre os tratamentos e as variáveis do arroz irrigado, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) e correlações de Pearson, com auxílio do software R seguindo procedimentos descritos por Naldi et al., Campello, Hruschka e Carvalho (2011). Na tabela 7 pode-se observar a análise multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means.

Tabela 7 - Análises multivariadas através da distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means.

| Etapa de secagem | Tempo de secagem (h) | Tratamentos |
|------------------|----------------------|-------------|
| Intermitente | 1 | T1 |
| Intermitente | 2 | T2 |
| Intermitente | 3 | T3 |
| Intermitente | 4 | T4 |
| Intermitente | 5 | T5 |
| Intermitente | 6 | T6 |
| Intermitente | 7 | T7 |
| Intermitente | 8 | T8 |
| Intermitente | 9 | T9 |
| Intermitente | 10 | T10 |
| Intermitente | 11 | T11 |
| Intermitente | 12 | T12 |
| Intermitente | 13 | T13 |
| Intermitente | 14 | T14 |
| Secagem | 1 | T15 |
| Secagem | 2 | T16 |
| Secagem | 3 | T17 |
| Secagem | 4 | T18 |
| Secagem | 5 | T19 |
| Secagem | 6 | T20 |

| | | |
|---------|----|-----|
| Secagem | 7 | T21 |
| Secagem | 8 | T22 |
| Secagem | 9 | T23 |
| Secagem | 10 | T24 |
| Secagem | 11 | T25 |
| Secagem | 12 | T26 |
| Secagem | 13 | T27 |
| Secagem | 14 | T28 |

Para verificar a associação entre os tratamentos e as variáveis analisadas do arroz em casca, os dados foram submetidos à análise de componentes principais. Um biplot foi construído com os dois primeiros componentes principais devido à facilidade de interpretação desses resultados. Neste biplot, foram definidos dois clusters para utilizar o algoritmo k-means, que agrupa os tratamentos cujos centróides estão mais próximos até que não haja variação significativa na distância mínima de cada observação a cada centróide. Essas análises foram realizadas com auxílio do aplicativo gratuito R e seguiram os procedimentos recomendados por Naldi et al. (2014).

Para verificar a associação entre as variáveis, foram estimadas as correlações de Pearson e, devido ao grande número de variáveis avaliadas, os resultados foram expressos graficamente na rede de correlações. A proximidade entre os nós (traços) foi proporcional ao valor absoluto da correlação entre esses nós. A espessura das arestas foi controlada aplicando um valor de corte de 0,60, o que significava que apenas $|r_{xy}| \geq 0,60$ tiveram suas bordas destacadas. Finalmente, as correlações positivas foram destacadas em verde, enquanto as correlações negativas foram representadas em escala de vermelho.

Para a avaliação do arroz polido, construiu-se mapa de calor utilizando a distância Euclidiana média e o método de agrupamento k-means e o método de correlações de Pearson devido ao grande número de variáveis avaliadas, os resultados foram expressos graficamente na rede de correlações.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Secagem do arroz em casca

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, bem como, a temperatura e a velocidade do ar na entrada do secador e na exaustão, durante a secagem estão apresentados na Figura 3. Ao longo do processo de secagem verificaram-se oscilações nas temperaturas e nas velocidades do ar de secagem (Figuras 3A-B), o que pode ter prejudicado a qualidade dos grãos, principalmente em danos físicos, como rachaduras no tegumento, cotilédones e eixo embrionário.

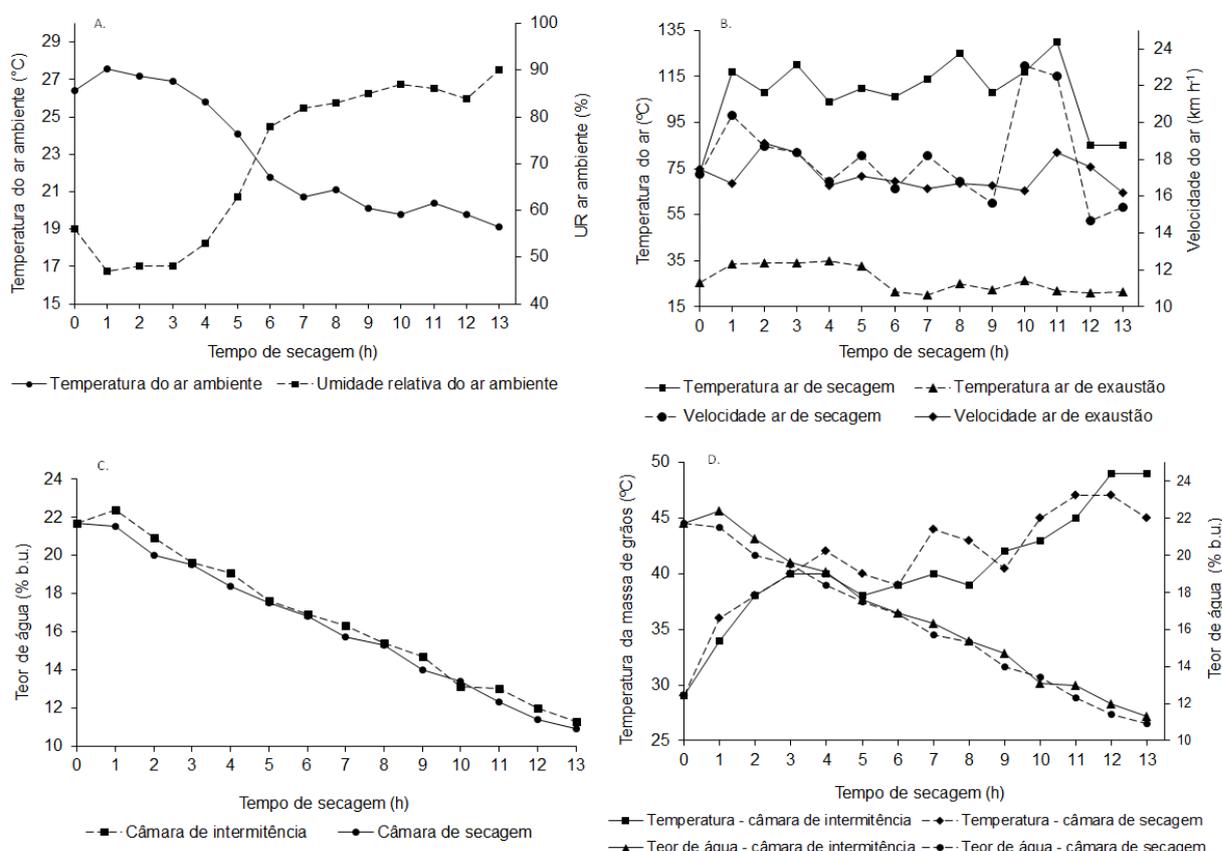
Para a movimentação de água ocorrer no interior do grão, dependem das características de cada produto, da difusão molecular, difusão capilar, difusão de superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e a energia de ativação da difusão. A velocidade em que a água pode ser removida do produto é representada pelo coeficiente de difusão efetiva, o qual é obtido através de valores experimentais. Este, não é uma característica intrínseca do grão, pois pode variar de acordo com os parâmetros do processo de secagem, e engloba todos os fenômenos que possam intervir no processo de movimentação da água no interior do grão (MALDANER et al., 2021). A partir do momento em que a transferência de massa cessa, o grão entra no estado denominado de teor de água de equilíbrio, o qual a pressão de vapor de água em seu interior é equivalente à pressão de vapor na massa de grãos, não havendo mais troca de água (FRANCO et al., 2019).

Na secagem intermitente o produto passou várias vezes pelo interior do secador, onde períodos de secagem foram alternados com períodos de descanso ou equalização. O produto foi submetido à ação do ar aquecido na câmara de secagem em intervalos regulares de tempo e segue para a câmara de intermitência (FRANCO et al., 2019). A relação de intermitência manteve a temperatura da massa de grãos abaixo da temperatura do ar de secagem, mesmo quando essa teve valores elevados (MALDANER et al., 2021). Além disso, a taxa de remoção de água aumentou durante a etapa de secagem, reduziu o tempo de secagem (DONG et al., 2010; KUMAR et al., 2014; GHASEMI et al., 2017).

A alta velocidade de secagem fez com que a migração da água sofra os efeitos de compressão interna e de tração superficial, devido ao elevado gradiente de umidade entre o interior e a superfície do grão. Analisando as curvas de secagem

(Figura 3C) observou-se semelhança entre as etapas de secagem e intermitência, sendo lineares as curvas em função do tempo de secagem, como observado também pelos autores Dong et al. (2010), Kumar et al. (2014), Maldaner et al. (2021). O teor de água dos grãos reduziu de 21,7% para 10,9%, com variação de temperatura da massa de grãos de 29 a 49 °C, conforme Figura 3D.

Figura 3 - Parâmetros de monitoramento da secagem intermitente do arroz em casca. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente (A), temperatura e velocidade do ar de secagem e exaustão (B), curva de secagem (C), temperatura da massa de grãos e teor de água na secagem (D).



Na câmara de secagem houve redução dos teores de água dos grãos e um aumento na temperatura da massa de grãos ao longo do tempo, enquanto que, na câmara de intermitência ocorreu um processo de uniformização dos teores de água e migração da água em forma de vapor das camadas mais internas para a superfície, o que facilitou a evaporação da água e o reaquecimento dos grãos na nova passagem pela câmara de secagem. A água influenciou diretamente na variação da temperatura, isso porque seu calor específico é maior do que o do grão,

e desse modo, para uma mesma quantidade de calor fornecida, o grão vai ter sua temperatura elevada mais rapidamente.

6.2 Qualidade física do arroz polido

Os fatores etapa de secagem e tempo de secagem foram significativos a 1 e 5% de probabilidade, sobre as variáveis físicas avaliadas no arroz polido (Tabela 8).

Tabela 8 - Análise de variância do beneficiamento do arroz polido.

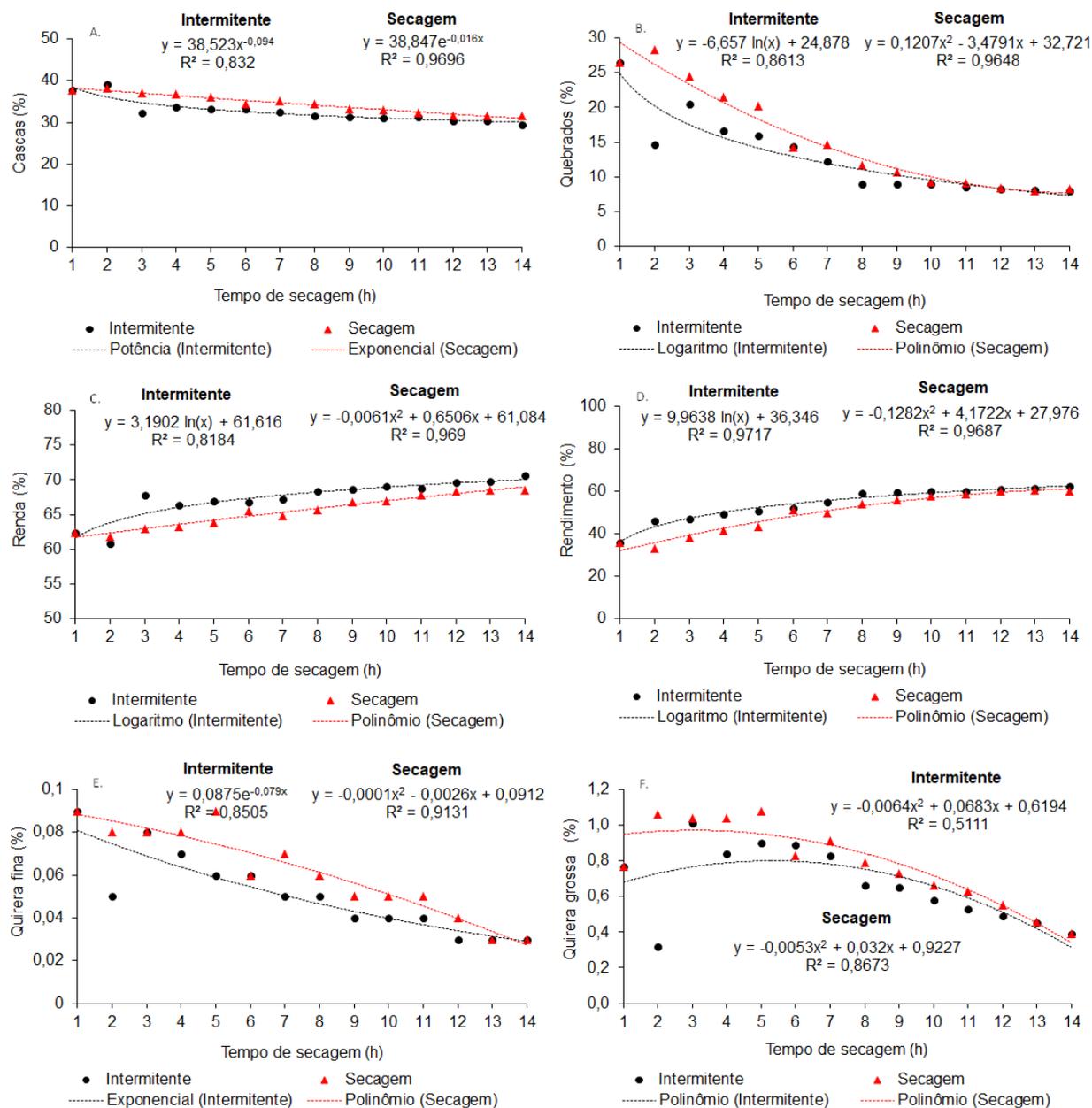
| FV | C | Q | R | RD | QF | QG |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ES | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| TS | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| ES*TS | 0,0102* | 0,0000** | 0,0111* | 0,0000** | 0,0037** | 0,0000** |
| CV (%) | 3,35 | 8,38 | 1,69 | 2,38 | 13,54 | 11,09 |
| Média Geral | 33,54 | 14,14 | 66,44 | 52,12 | 0,06 | 0,72 |

FV – Fator de variação, ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, C – Cascas, Q – Quebrado, R – Renda, RD – Rendimento, QF – Quirera Fina, QG – Quirera Grossa. **Significativo a 1% de probabilidade de erro ($Pr < 0,01$), *Significativo a 5% de probabilidade de erro ($Pr < 0,05$), ^{ns}Não Significativo ($Pr > 0,05$), ^{ns}Não Significativo ($Pr > 0,01$).

O arroz polido é o produto resultante do beneficiamento onde se retira o germe, o pericarpo e a maior parte da camada interna, o aleurona. Esse polimento reduz o teor de nutrientes, com exceção do amido. Na Figura 4 estão os resultados de qualidade física do arroz polido em função dos fatores etapas e tempo de secagem do arroz (Figura 4A-F). Durante a secagem, a qualidade física foi alterada, através da ocorrência de lesões no tegumento de grãos.

Os resultados de renda e rendimento grãos inteiros foram menores no início da secagem, em relação ao final (Figura 4C e 4D), com variações de 33,19% a 62,57%. A secagem provocou pequenas rachaduras no endosperma dos grãos (DONG et al., 2010; GHASEMI et al., 2017), enquanto que, a secagem intermitente em ambos os casos não atenuou os efeitos da temperatura de secagem, para melhores resultados de qualidade dos grãos. O rendimento de grãos inteiros acima de 60% foi obtido no tempo de secagem de 11 horas. Com o aumento de grãos inteiros houve redução do percentual de grãos quebrados e quireras ao longo do tempo de secagem.

Figura 4 - Efeitos da secagem intermitente no beneficiamento do arroz polido.



Na Tabela 9 estão apresentados os resultados da análise de variância da classificação física do arroz polido submetidos às etapas e tempos de secagem. Sendo o tempo de secagem significativo para todos os parâmetros avaliados, enquanto a etapa de secagem não apresentou significância para os grãos mofados, picados e machados e quebrados.

Tabela 9 - Análise de variância da classificação física do arroz polido.

| FV | A | G | M | PM | Q | S | PT |
|-------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|
| ES | 0,0111* | 0,0005** | 0,0609 ^{ns} | 0,3630 ^{ns} | 0,1226 ^{ns} | 0,0000** | 0,0000** |
| TS | 0,0130* | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| ES*TS | 0,2608 ^{ns} | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| CV (%) | 15,85 | 11,39 | 10,77 | 39,04 | 25,22 | 2,80 | 2,59 |
| Média Geral | 0,10 | 1,91 | 10,22 | 0,33 | 2,55 | 32,87 | 49,83 |

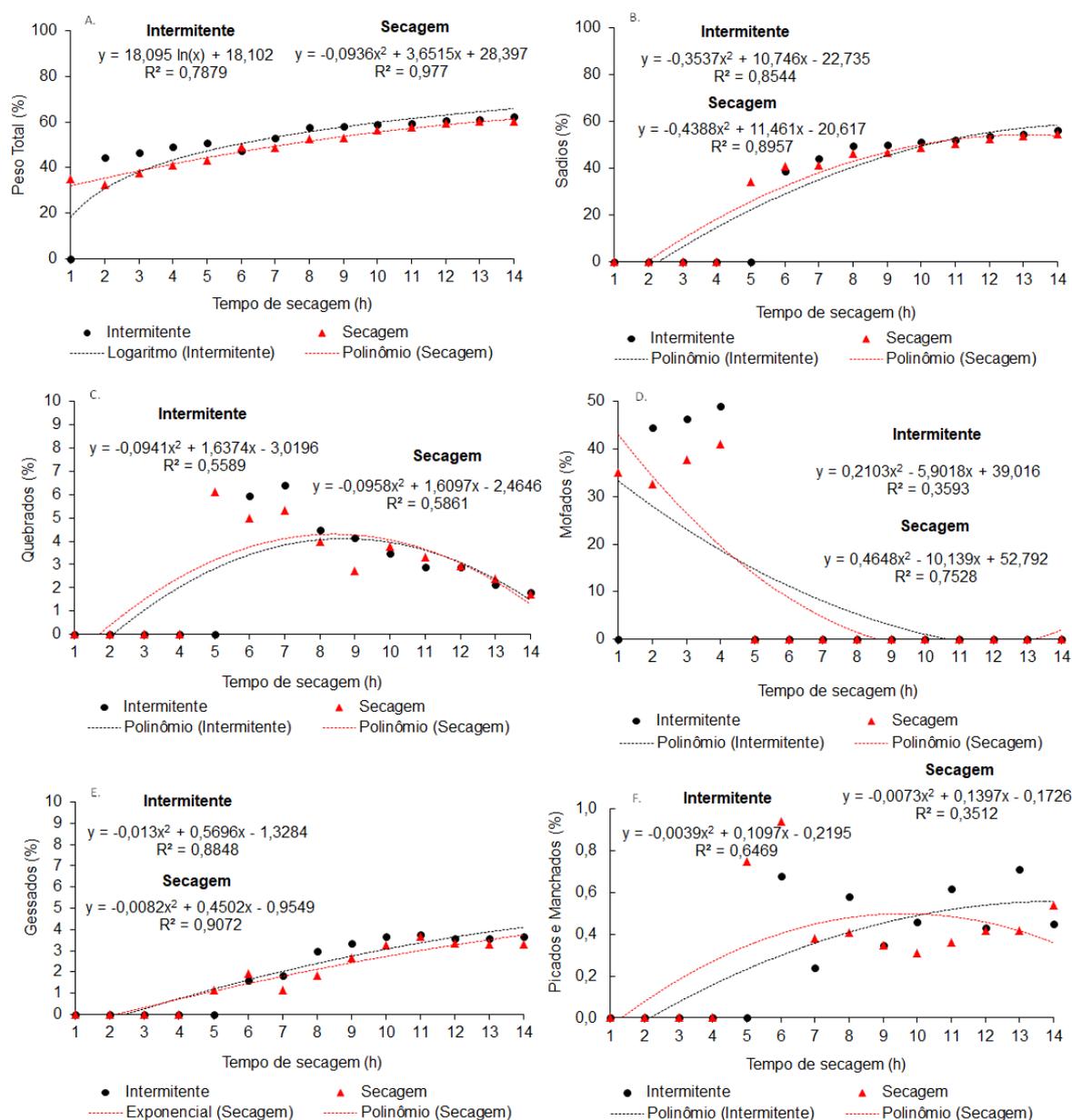
FV – Fator de variação, ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, A – Ardidados, G – Gessados, M – Mofados, PM – Picados e manchados, Q – Quebrados, S – Sadios, P – Peso total, **Significativo a 1% de probabilidade de erro (Pr<0,01), *Significativo a 5% de probabilidade de erro (Pr<0,05), ^{ns}Não Significativo (Pr>0,05), ^{ns}Não Significativo (Pr>0,01).

A secagem dos grãos foi benéfica com a redução dos teores de água e aumento do peso final e grãos sadios (Figura 5A). No tempo de dez horas a qualidade dos grãos atingiu os melhores resultados em grãos sadios (Figura 5B), no tempo de oito horas de secagem houve reduções totais de grãos mofados (Figura 5D), enquanto que, a porcentagem de grãos quebrados (Figura C) e grãos picados e manchados (Figura 5F) foram expressivos até o tempo de oito horas de secagem, reduzindo a partir desse tempo de secagem os percentuais.

A quantidade de grãos gessados (Figura 5E) aumentou constantemente ao longo de todo o processo de secagem, iniciando-se a partir do tempo de 2,5 horas de início da secagem. Os resultados de qualidade física do arroz amostrados na etapa de intermitência foram levemente superiores que na etapa de secagem, entretanto, mostrou-se que o tempo de secagem foi o fator que mais influenciou sobre a qualidade física.

O teor de água do arroz está diretamente ligado à qualidade e as características de beneficiamento (ALLAHGHOLIPOUR et al., 2006). Wongpornchai et al. (2004) evidenciam que o processo de pós-colheita, principalmente através do método de secagem, causa efeitos significativos no aroma e na qualidade do beneficiamento do arroz. A temperatura, o tempo de secagem e a taxa de remoção de água afetam as propriedades físicas e físico-químicas do arroz, como por exemplo, o rendimento e a qualidade de culinária (INPRASIT e NOOMHORM, 2001).

Figura 5 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade física do arroz polido.



6.3 Qualidade físico-química do arroz polido

Na Tabela 10 estão os resultados de significância a 1 e 5% de probabilidade das variáveis de qualidade físico-química do arroz polido em função dos fatores etapa e tempo de secagem.

Tabela 10 - Análise de variância da qualidade físico-química do arroz polido.

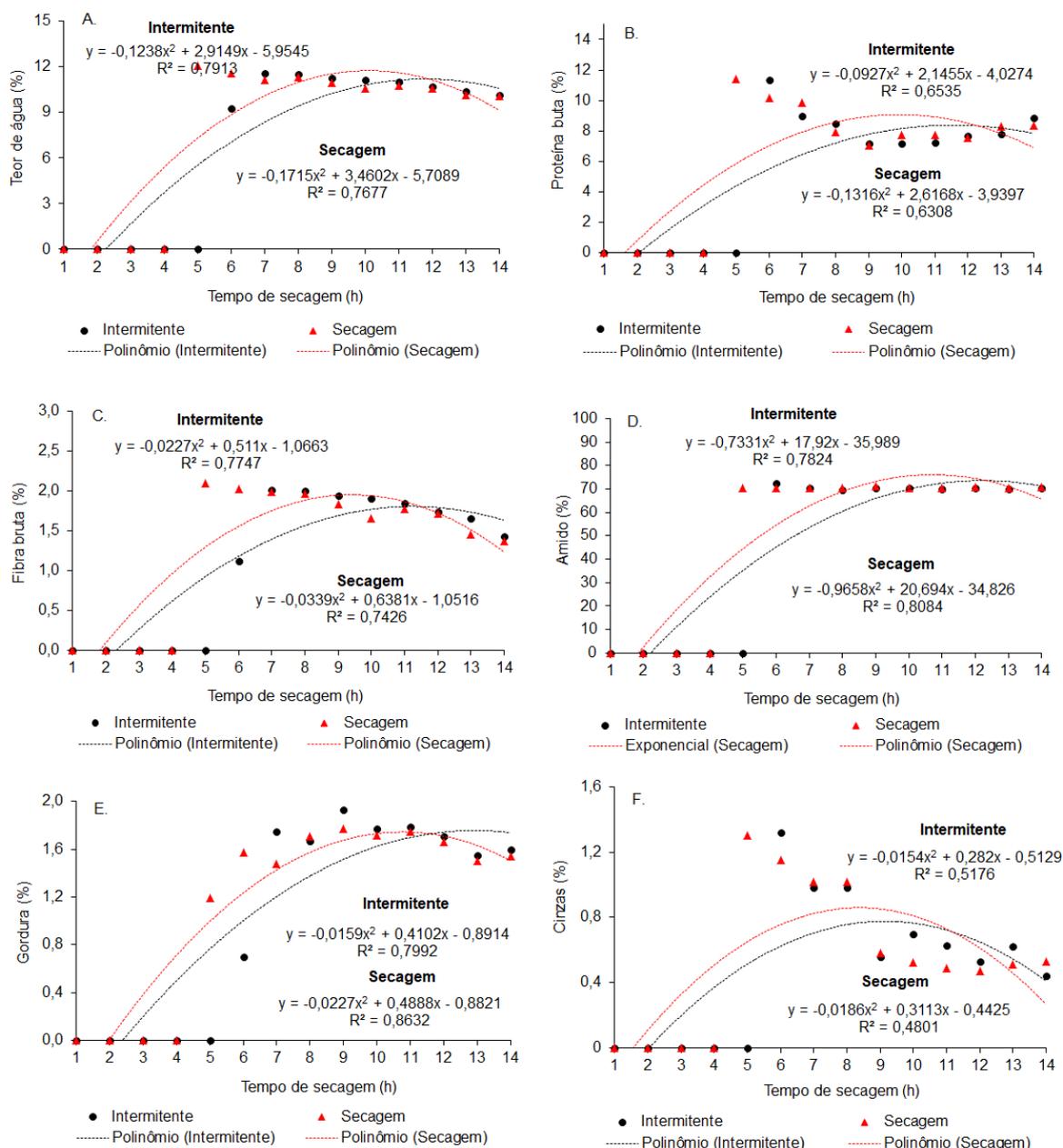
| FV | AM | PB | G | CZ | FB | TA |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ES | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| TS | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| ES*TS | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** |
| CV (%) | 1,03 | 5,59 | 4,32 | 9,82 | 3,38 | 0,43 |
| Média Geral | 47,81 | 5,74 | 1,08 | 0,51 | 1,19 | 7,37 |

ES – Etapa de secagem, TS – Tempo de secagem, AM – Amido, PB – Proteína Bruta, G – Gordura, CZ – Cinzas, FB – Fibra Bruta, TA - Teor de água, **Significativo a 1% de probabilidade de erro (Pr<0,01), *Significativo a 5% de probabilidade de erro (Pr< 0,05), ^{ns}Não Significativo (Pr>0,05), ^{ns}Não Significativo (Pr>0,01).

Os resultados de regressão das variáveis físico-química foram apresentados na Figura 6. Entre 8 a 9 horas de secagem obteve-se redução de teores de água dos grãos de arroz próximos a 12% (b.u.) (Figura 6A). Nessas condições alcançou-se os melhores resultados de proteína bruta (Figura 6B), amido (Figura 6C), fibra bruta (Figura 6D), gordura (Figura 6E) e cinzas (Figura 6F), acompanhando os resultados das análises físicas (Figura 6). Os grãos amostrados na etapa de secagem apresentaram resultados levemente superiores à etapa de intermitência, porém o tempo de secagem foi o fator de maior influência para ambas as etapas de secagem. Os resultados indicam que a intermitência, apesar de atenuar os efeitos da secagem, ela eleva o tempo de complementação do processo. O aumento do tempo de secagem com a etapa de descanso dos grãos na câmara de intermitência acarretou em um acúmulo de energia (calor) na massa de grãos, elevando a temperatura dos grãos, o que pode ter sido fundamental para as perdas de qualidade física e físico-química do arroz polido.

O grau de polimento do arroz pode determinar a proporção de farelo e endosperma que é alterado. MONKS et al. (2013) examinaram os efeitos do grau de polimento (8-14%) na composição de ácidos graxos do arroz, a composição centesimal, o teor de amilose e as propriedades tecnológicas do arroz. Os resultados obtidos por eles mostraram que mesmo o menor grau de polimento ocasionou a diminuição no teor de ácido fólico, cinzas e gorduras, de aproximadamente 72%, 41% e 65% respectivamente. O teor de ácidos graxos também diminuiu com o polimento.

Figura 6 - Efeitos da secagem intermitente na qualidade físico-química do arroz polido.



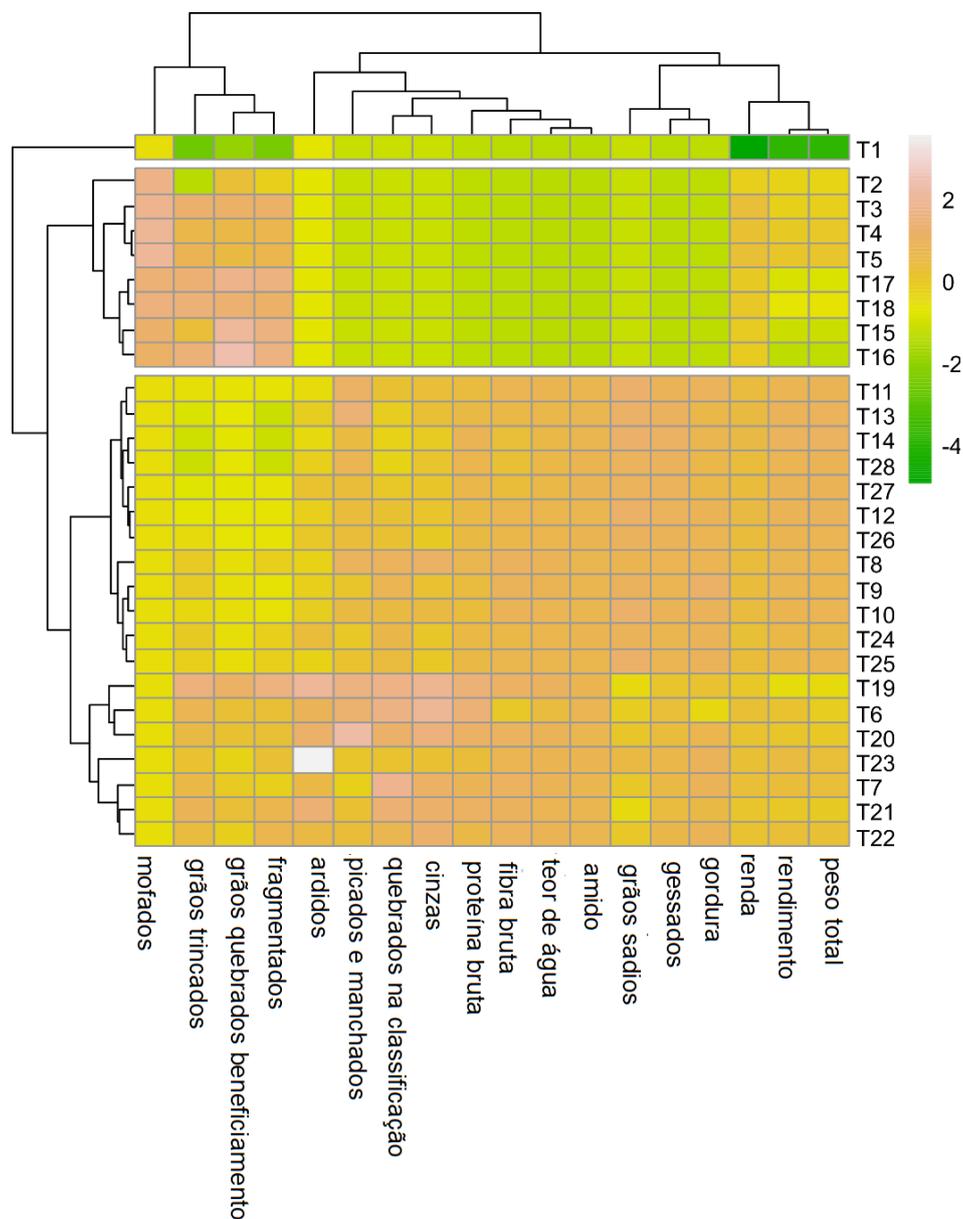
WANG et al. (2021) também avaliaram o efeito na qualidade físico-química de divergentes graus de polimento (0-12%) do arroz. Eles observaram que à medida que o grau de polimento era ampliado diminuía o rendimento, o teor de proteína, os lipídeos, as cinzas, as fibras, vitamina B1, vitamina E e niacina. Entretanto, o teor de amido e amilose aumentaram de forma não linear. O rendimento foi drasticamente diminuído conforme o grau de polimento passando de 62,13% para 33,16%

O estudo realizado por XU et al. (2021) testou o efeito do polimento nas propriedades do amido, utilizando arroz ceroso, polido em velocidades de (750, 950 e 1050 rotações por minuto) e tempo de duração de (20, 40 e 60 segundos). Eles observaram que conforme houve incremento na velocidade e no tempo de duração, aumentou o poder de intumescimento e o índice de solubilidade do amido com baixo e alto teor de amilose. O polimento também ocasionou no amido maior pseudoplasticidade.

6.4 Análises multivariadas

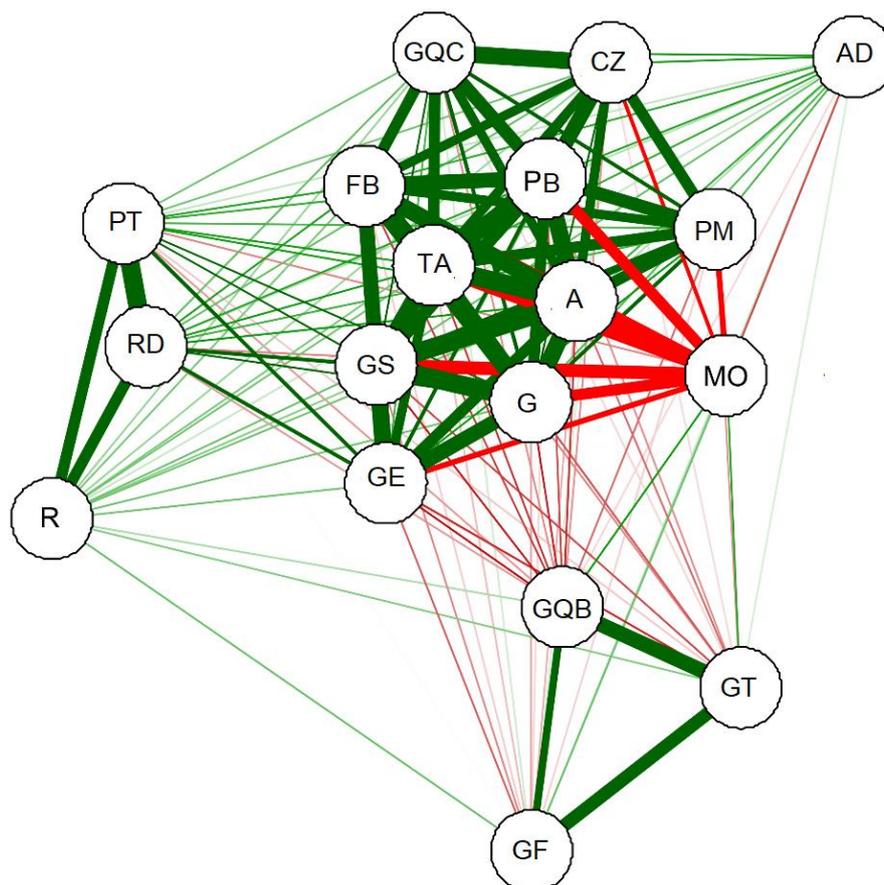
A Figura 7 apresenta o mapa de calor e demonstra a relação entre os fatores e as variáveis analisadas de qualidade do arroz polido. É possível observar que o grupo T1 (Etapa de intermitência e tempo de secagem de 1 hora) foi o que proporcionou as menores médias, para todas as variáveis avaliadas, constituindo um grupo isolado dos demais. O grupo 2 alocou os tratamentos associados aos menores tempo de secagem, que se destacaram pelas maiores médias de grãos mofados, grãos fragmentados, grãos quebrados no beneficiamento. O grupo 3 reuniu a maioria dos tratamentos avaliados, sobretudo aqueles relacionados aos maiores tempos de secagem. Esse grupo se caracterizou por apresentar as maiores médias para as variáveis, teores de água, peso total, grãos sadios, rendimento de grãos inteiros, grãos gessados, grãos ardidos, grãos trincados, cinzas, proteína bruta, fibra bruta, amido e gordura. Para as demais variáveis os valores foram intermediários.

Figura 7 - Mapa de calor representando a distância euclidiana para os tratamentos e as variáveis avaliadas na avaliação da qualidade do arroz polido.



Na Figura 8 está apresentada a rede de correlações de Pearson para as variáveis de qualidade avaliadas no arroz polido. Na fração central desta Figura está o grupo de variáveis altamente correlacionadas entre si e de forma positiva, ou seja, ligadas por linhas verdes espessas (GQC, FB, GE, GS, G, A, TA, PB, e CZ). A variável MO se correlaciona de forma negativa (linhas vermelhas espessas) com a maioria das variáveis desse grupo. As variáveis PT, RD e R (localizadas do lado esquerdo do gráfico) também estão correlacionadas de forma positiva e com alta magnitude. De forma similar, houve correlação positiva entre as variáveis GQB, GF e AD (localizadas do lado direito inferior).

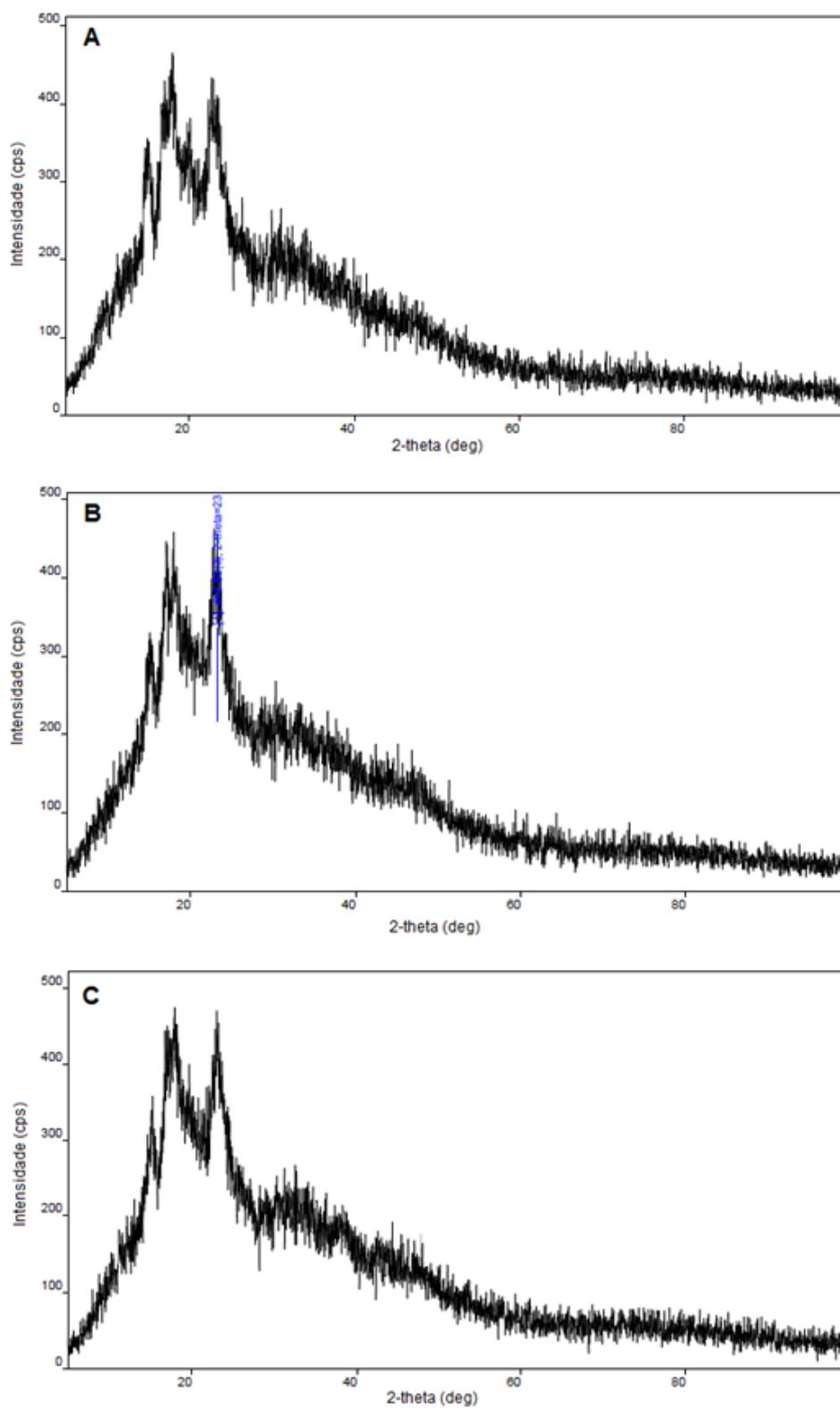
Figura 8 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis renda (R), rendimento (RD), grãos quebrados beneficiamento (GQB), grãos quebrados na classificação (GQC), grãos trincados (GT), grãos fragmentados (GF), peso total (PT), grãos sadios (GS), grãos ardidos (AD), grãos mofados (MO), grãos gessados (GE), grãos picados e manchados (PM), teor de água (TA), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), gordura (G), amido (A) e cinzas (CZ) avaliadas em arroz polido.



6.5 Análise de difratogramas de raios-X

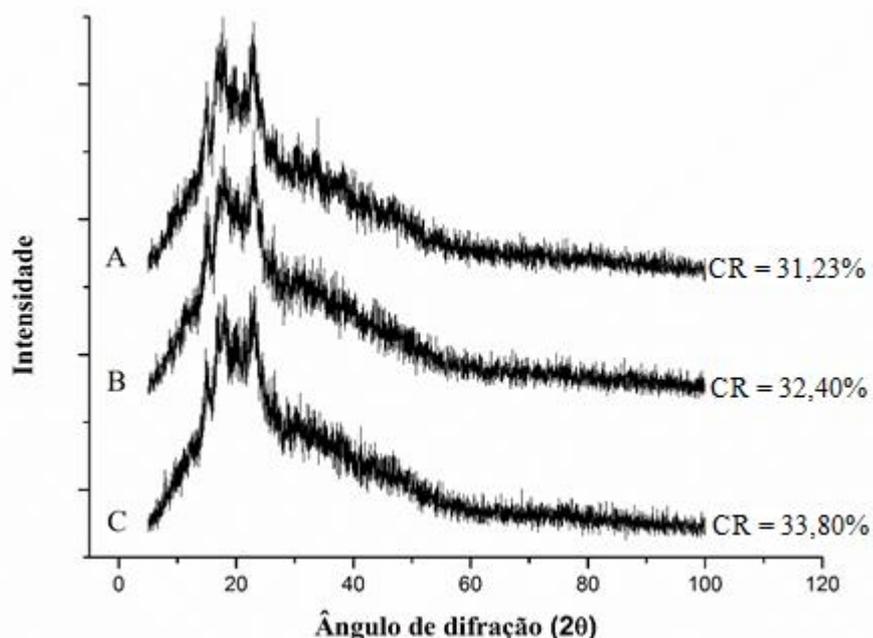
Os padrões de difração de raios-X obtidos a partir de amostras de arroz polido estão apresentados na Figura 9 e a cristalinidade relativa na Figura 10. Os padrões dos difratogramas de ambas as amostras indicaram uma estrutura semi-cristalina. Independentemente do tempo de secagem, os picos de difração observados em 2-theta apresentaram valores de 15°, 17°, 18°, 20° e 23°, indicando que o grânulo de amido do arroz exibe um padrão de tipo A, estrutura cristalina do amido, tipicamente encontrada em cereais.

Figura 9 - Difratoformas de raios-X das amostras de arroz polido. As letras A,B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem (zero a cinco horas), intermediária (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente.



Timm et al. (2020) verificaram redução da cristalinidade do arroz com o aumento da temperatura de secagem, atribuindo a possibilidade de ser em função da diminuição das cadeias de amilopectina, associada ao uso de tratamentos térmicos intensos (SITTIPOD e SHI, 2016) ou associada à remoção acelerada da água, resultando na retrogradação do amido. Outros trabalhos constataram a presença dos mesmos picos nos difratogramas obtidos, como Batista (2019) para dois genótipos de arroz, Ramos et al. (2019) para grãos de arroz com pericarpo vermelho e Ziegler et al. (2017) para arroz preto e vermelho. Os valores de cristalinidade relativa foram semelhantes ao encontrados por Batista (2019) (31,37% e 27,21%), entretanto, apesar dos picos encontrados nas mesmas regiões, valores mais baixos foram encontrados por Ramos et al. (2019), de 19,59% na secagem intermitente e por Ziegler et al. (2017) de 25,2%.

Figura 10 - Cristalinidade relativa do arroz polido. As letras A,B e C indicam as amostras coletadas nos tempos de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediário (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas), respectivamente.



Existem dois tipos de amido encontrados no arroz, a amilose que consiste predominantemente em cadeias lineares de unidades α -D-glicose, e a amilopectina que tem uma estrutura semelhante a uma árvore ramificada. A relação entre os teores de amilose e amilopectina afeta diretamente a gelatinização do amido,

alterando as propriedades físico-químicas dos cereais. Quaisquer alterações na estrutura dos grupamentos de ramos da amilopectina podem alterar a cristalinidade do amido e seu grau de expansão dos grânulos (YU et al., 2016; JUN et al., 2016).

As propriedades e a cristalização do amido exercem grande importância na qualidade tecnológica dos grãos de arroz. O conteúdo de amilose e a temperatura de gelatinização são testes indiretos de indicadores de qualidade, influenciando na textura, na capacidade de absorção de água, no tempo de cocção, na viscosidade e no aumento de volume.

Os teores de amilose, quando possuem concentração abaixo de 5%, são classificados como cerosos, entre 5-10% como teor de amilose muito baixo, entre 10-19% arroz com amilose baixa, entre 20-25% arroz com teor de amilose intermediária e acima de 25% com alto teor de amilose (GAYIN et al., 2015). Os grãos cerosos contêm principalmente amilopectina ramificada ou teor de amilose muito baixo, e devido a isso apresentam um endosperma farináceo e opaco devido à presença de espaços de ar entre os grânulos e também, após a cocção, tendem a perder a forma e apresentar consistência pegajosa. Ao contrário dos cerosos, os grãos não cerosos apresentam aparência translúcida e contêm amilose e amilopectina, mantendo sua forma após a cocção e apresentando consistência menos pegajosa (ZHU et al., 2019).

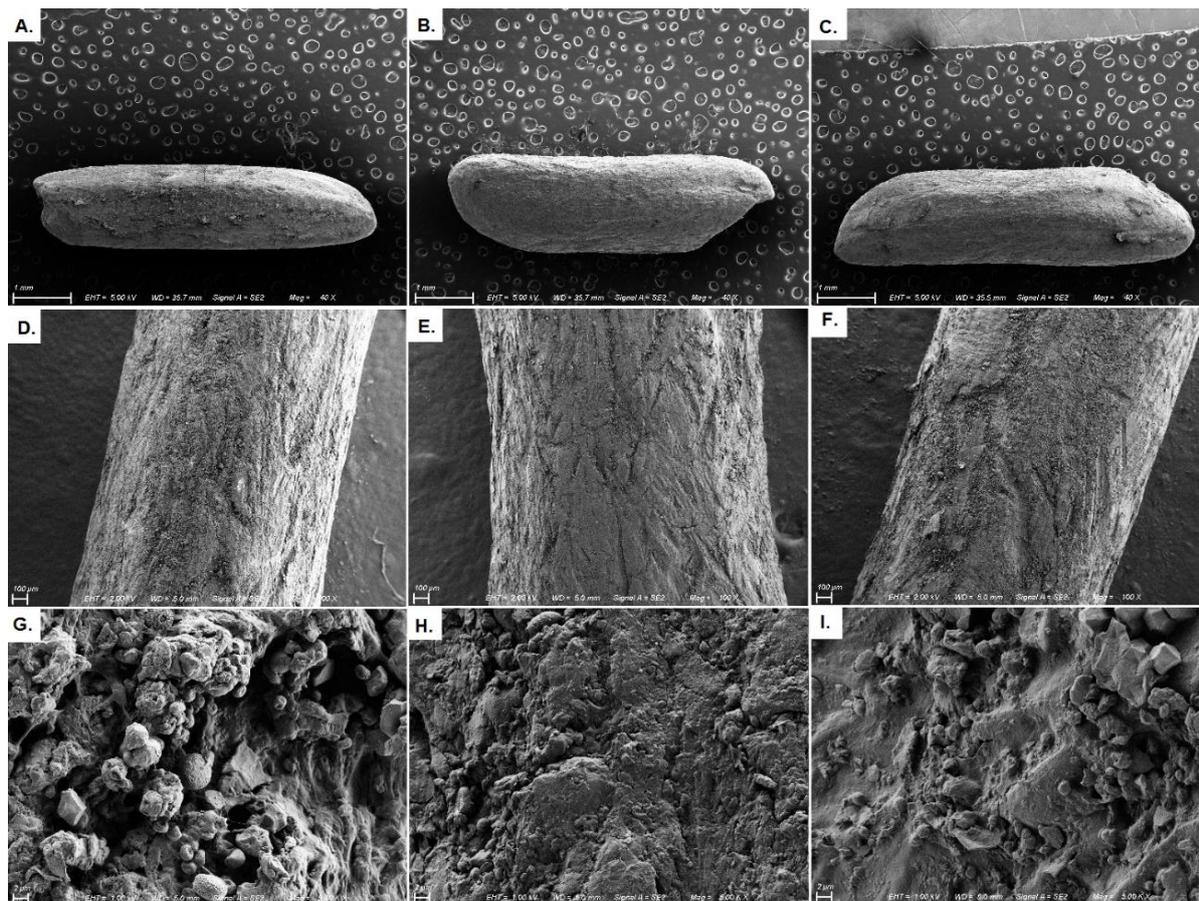
Os teores mais elevados de amilose são desejáveis, pois garantem grãos mais soltos e secos após o cozimento. A temperatura de gelatinização avalia a resistência do grão à cocção, estimada de forma indireta pela dispersão e clarificação dos grãos de arroz em solução alcalina. A temperatura de cocção deve variar entre 55-85 °C, sendo classificada com baixa entre 55-69,5 °C, intermediária entre 70-74 °C ou alta 74,5-80 °C. Valores mais elevados de temperatura de gelatinização necessitam maior tempo de cocção (FITZGERALD et al., 2009; ZHU et al., 2019).

6.6 Análises de microscopia eletrônica de varredura

Imagens de microscopia eletrônica de varredura do arroz integral nos tempos inicial, intermediário e final de secagem estão apresentadas na Figura 11. Nas micrografias observou-se que os grânulos de amido do arroz são poliédricos. Danos são visíveis na superfície das amostras, correspondentes ao tempo inicial e intermediário, mostrando uma superfície rugosa e uma estrutura alterada.

Entretanto, na amostra final verificou-se ruptura do pericarpo e deformações mais profundas no grão. Esse resultado pode ser atribuído ao tempo de secagem e a exposição da amostra à maior temperatura de secagem e menor teor de água.

Figura 11 - Microscopia eletrônica de varredura do arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas) (A, D, G), intermediária (cinco a dez horas) (B, E, H) e final (dez a quatorze horas) (C, F, I).



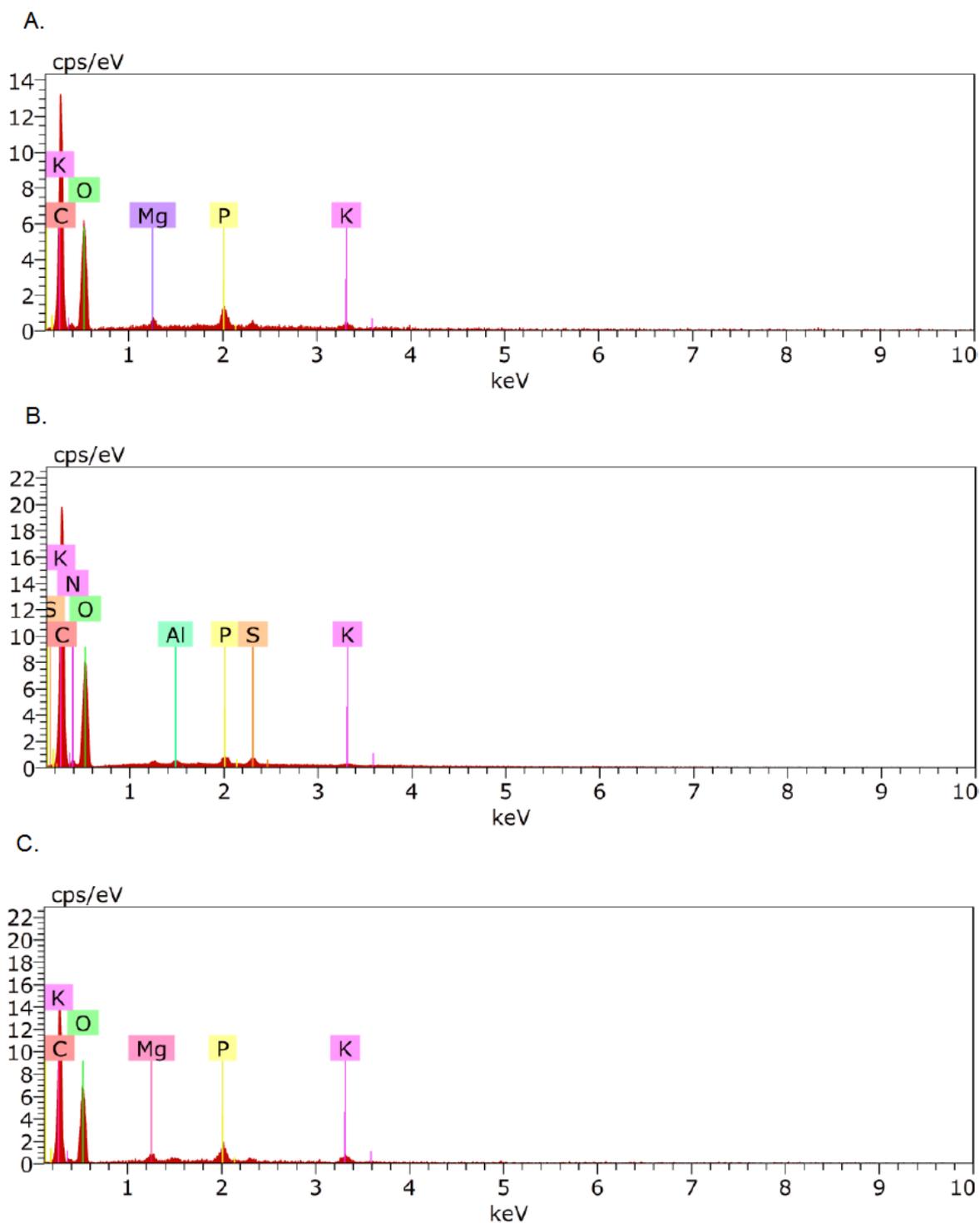
A qualidade físico-química está relacionada principalmente com o teor de amido, proteína, lipídeos e cinzas. Assim, os efeitos dos tratamentos térmicos sobre os grãos de arroz e o amido foram verificados também pela microscopia eletrônica de varredura (Figura 11). Singh et al. (2003) verificaram nas imagens que os endospermas translúcidos tem grânulos de amido poliédricos e compactos. Iguaz et al. (2006) verificaram que a secagem intermitente alterou a qualidade dos grãos de arroz. O efeito do número de ciclos da massa de grãos no secador influenciou na fissuração dos grãos.

A medida que ocorreu um incremento na temperatura aumentou a capacidade de evaporação do ar de secagem, bem como as fissuras nos grãos. Aquerreta et al. (2007) estudaram o efeito do ciclo de secagem em diferentes períodos de temperatura sobre a fissuração e rendimento de grãos inteiros de arroz. Eles concluíram que os percentuais de grãos fissurados diminuem quando a secagem é realizada em duas ou três etapas. Jiazheng et al. (2017) estudaram modelos de secagem e formação de tensões. Os autores relataram que durante a secagem duas zonas de estresse são formadas no grão, sendo que a superfície do grão pode receber tensão de tração de 7 MPa no final da secagem e o centro recebe compressão de 3,2 MPa ao mesmo tempo, podendo ser responsável pela formação de fissuras. Donlao et al. (2018) observaram através de imagens microscópicas a maior ocorrência de trincas perpendiculares ao eixo dos grãos de arroz em amostras submetidas a secagem com alta temperatura (115 °C).

Além do rendimento, outro defeito associado é o gessamento dos grãos, o qual torna opaco o endosperma do arroz. Devido a fatores adversos de clima, cultivo e secagem, o gessamento foi manifestado a partir do desarranjo molecular entre o amido e proteínas, formando espaços entre as moléculas que são preenchidas por ar. Os grãos gessados tendem a quebrar com maior facilidade, assim como alterar o sabor e textura do arroz reduzindo sua qualidade e valor de mercado (EDWARDS et al., 2017; ATUNGULU e SADAKA, 2019).

A composição química obtida através da espectroscopia de raio-X por dispersão de energia é apresentada na Figura 12. Verificou-se na Figura 12, que os percentuais de micronutrientes foram alterados conforme o aumento do tempo de secagem. Associados ao tempo de secagem observaram-se os efeitos provocados pelo beneficiamento sobre a qualidade físico-química dos grãos, principalmente em função do polimento. O polimento do arroz removeu as camadas onde estão o farelo e o germe, que são ricas em proteínas, fibras e gordura, alterando a aparência do arroz (TONG et al., 2019). Assim, embora o processo de polimento proporcione benefícios às propriedades físicas, sensoriais e conservantes do arroz (PAIVA et al., 2016), as propriedades nutricionais são diminuídas (Figura 11).

Figura 12 - Composição química de arroz polido em função dos processos dos efeitos cumulativos da secagem e intermitência no tempo de secagem inicial (zero a cinco horas), intermediária (cinco a dez horas) e final (dez a quatorze horas).



A espectroscopia de raio-X por dispersão de energia revelou presença de oxigênio, potássio e carbono na composição de todos tratamentos. A imagem revelou picos de energia intensos atribuídos às transições de energia de carbono e

oxigênio. Átomos de carbono e oxigênio são abundantemente encontrados em estruturas como celulose, hemicelulose e lignina.

Na composição da amostra do tempo inicial (Figura 12A) verificou-se a presença de sílica, magnésio e fósforo e no tempo intermediário (Figura 12B) somente sílica. O beneficiamento do arroz integral é responsável pela perda considerável de micro e macronutrientes do arroz, devido à maioria dos minerais estarem concentrados na camada de aleurona, removido parcialmente durante o processo. Tong et al. (2019) sugerem uma perda considerável de ferro e zinco devido ao beneficiamento dos grãos. Liu et al. (2017) observaram perdas dos elementos selênio, magnésio, manganês e chumbo.

7. CONCLUSÕES

A etapa de intermitência prolongou o tempo de secagem do arroz em casca, sendo o fator determinante para a qualidade dos grãos.

Os efeitos cumulativos do tempo de secagem-intermitência influenciaram na temperatura da massa de grãos de arroz em casca e na qualidade física, físico-química e morfológica do arroz polido.

8. REFERÊNCIAS

ABAYAWICKRAMA, A. S. M. T.; REINKE, R. F.; FITZGERALD, B. D. HARPER, J. D. I. BURROWS, G. E. Influence of high daytime temperature during the grain filling stage on fissure formation in rice. **Journal of Cereal Science**, v.74, p. 256-262, 2017.

ALLAHGHOLIPOUR, M.; ALI, A. J.; ALINIA, F.; NAGAMINE, T. AND KOJIMA, Y. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. **Plant Breeding**, v.125, p.357-362, 2006.

ANTUGULU, G. G.; PAN, Z. Rice industrial processing worldwide and impact on macro- and micronutrient content, stability, and retention. **Ann. N.Y. Acad. Sci.**, v.1324, p.15–28, 2014.

ANTUNGULU, G. G.; SADAKA, S. Postharvest technology: rice drying. In: BAO, J.S. **Rice chemistry and technology**. Duxford, UK, 2019, v. 4, p. 473-515, 2019.

ANTUNGULU, G. G.; KOLB, R. E.; KARCHER, J.; SHAD, Z. M. Postharvest technology: rice storage and cooling conservation. In: BAO, J.S. **Rice chemistry and technology**. Duxford, UK, 2019, v. 4, p. 517-555.

AQUERRETA, J.; IGUAZ, A.; ARROQUI, C.; VÍRSEDA, P. Effect of high temperature intermittent drying and tempering on rough rice quality. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 611–618, 2007.

ASSAR, M.; GOLMOHAMMADI, M.; HAMANEH1, M. R.; HASSANKIADEH, M. N. A Combined Experimental and Theoretical Approach to Study Temperature and Moisture Dynamic Characteristics of Intermittent Paddy Rice Drying. **Chemical Engineering Communications**, v. 203, p.1242–1250, 2016.

ANTUNGULU, G. G.; SADAKA, S. Postharvest technology: rice drying. In: BAO, J.S. **Rice chemistry and technology**. Duxford, UK, 2019, v. 4, p. 473-515, 2019.

ANTUNGULU, G. G.; KOLB, R. E.; KARCHER, J.; SHAD, Z. M. Postharvest technology: rice storage and cooling conservation. In: BAO, J.S. **Rice chemistry and technology**. Duxford, UK, 2019, v. 4, p. 517-555.

BATISTA, C. S. **Desenvolvimento de arroz integral de cozimento rápido: propriedades físico-químicas, tecnológicas e digestibilidade do amido**. 2019. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

BERTOTTO, M. M.; GASTÓN, A.; SARMIENTO, G. S.; GOVE, B. Effect of drying conditions on the quality of IRGA 424 rice. **J. Sci. Food Agric.**, v.99, p.1651–1659, 2018.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio. Brasil 2019/20 a 2029/30 Projeções de Longo Prazo. 11ª edição, DF: MAPA, 2020.

BUGGENHOUT, J.; BRIJS, K. L.; CELUS, J. DELCOUR, A. The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 304–315, 2013.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2018/2019. 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica da Capacidade Estática. 2020. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/armazenagem/serie-historica-da-armazenagem>>. Acesso em 25 de março de 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas /Organizadores Paulo Cláudio Machado Júnior e Stelito Assis dos Reis Neto. – Brasília, DF: Conab, 2021a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 6, sexto levantamento, mar. 2021b.

CORADI, P.C.; LEMES, A. F. C. Experimental prototype of silo-dryer-aerator of grains using Computational Fluid Dynamics (CFD) system. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 41, 2020.

CORADI, P. C., OLIVEIRA, M. B., CARNEIRO, L. O., SOUZA, G. A. C., CARDOSO, M. E., BRACKMANN, A., & TEODORO, P. E. Technological and sustainable

strategies for reducing losses and maintaining the quality of soybean grains in real production scale storage units. **Journal of Stored Products Research**, v.87, 2020.

CUSTÓDIO, M. C.; CUEVAS, R. P.; YNION, J.; LABORTE, A. G.; VELASCO, M. L.; DEMONT, M. Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and Geneticists?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p.122–137, 2019.

DANG, J. M. C.; COPELAND, L. Studies of the fracture surface of rice grains using environmental scanning electron Microscopy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p.707–713, 2004.

DONLAO, N.; MATSUSHITA, Y.; OGAWA, Y. Influence of postharvest drying conditions on resistant starch content and quality of non-waxy long-grain rice. **Drying Technology**, v. 36, n. 8, p. 952-964, 2018.

DONG, R.; LU, Z.; LIU Z.; NISHIYAMA, Y.; CAO, W. Moisture distribution in a rice kernel during tempering drying. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p.126–132, 2010.

EDWARDS, J. D.; JACKSON, A. K.; MCCLUNG, A. M. Genetic architecture of grain chalk in rice and interactions with a low phytic acid locus. **Field Crops Research**, v.205, p.116-123, 2017.

ELIAS, M. C. Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade. 1ª ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPEL, v.1, 424 p, 2007.

FITZGERALD, M. A.; MCCOUCH, S. R.; HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in plant science**, v.14, p.133-139, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Rice liberalization: predicting trade and price impacts**. Disponível em <<http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/en/>>. Acesso em: 25 de mar. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO), WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Agricultural perspectives**. OCDE-FAO. Disponível em <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/992186/>>. Acesso em: 8 de abr. 2021.

FRANCO, C. M. R.; LIMA, A. G. B.; FARIAS, V. S. Modeling and experimentation of continuous and intermittent drying of rough rice grains. **Heat Mass Transfer**, v.56, p.1003–1014, 2020.

FRANCO, C. M. R.; LIMA, A. G. B.; FARIAS, V. S. O.; SILVA, W. P. Modeling and experimentation of continuous and intermittent drying of rough rice grains. **Heat and Mass Transfer**, v. 56, p. 1003-1014, 2019.

GHASEMI, A.; SADEGUI, M.; MIREEI, S. A. Multi-stage intermittent drying of rough rice in terms of tempering and stress cracking indices and moisture gradients interpretation. **Drying Technology**, v. 36, p. 109-117, 2017.

GAYIN, J.; ABDEL-AAL, E. S. M.; MANFUL, J.; BERTOFT, E.; MARCONE, M.; RAGAEI, S. Physical, cooking and thermal properties of African rice (*Oryza glaberrima*) and its starch digestibility in vitro. **LWT-Food Science and Technology**, v.75, p. 481-487, 2017.

HAMPEL, N.; LE, K. H.; KHARAGHANIA, A.; TSOTSAS, E. Continuous modeling of superheated steam drying of single rice grains. **Drying Technology**, v. 37, n. 12, p.1583–1596, 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Estatística da Produção Agrícola. Jan de 2020a.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de estoque. Rio de Janeiro, n. 1, p. 1-17, jan./jun. 2020b.

IGUAZ, A.; RODRÍGUEZ, M.; VÍRSEDA, P. Influence of handling and processing of rough rice on fissures and head rice yields. **Journal of Food Engineering**, Vol. 77, n. 4, p. 803-809, 2006.

INPRASIT, C.; NOOMHORM, A. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. **Drying Technol.**, v.19, n.2, p.389–404, 2001.

JUN, L. X.; XIN, W.; YANG, L.; PING, J.; HUI, L. Changes in moisture effective diffusivity and glass transition temperature of paddy during drying. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.128, p.112–119, 2016.

JIAZHENG, W.; ZHANG, H.; LI, F. A study on drying models and internal stresses of the rice kernel during infrared drying. **Drying Technology**, v. 35, n. 6, p. 680-688, 2017.

KUMAR, C.; KARIM, M. A.; JOARDDER, M. U. H. Intermittent drying of food products: A critical review. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 48 – 57, 2014.

KUO, T. Z.; CHUNG, C. L.; CHEN, C. Y.; LIN, H. A.; KUO, Y. F. Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p.716–725, 2016.

LANG, G. H.; LINDEMANN, I. S.; FERREIRA, C. D.; HOFFMANN, J. F.; VANIER, N. L.; OLIVEIRA, M de. Effects of drying temperature and long-term storage conditions on black rice phenolic compounds. **Food Chemistry**, 287: 197–204, 2019.

LANG, G. H.; LINDEMANN, I. S.; GOEBEL, J. T.; FERREIRA, C. D.; ACUNHA, T. S. OLIVEIRA, M de. Fluidized-bed drying of black rice grains: Impact on cooking properties, in vitro starch digestibility, and bioaccessibility of phenolic compounds. **Journal of Food Science**. Vol. 85, Iss. 6, 2019.

LIU, K. L.; LI, Y.; CHEN, F. S.; YOUNG, F. Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 188-195, 2017.

MALDANER, V.; CORADI, P. C.; NUNES, M. T.; MÜLLER, A.; CARNEIRO, L. O.; TEODORO, P. E.; TEODORO, L. P. R.; BRESSEANI, J.; ANSCHAU, K. F.; MULLER, E. I. Effects of intermittent drying on physicochemical and morphological quality of rice and endosperm of milled brown rice. **LWT-Food Science and Technology**, 8, 112334, 2021.

MEDINA, M. B.; MUNITZ, M. S.; RESNIK, S. L. Fate and health risks assessment of some pesticides residues during industrial rice processing in Argentina. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.98, p. 1-9, 2021.

MENEGHETTI, V.L.; AOSANI, E.; ROCHA, J.C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C.; POHNDORF, R.S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1115-1120, 2012.

MENEZES, N. L.; PASQUALLI, L. L.; BARBIERI, A. N.; VIDAL, M. D.; CONCEIÇÃO, G. D. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de sementes de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 430-436, 2012.

MISHRA, P.; ANGILERI, M.; WOLTERING, E. Identifying the best rice physical form for non-destructive prediction of protein content utilising near-infrared spectroscopy to support digital phenotyping. **Infrared Physics & Technology**, v. 116, 2021.

MITTAL, S.; DUTTA, M. K.; ISSAC, A. Non-destructive image processing based system for assessment of rice quality and defects for classification according to inferred commercial value. **Measurement**, v.148, 2019.

MOHAMMAD, F. D.; GOLMOHAMMADI, M.; POURJAMSHIDIAN, R.; HAMANEH, M. R.; HASHEMI, S. J. On the Characteristics of Thin-Layer Drying Models for Intermittent Drying of Rough Rice. **Chemical Engineering Communications**, v. 202, p.1024–1035, 2015.

MONKS, J, L, F.; VANIER, N. L.; CASARIL, J.; BERTO, R. M.; OLIVEIRA, M.; GOMES, C. B.; CARVALHO, M. C.; DIAS, A. R.; ELIAS, M. C. Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.30, p. 73–79, 2013.

MORTEZA, G.; MOHAMMAD, F. D.; MEHDI, R. H.; REZA, A. S.; JALALEDDIN, H. S. Study on Drying Kinetics of Paddy Rice: Intermittent Drying. **Iran. J. Chem. Chem. Eng.**, v. 35, n. 3, p. 105-117, 2016.

NALDI, M.C; CAMPELLO, R.J.; HRUSCHKA, E.R.; CARVALHO, A.C.P.L.F. Efficiency issues of evolutionary k-means. **Applied Soft Computing**, v.11, p.1938-1952, 2014.

PAIVA, F. F.; VANIER, N. L.; BERRIOS, J. D.; 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.

PEREIRA, J. C. A.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. de.; MELO, B. A.; SANTIAGO, A. M.; LIMA, A. G. B.; MACEDO, A. D. B. Continuous and Intermittent Drying of Rough Rice: Effects on Process Effective Time and Effective Mass Diffusivity. **Agriculture**, v.10, p.282-295, 2020.

PURHAGEN, J.; LOOSME, R.; WIHLBORG, N.; FJÄLLSTRÖM, J.; ÅBERG, P.; ANDRÉN, H.; WIHLBORG, G.; MIKAELSSON, T.; LAGERHOLM, M.; LINDWALL, F. PaddyCheck—An Instrument for Rice Quality Determination. **Instruments**, v. 2, p. 11–21, 2018.

PRIETTO, A. L.; MORAES, P. S.; KRAUS, R. B.; MENEGHETTI, V.; FAGUNDES, C. A. A.; FURLONG, E. B. Post-harvest operations and aflatoxin levels in rice (*Oryza sativa*). **Crop Protection**, v. 78, p. 172-177, 2015.

RAMOS, A. H.; ROCKENBACH, B. A.; FERREIRA, C. D.; GUTKOSKI, L. C.; OLIVEIRA, M. Characteristics of Flour and Starch Isolated from Red Rice Subjected to Different Drying Conditions. **Starch - Stärke**, v. 71, p.1-8, 2019.

SCARIOT, M. A.; KARLINSKI, L.; DIONELLO, R. G.; RADÜNZ, A. L.; RADÜNZ, L. L. Effect of drying air temperature and storage on industrial and chemical quality of rice grains. **Journal of Stored Products Research**, v.89, 2020.

SETYANINGSIH, W.; HIDAYAH, N.; SAPUTRO, I. E.; PALMA, M.; BARROSO, C. G. Profile of phenolic compounds in Indonesian rice (*Oryza sativa*) varieties throughout post-harvest practices. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.54, p. 55-62, 2016.

SIGH, N.; SODHI, N. S.; KAUR, M.; SAXENDA, S. K. Physicochemical, morphological, thermal, culinary and textural properties of floury and translucent rice grains. **Food Chem**, v.82, p.433-439, 2003.

SINGH, V.; BURGOS, N. R.; SINGH, S.; GEALY, D. R.; GBURC, E. E.; CAICEDO, A. L. Impact of volunteer rice infestation on yield and grain quality of rice. **Pest Manag Sci**, v. 73, p. 604–615, 2017.

SITTIPOD, S.; SHI, Y. C. Changes of starch during parboiling of rice kernels. **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 238-244, 2016.

TAGHINEZHAD, E.; SZUMNY, A.; KAYEH, M.; SHARABIANI, V. R.; KUMAR, A.; SCHIMIZU, N. Parboiled Paddy Drying with Different Dryers: Thermodynamic and Quality Properties, Mathematical Modeling Using ANNs Assessment. **Foods**, v. 9, n. 86; p. 1-17, 2020.

TIMM, N. S.; LANG, G. H.; FERREIRA, C. D.; POHNDORF, R. S.; OLIVEIRA, M. Infrared radiation drying of parboiled rice: influence os temperature and grain bed depth in quality aspects. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 4, 2020.

TONG, C.; GAO, H.; LUO, S.; LIU, L.; BAO, J. Impact of postharvest operations on rice grain quality: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v.18, p.626-640, 2020.

TRAN K.; WITT, T.; GIDLEY, M.; FITZGERALD, M. Accounting for the effect of degree of milling on rice protein extraction in na industrial setting. **Food Chemistry** v.253, p. 221–226, 2018.

USDA - United states department of agriculture. Rice Outlook monthly tables, in excel format, can be found on the Rice Outlook report page on USDA's Economic Research Service website. 2022. Disponivel em <<https://www.ers.usda.gov/topics/crops/rice/rice-sector-at-a-glance/#Global>>. Acesso em: 01 de Jan. de 2022.

WANG, P.; LI, D.; WANG, L. J.; ADHIKARI, B. Effect of High Temperature Intermittent Drying on Rice Seed Viability and Vigor. **International Journal of Food Engineering**. v.16, p. 1-9, 2017.

WANG, Z.; ZHANG, M.; LIU, G.; DENG, Y.; ZHANG, Y.; TANG, X.; LI, P.; WEI, Z. Effect of the degree of milling on the physicochemical properties, pasting properties and in vitro digestibility of Simiaomi rice. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 4, n.2, p. 45-53, 2021.

WONGPORNCHAI, S.; DUMRI, K.; JONGKAEWWATTANA, S.; SIRRI, B. Effects of drying methods and storage time on the aroma and milling quality of rice (*Oryza sativa* L.). **Food Chem.**, v.87, n.3, p.407–414, 2004.

YAMAKAWA, H.; HIROSE, T.; KURODA, M.; YAMAGUCHI, T. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. **Plant Physiol**, v.144, p.258–277, 2007.

YUN, P.; ZHU, Y.; WU, B.; GAO, G.; SUN, P.; ZHANG, Q.; He, Y. Genetic mapping and confirmation of quantitative trait loci for grain chalkiness in rice. **Mol Breeding**, v. 36, p. 162-170, 2016.

XU, Z.; XU, Y.; CHEN, X.; ZHANG, L.; LI, H.; SUI, Z.; CORKE, H. Polishing conditions in rice milling differentially affect the physicochemical properties of waxy, low- and high-amylose rice starch. **Journal of Cereal Science**, v.99, p. 11-19, 2021.

ZIEGLER, V., Ferreira, C.D., GOEBEL, J.T.S., El Halal, S.L.M., SANTETTI, G.S., GUTKOSKI, L.C., ZAVAREZA, E.R., ELIAS, M.C. Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures. **Food Chem**, v.216, p.194-200, 2017.

ZIEGLER, V.; PARAGINKI, R. T.; FERREIRA, C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - A review. **Journal of Stored Products Research**, v.91 p. 101-110, 2021.

ZHENG, D. L., TIAN, Z. X., RAO, Y. C., DONG, G. J., YANG, Y. L., HUANG, L. H. Rational design of high-yield and superior-quality rice. **Nature Plants**, v.3, 2017.

ZHANG, C.; Zhou, L.; LU, Y.; YANG, Y.; FENG, L.; HAO, W.; LI, Q.; FAN, X.; ZHAO, D.; LIU, Q. Changes in the physicochemical properties and starch structures of rice grains upon pre-harvest sprouting. **Carbohydrate Polymers**, 234, 2020.

ZHU, D.; QUIAN, Z.; WEI, H.; GUO, B.; XU, K.; DAI, Q.; ZHANG, H.; HUO, Z. The effects of field pre-harvest sprouting on the morphological structure and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) starch. **Food Chemistry**, v. 278, p. 10–16, 2019.