

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

Amanda Müller

**INFLUÊNCIA DO MANEJO DE PRODUÇÃO E DO BENEFICIAMENTO
NA QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL**

**Santa Maria, RS, Brasil
2021**

Amanda Müller

**INFLUÊNCIA DO MANEJO DE PRODUÇÃO E DO BENEFICIAMENTO NA
QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestra em Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Santa Maria, RS, Brasil
2021

Müller, Amanda
INFLUÊNCIA DO MANEJO DE PRODUÇÃO E DO BENEFICIAMENTO
NA QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL / Amanda Müller.-
2021.
52 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Carteri Coradi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2021

1. A CULTURA DO ARROZ 2. PRODUÇÃO DO ARROZ 3. PÓS
COLHEITA DO ARROZ 4. QUALIDADE DO ARROZ BENEFICIADO 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.

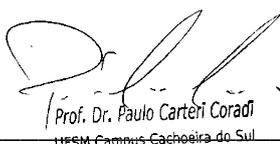
Declaro, AMANDA MÜLLER, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que 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.

Amanda Müller

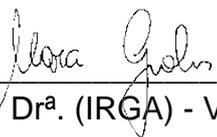
**INFLUÊNCIA DO MANEJO DE PRODUÇÃO E DO BENEFICIAMENTO NA
QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção ao grau de **Mestra em Engenharia Agrícola**.

Aprovado em 31 de agosto de 2021



UFSM Campus Cachoeira do Sul
SIAPE 995492
Paulo Carteri Coradi, Prof. Dr. (UFSM-CS)
(Presidente/Orientador) - Videoconferência



Mara Grohs, Dr^a. (IRGA) - Videoconferência



Valdiney Cambuy Siqueira, Prof. Dr. (UFGD) - Videoconferência

Santa Maria, RS, Brasil
2021

DEDICATÓRIA

À Deus e à minha família que me fortaleceram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sem Ele nada seria possível.

A Universidade Federal de Santa Maria.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico), FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) pelo apoio financeiro.

Ao Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS-UFSM) e Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) pela disponibilidade na realização dos experimentos.

Ao meu orientador, professor Paulo Carteri Coradi pelas oportunidades, orientações, ensinamentos e confiança depositados em mim ao longo de toda graduação e pós-graduação.

Aos colegas e amigos por toda ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores pelo ensino e formação ao longo do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Aos meus pais pelos ensinamentos, carinho, apoio e compreensão nesses anos dedicados ao conhecimento.

A todos aqueles que estão ao meu lado e que são essências em toda minha caminhada.

EPÍGRAFE

*Não é no silêncio que os homens
se fazem, mas na palavra, no
trabalho, na ação-reflexão.*

(Paulo Freire)

RESUMO

INFLUÊNCIA DO MANEJO DE PRODUÇÃO E DO BENEFICIAMENTO NA QUALIDADE DO ARROZ POLIDO E INTEGRAL

AUTORA: AMANDA MÜLLER
ORIENTADOR: PAULO CARTERI CORADI

O arroz é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo e o aumento da produtividade da cultura está associado ao uso de cultivares de alta tecnologia e aos manejos realizados, como a adubação do solo. Desta forma, objetivou-se com o trabalho avaliar a qualidade física e físico-química de grãos de arroz de duas cultivares IRGA 424 RI e IRGA 431 CL, cultivadas sob o manejo de diferentes níveis de adubação (testemunha, baixo, médio e alto) e submetidas a diferentes condições de beneficiamento (integral e polido). O experimento foi realizado na área experimental de pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), localizado em Cachoeira do Sul, RS, durante a safra 2017/18, em parceria com o Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal Santa Maria (UFSM), Campus de Cachoeira do Sul (CS). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, (2x4x2): duas cultivares (CL) de grãos de arroz, quatro níveis de adubação (NA) e dois tipos de beneficiamento (BF). Após a colheita, os grãos foram submetidos ao processo de descascamento, para obtenção do arroz integral, e descascamento e polimento para obtenção do arroz polido. A análise da qualidade física foi realizada de acordo com as normas de classificação física do arroz. A análise de físico-química foi realizada utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-X. Concluiu-se que houve influência do tipo de cultivar de arroz, dos níveis de adubação e dos tipos de beneficiamento sobre a qualidade física e físico-química dos grãos. IRGA 431 CL cultivada com altos níveis de adubação produziu grãos de arroz com alta qualidade. O arroz integral obteve os maiores percentuais de grãos inteiros, índice de dureza e resistência à quebra dos grãos, e entre as cultivares, a IRGA 431 CL teve melhor resultado. O arroz polido obteve os maiores percentuais de grãos quebrados. Com o aumento do nível de adubação observou-se maior rendimento dos grãos inteiros para todos os tratamentos.

Palavras chave: *Oryza sativa* L; pós-colheita; cultivares; adubação; processamento; qualidade físico-química; rendimento.

ABSTRACT

INFLUENCE OF MANAGEMENT OF PRODUCTION AND PROCESSING ON THE QUALITY OF POLISHED AND INTEGRAL

AUTHOR: AMANDA MÜLLER
ADVISOR: PAULO CARTERI CORADI

Rice is one of the most cultivated and consumed cereals in the world and the increase in crop productivity is associated with the use of high-tech cultivars and management practices, such as soil fertilization. Thus, the objective of this work was to evaluate the physical and physicochemical quality of rice grains of two cultivars IRGA 424 RI and IRGA 431 CL, cultivated under the management of different levels of fertilization (control, low, medium and high) and subjected to different processing conditions (whole and polished). The experiment was carried out in the experimental research area of the Rio Grandense do Arroz Institute (IRGA), located in Cachoeira do Sul, RS, during the 2017/18 harvest, in partnership with the Post-Harvest Laboratory (LAPOS) of the Federal University of Santa Catarina Maria (UFSC), Cachoeira do Sul Campus (CS). The experiment was carried out in a completely randomized design (2x4x2): two cultivars (CL) of rice grains, four levels of fertilization (NA) and two types of processing (BF). After harvesting, the grains were subjected to the process of husking to obtain brown rice, and husking and polishing to obtain polished rice. The physical quality analysis was performed according to the rice physical classification norms. The physicochemical analysis was performed using near infrared spectroscopy (NIR), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction. It was concluded that there was an influence of the type of rice cultivar, the levels of fertilization and the types of processing on the physical and physicochemical quality of the grains. IRGA 431 CL cultivated with high levels of fertilization produced high quality rice grains. Brown rice had the highest percentage of whole grains, hardness index and resistance to grain breakage, and among the cultivars, IRGA 431 CL had the best result. Polished rice had the highest percentage of broken grains. With the increase in the level of fertilization, a higher whole grain yield was observed for all treatments.

Keywords: *Oryza sativa* L; post-harvest; cultivars; fertilizing; processing; physico-chemical quality; yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do grão de arroz.....	15
Figura 2 - Fluxograma das operações de pós-colheita de grãos de arroz.....	18
CAPÍTULO 1	
Figura 1 - Caracterização da área experimental.....	28
Figura 2 - Esquema de produção, colheita, secagem, beneficiamento e determinação da qualidade do arroz.....	29
Figura 3 - Biplot para cargas fatoriais de PC1 e PC2 relacionadas às variáveis físicas e físico-químicas e rede de correlações de Pearson.....	39
Figura 4 - Imagens MEV de grãos de arroz de diferentes níveis de adubação em diferentes ampliações.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites máximos de tolerância de defeitos em grãos de arroz integrais e polidos expressos em %/peso.....	21
---	----

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Análise de variância da qualidade físico-química dos grãos de arroz.....	33
Tabela 2 - Avaliação da qualidade física dos grãos de arroz segundo níveis de adubação, cultivares e tipo de beneficiamento.....	34
Tabela 3 - Qualidade físico-química dos grãos de arroz em função dos níveis de adubação, cultivares e tipo de beneficiamento.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3	HIPÓTESES	12
4	REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1	A CULTURA DO ARROZ.....	13
4.2	PRODUÇÃO DO ARROZ	15
4.3	PÓS-COLHEITA DO ARROZ	18
4.4	QUALIDADE DO ARROZ BENEFICIADO	20
5	CAPÍTULO 1.....	25
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L) é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo. Em 2020 foi o segundo cereal mais cultivado no mundo, com área de aproximadamente 163 milhões de hectares. Considerado um alimento importante na dieta de grande parte da população, o arroz corresponde a 29% do total de grãos usados para este fim. Antes de beneficiado o grão de arroz é formado pela casca e pela cariopse, que é formada pelas camadas de pericarpo, tegumento e aleurona. O grão beneficiado é constituído principalmente por amido, porém conta também com quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras, cinzas e outros importantes micronutrientes. No entanto, a composição do grão pode ser influenciada pelas diferenças varietais, pelas variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (ZHOU et al.,2002; SUBEDI et al., 2018).

Para o desenvolvimento e crescimento, as plantas de arroz precisam de nutrientes essenciais, que são divididos em dois grupos principais: macronutrientes e micronutrientes. O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para a cultura, juntamente com o fósforo e o potássio, ele constitui-se como elemento fundamental para o crescimento de colmos, raízes e folhas, aumentando o número de perfilhos, o tamanho da panícula e do grão. A distribuição escalonada dos fertilizantes no solo, combinada com a dose ideal, determinada a partir das características do solo e da expectativa de produção, pode aumentar de modo considerável a efetividade dos fertilizantes, onde as principais consequências são o maior rendimento e qualidade dos grãos (YOUSAF et al., 2017).

Além das práticas de manejo, as características específicas de cada cultivar influenciam na qualidade dos grãos. Grande parte das cultivares de arroz utilizadas no Brasil apresentam grãos da classe longo-fino. Elas diferem entre si quanto as características agronômicas, culinárias e nutricionais. A cultivar IRGA 424 RI, desenvolvida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), é a mais produzida no estado do Rio Grande do Sul. Ela apresenta alto potencial produtivo, 68% de renda no beneficiamento e 63% de rendimento dos grãos inteiros. A cultivar IRGA 431 CL, lançada em 2018 pela mesma instituição, terceira cultivar mais usada no estado, também apresenta alto potencial produtivo e excelente qualidade de grãos. Ambas as cultivares apresentam expectativa de resposta à adubação muito alta (IRGA, 2019; GROHS et al., 2019).

Da mesma maneira que a cultivar e o manejo de adubação, os processos pós-colheita do arroz também são fundamentais para a qualidade dos grãos. O primeiro processo pós-colheita realizado é o de pré-limpeza, que tem como objetivo separar os grãos de arroz em casca de materiais estranhos, como palha, restos culturais, pedras, entre outros. Em sequência, o processo de secagem compreende na redução do teor de água dos grãos a níveis que permitam sua preservação segura e sua estabilidade. O teor de água nos grãos na colheita é elevado, entre 18% e 23%, sendo necessário, através da secagem, reduzir para 13% (SUBEDI et al., 2018). Após a secagem, os grãos de arroz podem ser encaminhados diretamente para o beneficiamento ou ainda permanecerem um período armazenados.

No beneficiamento, os grãos de arroz são submetidos as etapas de descascamento para obtenção do arroz integral ou as etapas de descascamento, brunimento e polimento para obtenção do arroz branco. As operações de brunimento e polimento são responsáveis pela redução no teor de nutrientes e pelo aumento do número de grãos quebrados. O arroz integral, por ter a camada externa do grão preservada, apresenta maior conteúdo de proteínas, fibras, lipídios, cinza, vitaminas e minerais, e valor nutritivo superior ao branco polido (SUBEDI et al., 2018). Por outro lado, com o aumento do polimento, a dureza e o tempo de cozimento do arroz diminuem, enquanto a brancura e a atividade do amido no arroz cozido aumentam (LI et al., 2021).

A qualidade de grãos de arroz reúne atributos físicos, químicos e culinários. Para a classificação final, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) conta com legislações para classificação física do arroz, que classifica o arroz em cinco tipos, de acordo com o número e tipo de defeitos. O método convencional de classificação de qualidade é realizado de forma manual, onde mesmo realizado por pessoas treinadas, apresenta um risco relativamente alto de erro humano. Neste sentido, os métodos automatizados de avaliação, através da análise de imagens obtidas por técnicas como o microscópio eletrônico de varredura, raio-X e espectroscópio, examinam a estrutura externa, onde são determinados volume, massa, cor, textura e danos, e/ou a estrutura interna do grão, para determinar a composição do grão (SALDAÑA et al., 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se nesse trabalho avaliar a qualidade física e físico-química de grãos de arroz de duas cultivares, cultivadas sob o manejo de diferentes níveis de adubação e submetidas a diferentes condições de beneficiamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Comparar as cultivares quanto à qualidade física e físico-química dos grãos;
- ✓ Avaliar a influência do manejo de adubação na qualidade física e físico-química de grãos de arroz;
- ✓ Avaliar a influência do tipo de beneficiamento na qualidade física e físico-química de grãos de arroz;
- ✓ Avaliar a qualidade física dos grãos através da classificação física e teste de dureza;
- ✓ Avaliar as técnicas de espectroscopia no infravermelho próximo, microscópio eletrônico de varredura e difração de raios-X como métodos alternativos para determinar a qualidade físico-química dos grãos.

3 HIPÓTESES

- ✓ Os grãos de arroz da cultivar IRGA 431 CL apresentam qualidade físico-química superior aos grãos da cultivar IRGA 424 RI;
- ✓ Maior rendimento dos grão inteiros é obtido na cultivar IRGA 424 RI;
- ✓ Os grãos de arroz produzidos com adubação equilibrada apresentam maior qualidade físico-química;
- ✓ O processo de beneficiamento integral confere os melhores resultados de qualidade física de grãos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A CULTURA DO ARROZ

O arroz é uma planta herbácea da família Gramineae (Poaceae). O arroz é uma gramínea anual, classificada no grupo de plantas C3, adaptada ao ambiente aquático. O ciclo de desenvolvimento do arroz pode ser dividido em três fases principais: plântula, vegetativa e reprodutiva. A duração de cada fase é função da cultivar, época de semeadura, região de cultivo e das condições climáticas e de fertilidade do solo. Os elementos climáticos que mais influenciam na expressão do máximo potencial produtivo da cultura são a temperatura, que deve estar situada na faixa de 20 a 35°C, o fotoperíodo, sendo o arroz é uma planta de dias curtos (10 horas), a radiação solar e a disponibilidade hídrica, fator não limitante quando cultivada em condição de solo inundado (SOSBAI, 2018).

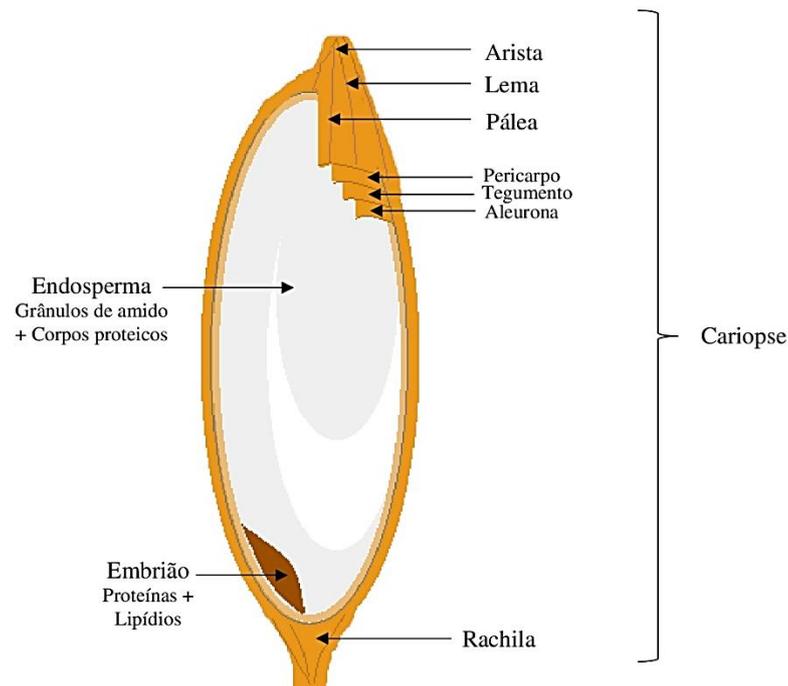
O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, com área de aproximadamente 163 milhões de hectares e apresentando bom potencial produtivo. Os países de maior produção são China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar, Filipinas, Japão, Paquistão e Brasil. Segundo dados da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), na safra de 2019/20 foram colhidos 755 milhões de toneladas de grãos de arroz em casca, totalizando em aproximadamente 500 milhões de toneladas de grãos beneficiados (FAO, 2021). No Brasil, a safra de 2020/21 teve área cultivada de 1,7 milhões de hectares, onde foram colhidas cerca de 11,6 milhões de toneladas, 4% a mais que na safra anterior (CONAB, 2021). O Rio Grande do Sul é o estado com maior representatividade nestes números, com 8 milhões de toneladas, 70% do total produzido, seguido por Santa Catarina.

No Brasil, o ecossistema predominante para a produção de arroz é o de terras baixas, onde 91% da produção nacional é advinda do cultivo sob irrigação. Nesse sistema a cultura passa parte de seu ciclo com a presença de uma lâmina d'água, o que facilita o manejo do solo, da água e dos insumos, proporcionando ao arroz o triplo da produtividade observada em áreas de sequeiro, também chamado de arroz de terras altas (SOSBAI, 2018; ANA, 2020). No país, na safra de 2020/21, a rizicultura de sequeiro representou 23% da área total, mas apenas 8% da produção, enquanto o arroz irrigado concentra 78% da área total e 92% da produção (CONAB, 2021).

Considerado um alimento muito comum, o arroz corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana. O consumo médio mundial de arroz beneficiado é de 54 kg/pessoa/ano (SOSBAI, 2018). A forma mais comum de consumo é de grãos inteiros descascados e polidos, sendo uma pequena parcela de arroz usada como ingrediente em produtos processados (JOSHI et al., 2013; SOSBAI, 2018). Em virtude de composição nutricional, além de ser uma excelente fonte de energia, o arroz pode trazer benefícios para a saúde na prevenção e no controle de doenças crônicas como doenças cardíacas, diabetes tipo II, obesidade, cânceres e no combate à desnutrição (ARSENAULT et al., 2010; ZHANG et al., 2010; DIPTI et al., 2012). Constituído principalmente por amido, o grão conta também com quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras, cinzas e outros importantes micronutrientes. No entanto, a composição do grão pode ser influenciada pelas diferenças varietais, pelas variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (ZHOU et al., 2002; SUBEDI et al., 2018).

A estrutura do grão de arroz pode ser visualizada na Figura 1. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo, o tegumento e a camada de aleurona, que representam de 5 a 8% da massa do arroz integral. O pericarpo é envolvido pelas glumelas, pela lema e pela pálea que são ricas em sílica e que constituem a casca. A casca corresponde a cerca de 20% do peso do grão, e é removida durante o beneficiamento. O tegumento encontra-se diretamente ligado ao pericarpo. A camada de aleurona está fortemente ligada ao endosperma amiláceo e apresenta duas estruturas de armazenamento, os grãos de aleurona (corpos protéicos) e os corpos lipídicos. A maior parte do grão, entre 89 e 94% do arroz integral, é formada pelo endosperma. Ele consiste de células ricas em grânulos de amido e com alguns corpos protéicos. O embrião ou gérmen está localizado na base do grão e possui várias estruturas de revestimento contendo proteínas e lipídios (CHAMPAGNE et al., 2004; JULIANO E TUAÑO, 2019).

Figura 1 - Estrutura do grão de arroz



Fonte: Autora.

4.2 PRODUÇÃO DO ARROZ

A instalação da cultura é influenciada por vários fatores, como sistema de cultivo, época de semeadura, qualidade de sementes e cuidados na operação de semeadura. Na rizicultura os principais sistemas de cultivo são o convencional, o cultivo mínimo, o plantio direto, o pré-germinado e o transplante de mudas, que diferenciam-se quanto à forma e à época de preparo do solo, aos métodos de semeadura e ao manejo inicial da água (SOSBAI, 2018). O sistema de cultivo mínimo é o mais utilizado, sendo a implantação do arroz realizada pela semeadura direta em solo previamente preparado. Nesse sistema há menor mobilização do solo do que no sistema convencional durante a operação de semeadura (JOHANSEN et al., 2012; HAQUE et al., 2016).

Para seu desenvolvimento e crescimento, as plantas de arroz precisam de nutrientes essenciais, que são divididos em dois grupos principais: macronutrientes, que são absorvidos em grande quantidade pelas plantas, e micronutrientes, absorvidos em pequena quantidade. Os principais macronutrientes são o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e manganês (Mn) (BIJAY-SINGH E SINGH, 2017). A maioria deles está disponível no solo, no entanto alguns se

encontram em quantidade insuficiente, sendo fundamental o manejo da adubação para garantir a produtividade e a qualidade nutricional do arroz (YOUSAF et al., 2017; SOSBAI, 2018).

A avaliação da fertilidade do solo é realizada através de uma análise de solo, e a recomendação de adubação é determinada em função da expectativa de resposta à adubação, sendo influenciada pelas condições climáticas, características das cultivares, manejo e investimento financeiro do produtor (SOSBAI, 2018). A grande maioria dos fertilizantes utilizados na rizicultura é mineral, onde a principal fonte de nitrogênio é a ureia, de fósforo é o superfosfato triplo e de potássio o cloreto de potássio.

A distribuição escalonada dos fertilizantes no solo, combinada com a dose ideal, determinada a partir das características do solo e da expectativa de produção, pode aumentar de modo considerável a efetividade dos fertilizantes, onde as principais consequências são o maior rendimento e qualidade dos grãos (RUSDIANSYAH E SALEH, 2017; MONICA et al., 2020). A adubação também pode influenciar na composição físico-química. Segundo HUANG et al. (2020), os teores de proteína nos grãos são influenciados positivamente pelo aumento dos níveis de adubação nitrogenada na cultura do arroz, podendo melhorar as propriedades mecânicas dos grãos, pois o arroz com alto conteúdo de proteína bruta é mais resistente a abrasividade durante a etapa de beneficiamento, alcançando um maior percentual de grãos inteiros.

Segundo YOUSAF et al. (2017), para um bom desenvolvimento da cultura do arroz, e conseqüentemente alcançar boa produtividade, o nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes, juntamente com o fósforo e o potássio, ele constitui-se como elemento fundamental em grande parte dos processos fisiológicos, em especial na síntese proteica. Exigido em praticamente todos os estádios de desenvolvimento da cultura, o nitrogênio é importante para o crescimento de colmos, raízes e folhas, aumentando o número de perfilhos, o tamanho da panícula e do grão (SONG et al., 2011; RUSDIANSYAH E SALEH, 2017). No entanto, a eficiência de uso do nitrogênio varia de acordo com a cultivar de arroz.

As cultivares japônicas foram as primeiras cultivares de arroz inseridas nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Elas apresentavam como características plantas com porte alto, folhas largas e crescimento exuberante, potencial produtivo baixo e ciclo de maturação de médio a longo (SOSBAI, 2018).

Essas cultivares foram substituídas por cultivares modernas, que foram desenvolvidas a fim de aumentar a produção de arroz e atender as demandas de consumo e qualidade, através da sincronia com os fatores de tolerância bióticos e abióticos (ZHANG et al., 2018; CUSTODIO et al., 2019; TAKAI et al., 2019). A quase totalidade das cultivares de arroz utilizadas atualmente no Brasil apresentam grãos da classe longo-fino, sendo a preferência do mercado brasileiro. Esses grãos apresentam também como característica serem translúcidos e com bom aspecto visual, com poucos defeitos (CONAB, 2015).

As cultivares diferem quanto as características agrônômicas, culinárias e nutricionais em fatores como ciclo, que pode ser precoce, médio ou tardio, potencial produtivo, resposta a adubação, arquitetura das plantas, resistência a herbicidas e a doenças como a brusone, tolerância a estresses, aspecto visual, rendimento industrial, características de cocção e composição do grão (MÜLLER et al., 2017; BHAT E RIAR, 2017; RUSDIANSYAH E SALEH, 2017; BHATTACHARJEE E DEY, 2018; BHAT E RIAR, 2019; CHEN et al., 2019).

A cultivar IRGA 424 RI, desenvolvida pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), é a mais utilizada no estado do Rio Grande do Sul. Ela apresenta alto potencial produtivo, 68% de renda no beneficiamento e 63% de rendimento dos grãos inteiros. Já a cultivar IRGA 431 CL, terceira mais usada no estado, lançada em 2018 pela mesma instituição, é uma alternativa de ciclo mais precoce, quando comparada com a cultivar IRGA 424 RI, com alto potencial produtivo e excelente qualidade de grãos, com baixo índice de centro branco, alto teor de amilose e alto rendimento dos grãos inteiros no beneficiamento (IRGA, 2019). Ambas as cultivares apresentam expectativa de resposta à adubação muito alta (GROHS et al., 2019).

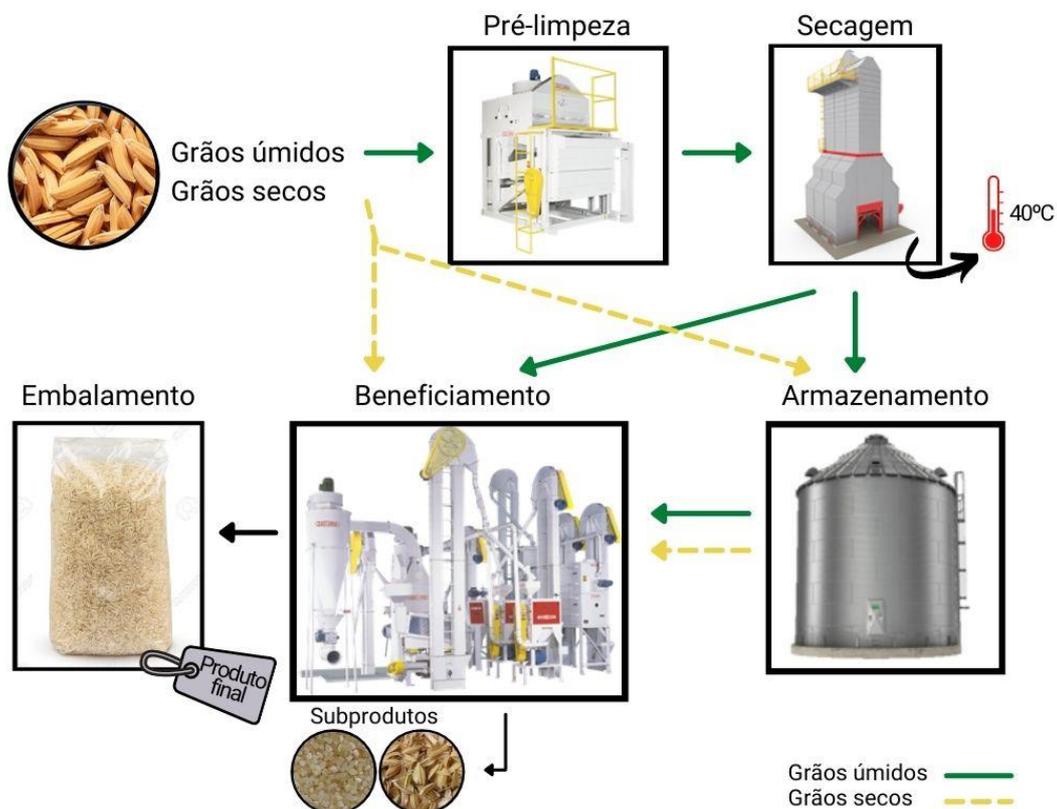
As características específicas das cultivares, juntamente com fatores de sistema de cultivo (irrigado ou de terras altas), disponibilidade de água e nível de tecnologia a ser utilizado, devem ser considerados no momento de selecionar uma cultivar para implantar na lavoura (BAO, 2019). Ainda assim, devido a variabilidade genética entre cultivares, recomendações técnicas aconselham semear a mesma cultivar em datas distintas ou utilizar no mínimo duas cultivares com características distintas para condicionar maior estabilidade da produtividade e favorecer o escalonamento da colheita (GU et al., 2015; SOSBAI, 2018; TAKAI et al., 2019).

4.3 PÓS-COLHEITA DO ARROZ

Os grãos de arroz devem colhidos quando atingirem a maturidade fisiológica, ou seja, quando o teor ideal de água nos grãos estiver entre 18% e 23%. Tanto a colheita antecipada quanto a colheita tardia afetarão o rendimento industrial (YAZDPOUR et al., 2012).

Após a colheita, toda a safra deve ser destinada a unidade de beneficiamento, onde passa por diferentes processos até chegar no consumidor final (Figura 2). As operações pós-colheita, como pré-limpeza, secagem e armazenamento, são empregadas com o objetivo de retardar as alterações físicas e químicas decorrentes do metabolismo do próprio arroz, cujos principais danos causados são mudanças de coloração, desgaste das reservas nutritivas, alterações na estrutura dos carboidratos, lipídeos, proteínas e vitaminas, produção de toxinas, aquecimento dos grãos e aumento de defeitos nos grãos (GUAN et al., 2017).

Figura 2 – Fluxograma das operações de pós-colheita de grãos de arroz



Fonte: Autora.

O primeiro processo pós-colheita realizado é o de pré-limpeza, que tem como objetivo separar os grãos de arroz em casca de materiais estranhos e impurezas, como palha, restos culturais, pedras, areia, entre outros. O método mais comum usado para separação é a triagem/peneiração. Esse processo é de grande importância, uma vez que grãos limpos, livres de materiais estranhos e impurezas, apresentam menor infestação de insetos e a contaminação por microorganismos em todas as etapas seguintes (KUMAR E KALITA, 2017).

O teor de água na colheita é considerado elevado para o armazenamento, deste modo, através da secagem, é reduzido para 13% (MUKHOPADHYAY E SIEBENMORGEN, 2018). Quanto menor o tempo entre a colheita e a secagem, menores serão os prejuízos para a qualidade do produto (HAYDON E SIEBENMORGEN, 2017). O processo de secagem compreende na redução do teor de água dos grãos a níveis que permitam sua preservação segura e sua estabilidade. A redução acontece por uma transferência simultânea de calor e massa entre o ar de secagem e o produto, onde é necessário que a pressão de vapor d'água dos grãos seja maior que a pressão de vapor d'água do ar de secagem (DALPASQUALE et al., 2009; DONLAO E OGAWA, 2018; TONG et al., 2019).

O objetivo de reduzir o teor de água dos grãos é inibir processos físico-químicos deteriorantes aos grãos, o qual está estreitamente correlacionado com o desenvolvimento de microorganismos e de pragas durante o armazenamento (KUMAR E KALITA, 2017; TONG et al., 2019). O armazenamento do arroz em casca ocorre durante um curto período, geralmente por alguns meses. Nesse período, a temperatura e o teor de água são os fatores mais importantes para a qualidade do grão de arroz (KAMINSKI et al., 2013; ZHAO et al., 2017). Durante o armazenamento de arroz, o produto sofre uma série de mudanças, e essas provocam alterações físicas e químicas nos grãos.

No beneficiamento dos grãos, o arroz é primeiramente submetido ao descascamento. A casca representa, aproximadamente, 20% do peso total. Através da descascagem, separa-se a casca da cariopse, obtendo-se o arroz integral. Por meio de roletes de borracha que giram em direções opostas, a palha é retirada do grão e separada através de um sistema pneumático. Os grãos que permaneceram com casca após o descascamento, são denominados marinheiros. Estes são separados e transferidos ao descascamento novamente (NAMBI et al., 2017).

Para obtenção do arroz branco, o grão descascado integral passa pela etapa de brunição, quando são retirados o embrião e a maior parte da película que recobre o grão, denominada de farelo (RUNGE et al., 2019). Através de equipamentos chamados de brunidores, compostos por pedras abrasivas, o arroz integral é lixado e o farelo de arroz é removido. A escolha do grau de brunimento determina o percentual de remoção do farelo de arroz, que influencia diretamente no rendimento do grão, nas propriedades físico-químicas e texturais. RODRÍGUEZ-ARZUAGA et al. (2016) estudaram a influência do grau de brunimento, quantificado pelo teor de lipídeos na superfície do grão, na aparência dos grãos e verificaram melhor uniformidade da cor, aumento do brilho e da brancura para maiores graus de brunimento.

O polimento do grão resulta em redução no teor de nutrientes. O arroz integral, por não perder a camada externa do grão, apresenta maior conteúdo de proteínas, fibras, lipídios, cinza, vitaminas e minerais, e valor nutritivo superior ao branco polido (SUBEDI et al., 2018). Segundo KAUR et al. (2020) o arroz integral pode ser composto por 15% a mais de proteína, 85% de gordura, 90% de cálcio, 75% de fósforo, 80% de tiamina, 70% de riboflavina, 90% de piridoxina, 60% de ferro e 68% de niacina, quando comparado com o arroz polido. Por outro lado, com o aumento do polimento, a dureza e o tempo de cozimento do arroz diminuem, enquanto a brancura, e a atividade do amido no arroz cozido aumentam (LI et al., 2021).

A operação de brunimento pode ser responsável por cerca da metade do total de grãos quebrados, o que é um ponto negativo em termos de lucratividade (FARAHMANDFAR et al., 2010; KALPANADEVI et al., 2019). A separação é a etapa final na produção de arroz em que os grãos são separados de acordo com o tamanho, através de um equipamento no formato de um tubo cilíndrico rotativo, denominado trieur. A renda do benefício é o percentual de arroz descascado ou descascado e polido (grãos inteiros e quebrados juntos) resultante do beneficiamento. Com a separação é determinado o rendimento, que é definido como o grão descascado ou descascado e polido, que mesmo quebrado, apresente comprimento igual ou superior a três quartos do comprimento mínimo da classe a que pertence (BRASIL, 2009).

4.4 QUALIDADE DO ARROZ BENEFICIADO

A qualidade de grãos de arroz reúne atributos físicos, químicos e culinários. As características físicas são compostas por parâmetros como renda e rendimento dos

grãos inteiros, defeitos físicos como grãos gessados, picados e manchados, alterações na cor, entre outros. Entre as características químicas se destacam como parâmetros importantes a composição dos grãos em teor de amilose, teor de proteína bruta, teor de lipídios, itens que influenciam diretamente na qualidade culinária. Entre os parâmetros culinários estão a o tempo para cocção, a brancura e a textura.

Para a classificação física dos grãos de arroz, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) conta com legislações específicas, a Instrução Normativa Nº6, de 16 de fevereiro de 2009, determina o regulamento técnico do arroz e a Instrução Normativa Nº2, de 6 de fevereiro de 2012 (BRASIL, 2009). O MAPA classifica o arroz em cinco tipos, a classificação varia de 1 a 5, com numeração crescente à proporção que aumentam os defeitos (Tabela 1).

Tabela 1. Limites máximos de tolerância de defeitos em grãos de arroz integrais e polidos expressos em %/peso.

Arroz Beneficiado Integral								
Tipo	Matérias Estranhas e Impurezas	Mofados e Ardidos	Picados ou Manchados	Gessados e Verdes	Vermelhos e Pretos	Amarelos	Total de Quebrados e Quirera	
1	0,10	0,15	1,75	2,00	1,00	0,50	4,00	
2	0,20	0,30	3,00	4,00	1,50	1,00	7,50	
3	0,30	0,50	4,50	6,00	2,00	2,00	12,50	
4	0,40	1,00	6,00	8,00	3,00	3,00	15,00	
5	0,50	1,50	8,00	10,00	4,00	5,00	20,00	
Arroz Beneficiado Polido								
Tipo	Matérias Estranhas e Impurezas	Mofados e Ardidos	Picados ou Manchados	Gessados e Verdes	Rajados	Amarelos	Total de 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

O limite máximo de tolerância admitido para marinho é de 10 grãos em 1000g para todos os tipos. Acima desse limite o produto é considerado como Fora de Tipo.

Fonte: BRASIL, 2009.

Entre os principais defeitos considerados pela Instrução Normativa Nº6, de 2009 estão:

- Matérias estranhas e impurezas - corpo ou detrito de qualquer natureza estranhos ao produto, como grãos ou sementes de outras espécies vegetais,

- sujidades e restos de insetos, detritos do próprio produto como casca e pedaços de talos, entre outros;
- Mofados – o grão que apresentar contaminações fúngicas (mofo ou bolor) visíveis a olho nu;
 - Ardidos - o grão que no todo ou em parte, apresentar coloração escura proveniente do processo de fermentação;
 - Picados ou manchados - o grão que apresentar mancha escura ou esbranquiçada, bem como, perfurações por insetos ou outros agentes;
 - Gessados – grão que apresentar coloração totalmente opaca e semelhante ao gesso;
 - Preto – o grão que apresentar pericarpo de cor preta;
 - Verdes – o grão que não está fisiologicamente desenvolvido e que apresenta coloração esverdeada;
 - Vermelhos - o grão que apresentar pericarpo de cor avermelhada;
 - Rajados – o grão que apresentar ponto ou estria vermelha ou preta;
 - Amarelo – o grão que apresentar coloração amarela.
 - Quirera - o fragmento de grão de arroz que vazar em peneiro de furos circulares de 1,6 milímetros de diâmetro;
 - Marinheiro: o grão que conserva a casca após seu beneficiamento.

Os processos de avaliação de qualidade podem ser realizados pelo método convencional, utilizando unicamente a mão-de-obra humana, por processo parcialmente automatizado ou ainda totalmente automatizado, que empregam sensores artificiais em substituição aos sentidos humanos.

O método convencional de classificação de qualidade de diversas culturas agrícolas é feito de forma manual, onde mesmo realizado por pessoas treinadas, há um risco relativamente alto de erro humano (SALDAÑA et al., 2013). Neste processo manual, as decisões tomadas pelos trabalhadores podem ser afetadas pelas condições físicas e psicológicas, como fadiga, visão ou hábitos adquiridos e pelas condições de trabalho, como iluminação e clima. Dessa forma, a indústria de beneficiamento de grãos, devido ao grande número de amostras, busca métodos rápidos e eficientes, que gerem informações úteis para avaliar a qualidade dos grãos. No entanto, a avaliação precisa da qualidade de grãos requer tempo e possui

restrições tecnológicas que envolvem as análises (ELMASRY et al., 2019; ALI et al., 2020).

Os métodos automatizados de avaliação como a visão computacional (SALDAÑA et al., 2013), a espectroscopia no infravermelho próximo (BAZONI et al., 2017), a espectroscopia de ressonância magnética nuclear (SHEWRY et al., 2017), a técnica de nariz eletrônico (YING et al., 2015) e as técnicas de raio-X (WANG E COPELAND, 2013), apresentam como vantagens a velocidade de avaliação, precisão da inspeção, a economia e a não destruição da amostra.

A inspeção e avaliação automáticas de qualidade de grãos combinam análise de imagem e técnicas de aprendizado de máquina através do uso de sistemas de visão computacional (SALDAÑA et al., 2013). O sistema de visão de máquina fornece uma alternativa à inspeção manual de amostras de grãos que possibilita a identificação de uma série de características físico-químicas, como materiais estranhos, estimação de volume e massa dos grãos, análise de formas, cor, contagem, textura, de acordo com as características do grão. Para o arroz, o processamento de imagens é comumente aplicado para três finalidades: identificação, controle de qualidade e avaliação da germinação (LURSTWUT E PORNPANOMCHAI, 2018).

A aquisição de imagens pode ser feita usando câmeras, scanners, smartphones, entre outros equipamentos. As imagens digitais são obtidas através de um sensor de imagem, que registra a radiação que interagiu com objetos físicos através do uso de dispositivos de detecção, apropriados para fazer a transferência do sinal elétrico em uma forma numérica (VITHU E MOSES, 2016; BHARGAVA E BANSAL, 2021). Os sensores podem ser definidos como tradicionais, multiespectrais e hiperespectrais. Eles são capazes de obter informações do espectro eletromagnético da luz visível e de outras faixas do espectro. O sistema tradicional de visão computacional contabiliza cores primárias: vermelho, verde, azul (RGB), que capturam o espectro de luz visível. Os multiespectrais que capazes de capturar três ou quatro faixas do espectro além do visível e os sensores hiperespectrais, combinam técnicas espectroscópicas e de imagem, capturando quase todo o espectro eletromagnético da luz (BHARGAVA E BANSAL, 2021).

As técnicas de análise de imagens têm sido usadas nas unidades de beneficiamento de grãos para auxiliar nas operações de classificação, limpeza e separação, principalmente para identificar e classificar grãos com base no tipo de

produto, morfologia, variedade e presença de infestação (VITHU E MOSES, 2016). As imagens de microscópio eletrônico de varredura (MEV) são imagens bidimensionais (2D) amplamente utilizadas para examinar a ultraestrutura e obter informações topográficas dos grãos. As imagens de raios-X permitem uma caracterização 3D, propiciando uma avaliação de forma rápida e eficiente, além de permitirem a observação da estrutura externa e interna do grão (ZHU et al., 2012).

A espectroscopia no infravermelho próximo é um método eficiente para caracterização química e triagem de diversas culturas agrícolas como a soja (ZHU et al., 2018), o milho (QIU et al., 2018) e o arroz, despontando como alternativa aos métodos tradicionais para definir propriedades ou constituição de um determinado material de interesse (BAZONI et al., 2017). Na cultura do arroz, a técnica NIR foi estudada para determinação do teor de amilose (MATSUO, 2018), identificação de grãos em transgênico e selvagem (ZHANG et al., 2015) e identificação de variedades de sementes (CHEN et al., 2019). O Infravermelho próximo corresponde a região posterior à do visível, compreendendo os comprimentos de onda de 750 a 2500 nm, com números de onda de 4000 a 13300 cm^{-1} . A radiação infravermelha é emitida sobre o material, através do aparelho chamado espectrômetro e através da interação das ondas eletromagnéticas do infravermelho com os constituintes da amostra, gera uma assinatura espectral única (CEN E HE, 2007). A espectroscopia é uma técnica analítica que permite a realização de análises químicas com exatidão, rapidez, baixo custo e pouca manipulação de amostras.

5 CAPÍTULO 1

Influência das cultivares, dos níveis de adubação e das formas de beneficiamento na qualidade física, físico-química e morfológica de grãos de arroz

Resumo

O aumento da produtividade e da qualidade dos grãos de arroz pode estar associado a cultivares, a adubação do solo e ao beneficiamento. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho avaliar e correlacionar as características de qualidade física, físico-química e morfológica de grãos de arroz de diferentes cultivares, diferentes níveis de adubação e formas de beneficiamento. O experimento foi realizado no Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), em Cachoeira do Sul/RS, durante a safra 2017/18, e no Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS) da Universidade Federal Santa Maria, Campus de Cachoeira do Sul (UFSM/CS). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, (2x4x2): duas cultivares (CL) de grãos de arroz, quatro níveis de adubação (NA) e dois tipos de beneficiamento (BF). Após a colheita, os grãos foram submetidos ao processo de descascamento e polimento. A análise da qualidade física foi realizada de acordo com as normas de classificação física do arroz. A análise de qualidade físico-química foi realizada utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo, difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Observou-se que a cultivar IRGA 431 CL cultivada com altos níveis de adubação obteve grãos de arroz com alta qualidade física após o beneficiamento e alta qualidade físico-química após o polimento. O arroz integral apresentou as maiores porcentagens de grãos inteiros. Correlações positivas entre as variáveis físicas foram obtidas no beneficiamento integral. A avaliação morfológica demonstrou que o aumento dos níveis de adubação foi o principal fator de influência na qualidade do arroz beneficiado. Assim, as cultivares, os níveis de adubação e o tipo de beneficiamento do arroz estão diretamente relacionados à qualidade final do grão.

Palavras-chave: Espectroscopia no infravermelho próximo, *Oryza sativa*, Pós-colheita, Microscopia eletrônica de varredura, análise multivariada.

INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade e a qualidade dos grãos de arroz é resultado dos avanços tecnológicos na agricultura, como o melhoramento genético (GU et al., 2015; CUSTODIO et al., 2019; TAKAI et al., 2019; HUANG et al., 2020), o manejo de adubação (ZHANG et al., 2019) e o controle nas operações de beneficiamento (CORADI et al., 2020a; ZHOU et al., 2002).

Em diversos estudos, os fatores de produção, como a escolha da cultivar, do sistema de plantio e o manejo de adubação, têm demonstrado efeitos significativos na qualidade dos grãos de arroz na pós-colheita e, conseqüentemente, no beneficiamento. No entanto, apenas o manejo da cultura do arroz não garante a qualidade final dos grãos, uma vez que as condições climáticas, especialmente a temperatura, não são controladas (CORADI et al., 2020a; CUSTODIO et al., 2019; GU et al., 2015; HUANG et al., 2020; TAKAI et al., 2019; ZHOU et al., 2002).

As cultivares de arroz têm respondido satisfatoriamente em termos de produtividade e qualidade dos grãos na pós-colheita. O aumento da produção de arroz pode ser obtido através do manejo da adubação, independentemente da cultivar, enquanto a qualidade no processamento industrial do arroz pode ser alcançada de acordo com o tipo de beneficiamento (CEN e HE, 2007; FAN et al., 2016).

O processamento industrial do arroz inclui a remoção da casca para produzir arroz integral e a remoção das camadas externas e embrião para produzir arroz polido. A maior parte dos nutrientes está localizada nas camadas do farelo, sendo gradualmente perdidos durante as operações de polimento, resultando em uma redução significativa do valor nutricional (LIN et al., 2014; MA et al., 2020).

O tempo de processamento pode reduzir a porcentagem de proteínas e interferir na estrutura morfológica do amido (CEN e HE, 2007; FAN et al., 2016; HUANG et al., 2020; LIN et al., 2014). Assim, o manejo de adubação e o tipo de processamento industrial podem ser correlacionados com as características específicas das cultivares para definir a melhor condição de produção e beneficiamento, por entender, principalmente, a variação da proteína e da qualidade do amido no arroz. O nível de adubação adequado para cada cultivar pode aumentar os percentuais proteicos e a estrutura morfológica do amido de arroz. A composição físico-química da proteína pode proporcionar resistência e dureza ao grão para reduzir

os efeitos do ambiente e do processo de beneficiamento na qualidade física do amido de arroz (HUANG et al., 2020).

A concentração de lipídios nos grãos está associada ao beneficiamento e dureza dos grãos de arroz (CORADI et al., 2020a; TAKAI et al., 2019; ZHOU et al., 2002). Os efeitos da cultivar e os níveis de fertilização aplicados na produção, influenciarão a composição lipídica no processamento do grão, combinado com o aumento da proteína e a manutenção da estrutura do amido. Proteína e amido contribuem para a manutenção de camadas lipídicas, mesmo após processos sucessivos, redistribuindo lipídios não solúveis na superfície do grão (CUSTODIO et al., 2019; GU et al., 2015; HUANG et al., 2020).

Assim, avaliamos e correlacionamos a influência das cultivares de arroz, níveis de adubação e tipos de beneficiamento nas qualidades física, físico-química e morfológica dos grãos, através da classificação física dos grãos, de análises por espectroscopia no infravermelho próximo, microscopia eletrônica de varredura, análise de imagem e ferramentas estatísticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do experimento

O experimento foi realizado na área experimental de pesquisa do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), localizado em Cachoeira do Sul, RS (Figura 1) durante a safra 2017/18. O solo em que foi instalado o experimento foi classificado como Planossolo Háplico eutrófico arênico, com as seguintes características: 6,2 mg dm⁻³ de fósforo, 31 mg dm⁻³ de potássio e 0,9% de matéria orgânica.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Cada tratamento foi replicado três vezes, considerando-se as fontes de variações as cultivares (CL), os níveis de adubação (NA) e os tipos de beneficiamento, em esquema fatorial (2x4x2): duas cultivares (CL) de grãos de arroz (IRGA 424 RI e IRGA 431 CL), quatro níveis de adubação (NA): (testemunha - zero de NPK, baixo com 60 N 30 P 40 K, médio com 90 N 40 P 55 K, alto com 120 N 50 P 70 K) e dois tipos de beneficiamento (BF): (polido e integral) (Figura 2).

Figura 1 - Caracterização da área experimental



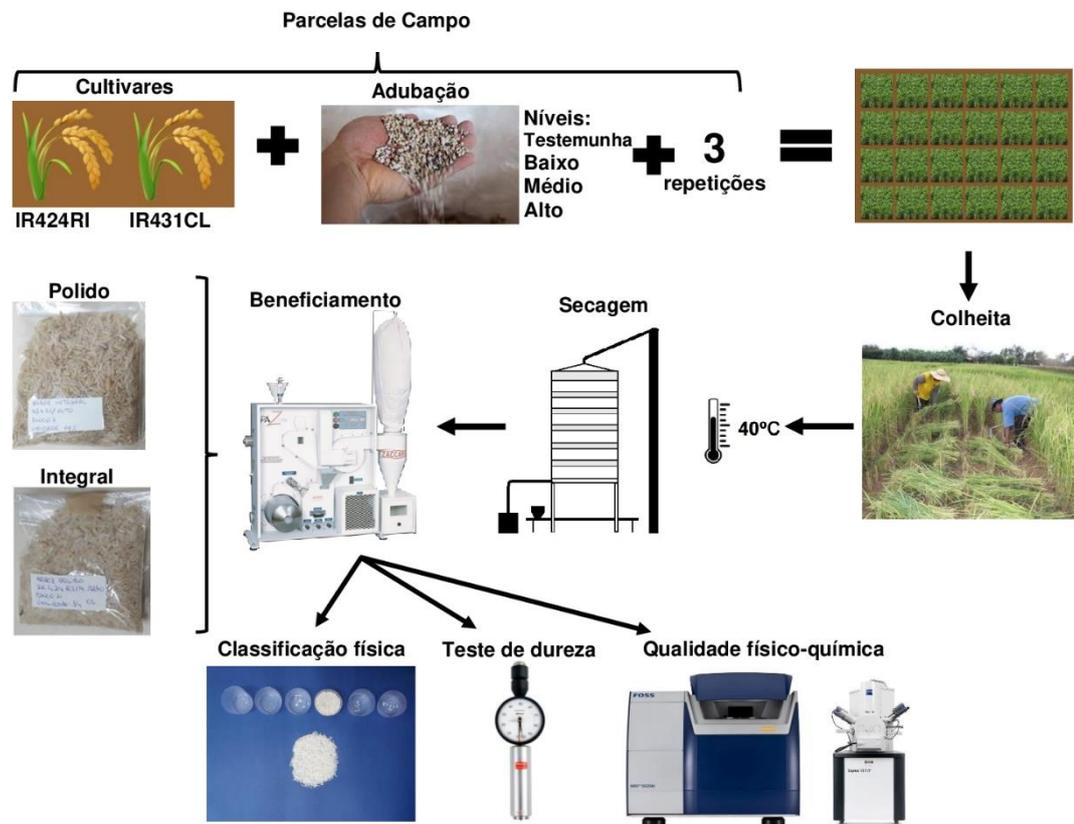
Fonte: Autora.

Os níveis de adubação foram estabelecidos a partir da expectativa de resposta à adubação (SOSBAI, 2018). Para cada cultivar e nível de adubação foram semeadas três parcelas de arroz, totalizando 90 parcelas, as quais cada uma foi composta de nove linhas, espaçadas de 0,17 metros e 5 metros de comprimento, totalizando 7,65 m², sendo a densidade de semeadura de 100 kg ha⁻¹.

As dosagens de nitrogênio foram compostas por ureia (45-00-00), de potássio por cloreto de potássio (00-00-60) e de fósforo por superfosfato triplo (00-46-00). As doses de fósforo e potássio foram misturadas e aplicados a lanço no dia da semeadura. A dose de nitrogênio foi aplicada no estágio V4 (início do perfilhamento) e no estágio R0 (início do desenvolvimento da panícula), nas proporções 67% e 33%, respectivamente, segundo a escala de COUNCE et al. (2000).

Com auxílio de navalhas de corte, a colheita foi realizada de forma tardia, quando os grãos apresentavam teores de água de 14% (b.u.). Retirou-se uma amostra de 1 kg de cada parcela, as quais foram identificadas e colocadas em sacos de polietileno. Um secador protótipo de gavetas foi utilizado para homogeneizar o teor de água dos grãos. Após esfriarem naturalmente, as amostras foram armazenadas temporariamente em refrigeradores, até realizar o beneficiamento.

Figura 2 - Esquema de produção, colheita, secagem, beneficiamento e determinação da qualidade do arroz



Fonte: Autora.

Beneficiamento

O beneficiamento dos grãos foi realizado em um provador de arroz (Zaccaria, Paz-1/DTA, Limeira, Brasil), regulado e manuseado de acordo com as recomendações técnicas de beneficiamento de arroz (BRASIL, 2009) e da 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. Para o beneficiamento do arroz integral, fizeram-se os mesmos procedimentos, com exceção da etapa de brunimento. As amostras foram separadas, identificadas e armazenadas em sacos plásticos. Após o beneficiamento as amostras foram submetidas às análises de qualidade.

Classificação física

Para a classificação dos grãos inteiros utilizou-se um cilindro separador por alvéolos de 5,5 mm (Zaccaria, Paz-1/DTA, Limeira, Brasil). O cilindro separador ao girar com as amostras de grãos teve a função de deslocar por gravidade os grãos quebrados para a moega horizontal, enquanto, os grãos inteiros permaneciam retidos nos alvéolos do cilindro, para posterior descarregamento. As amostras beneficiadas foram pesadas em uma balança de precisão (Marte Científica, modelo AD330, São Paulo, Brasil), para posterior submissão a classificação manual do arroz polido e integral. Em uma bancada com papel cartonado sulfite de cor azul e com o auxílio de uma pinça, navalha de corte, de recipientes plásticos, os grãos sadios foram separados dos grãos com defeitos, de acordo com a Instrução Normativa 6/2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

Os defeitos nos grãos foram classificados conforme o regulamento técnico de classificação, que tem por objetivo definir o padrão oficial de classificação do arroz, considerando seus requisitos de identidade e qualidade dos grãos de arroz (BRASIL, 2009). A renda (IN) foi determinada pelo percentual de arroz beneficiado (grãos integrais) ou beneficiado e polido (grãos polidos), resultante do beneficiamento do arroz em casca, enquanto que, o rendimento (YG) dos grãos foi medido pelo percentual de grãos inteiros em relação aos grãos quebrados. Os defeitos avaliados nos grãos foram: ardidos (FLA), picados ou manchados (CS), gessados (PLA), amarelos (YEL), marinheiros (SAI) e quebrados (BRO) (Figure 1B).

Para o teste de dureza (HAR), utilizou-se o equipamento durômetro portátil (Mitutoyo, série HH-300, Suzano, Brasil). O durômetro é formado por uma agulha de tronco cônica, a qual é mantida na posição de escala zero, por ação de uma mola. Ao comprimi-la contra a superfície do grão, a agulha tende a entrar no corpo do durômetro, comprimindo a mola. Este movimento foi transmitido ao ponteiro em escala e a medição da dureza foi realizada mantendo o instrumento fixo para uma leitura do valor indicado.

Análise físico-química

Para a determinação do teor de água (WC), teor de proteína bruta (CP), fibra bruta (CF), gordura (Fat), cinzas (AS) e amido (ST) nos grãos de arroz utilizou-se a espectroscopia no infravermelho próximo (Metrohm, Espectrômetro DS2500, Herisau, Suíça) de alta precisão ótica. As amostras foram homogeneizadas e colocadas na cápsula de amostragem. A análise teve por base iluminar uma amostra com radiação de comprimento de onda específico da região do infravermelho próximo e medir a diferença entre a quantidade de energia que foi emitida pelo espectroscópio e refletida pela amostra ao detector. Essa diferença foi medida em diversas bandas, criando um espectro para cada amostra. O resultado obtido foi comparado a um conjunto de calibração (AOAC, 2000).

Análise de microscopia eletrônica de varredura

As análises de morfologia da superfície, tamanho dos grânulos de amido e variações estruturais, foram realizadas através de um microscópio eletrônico de varredura (Carl Zeiss, Sigma 300 VP, Jena, Alemanha) com filamento de emissão por campo (FEG- Field Emission Gun) do tipo Schotky (filamento de tungstênio recoberto com óxido de zircônio), equipado com coluna Gemini (Carl Zeiss, Sigma 300 VP, Jena, Alemanha). As imagens foram obtidas com uso do detector secundário (SE2) no modo 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 e 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, EUA) equipado com janela de quartzo de 10 mm^2 e software ESPRIT. As EDS foram obtidas com uso do detector secundário (SE2) no modo de pressão variável, que consiste 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 .

Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente, com auxílio do programa SISVAR, versão 5.6, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1 e

5% de probabilidade. Posteriormente, foi realizada uma análise multivariada de componentes principais e agrupamento com auxílio da linguagem de programação R. Realizou-se a análise de variáveis canônicas para verificar a inter-relação entre as variáveis avaliadas e as condições de processamento. Essa técnica é semelhante aos componentes principais, mas permite considerar a variação residual entre repetições do mesmo tratamento. Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson para verificar a associação entre variáveis nas condições de processamento. A rede de correlação foi construída para expressar graficamente os resultados. Neste procedimento, as linhas verdes vinculam variáveis à correlação positiva e as linhas vermelhas unem variáveis negativamente correlacionadas. A espessura da linha é proporcional à magnitude da correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade física do arroz

Através da Tabela 1 apresentam-se os resultados de análise de variância, do teste F, com 1 e 5% de probabilidade de erro para a qualidade física do arroz. Houveram interações significativas, ou seja, uma variável interferiu em outra, para todos os fatores físicos ou químicos analisados, exceto para grãos ardidos e grãos picados ou manchados.

De acordo com os resultados listados na Tabela 2, os grãos de arroz foram estatisticamente diferentes entre cultivares e beneficiamento e similares entre os níveis de adubação quanto à presença de grãos amarelos. A cultivar IRGA 424 RI e o beneficiamento polido apresentaram maior percentual de grãos amarelos. Além disso, a cultivar IRGA 424 RI apresentou o maior percentual de grãos gessados para todos os tratamentos de adubação. No entanto, um aumento no nível de fertilização reduziu o percentual de grãos gessados, independentemente da cultivar. O gessamento do grão de arroz é uma característica genética de algumas cultivares, que é facilmente influenciada por condições ambientais, deficiência de água, deficiência nutricional ou desequilíbrio, frio, danos na cultura e certas práticas culturais (YUBONMHAT et al., 2019; ZHANG et al., 2019).

Tabela 1. Análise de variância da qualidade físico-química dos grãos de arroz

FV	YEL Pr>Fc	FLA Pr>Fc	PLA Pr>Fc	SAI Pr>Fc	CS Pr>Fc	BRO Pr>Fc	IN Pr>Fc	YG Pr>Fc	HAR Pr>Fc	WC Pr>Fc	CP Pr>Fc	Fat Pr>Fc	CF Pr>Fc	AS Pr>Fc	ST Pr>Fc
CL	0,5745 ^{ns}	0,1830 ^{ns}	0,0886 ^{ns}	0,9897 ^{ns}	0,0587 ^{ns}	0,0000 ^{**}	0,2221 ^{ns}	0,0000 ^{**}	0,0961 ^{ns}	0,0000 ^{**}	0,0000 ^{**}	0,0000 ^{**}	0,0000 ^{**}	0,2968 ^{**}	0,0000 ^{**}
NA	0,0913 ^{ns}	0,7598 ^{ns}	0,3067 ^{ns}	0,2575 ^{ns}	0,3413 ^{ns}	0,0000 ^{**}	0,3998 ^{ns}	0,0000 ^{**}							
BF	0,0027 ^{**}	0,0721 ^{ns}	0,0038 [*]	0,0000 ^{**}	0,4231 ^{ns}	0,0000 ^{**}									
CL x NA	0,9607 ^{ns}	0,5003 ^{ns}	0,0421 [*]	0,1772 ^{ns}	0,1212 ^{ns}	0,0429 [*]	0,1720 ^{ns}	0,0294 [*]	0,0003 ^{**}	0,0000 ^{**}					
CL x BF	0,0419 [*]	0,1264 ^{ns}	0,2996 ^{ns}	0,3020 ^{ns}	0,0616 ^{ns}	0,0409 [*]	0,4589 ^{ns}	0,0160 [*]	0,1172 ^{ns}	0,0000 ^{**}					
NA x BF	0,2580 ^{ns}	0,9541 ^{ns}	0,0414 [*]	0,3655 ^{ns}	0,0912 ^{ns}	0,0272 [*]	0,1108 ^{ns}	0,0286 [*]	0,5471 ^{ns}	0,0000 ^{**}					
BF x NA x CL	0,4162 ^{ns}	0,1320 ^{ns}	0,9030 ^{ns}	0,0471 [*]	0,0584 ^{ns}	0,0427 [*]	0,0107 [*]	0,0131 [*]	0,1850 ^{ns}	0,0000 ^{**}					
CV (%)	12,41	13,11	9,30	13,12	7,32	11,15	5,39	10,96	0,48	0,09	0,11	1,24	0,47	0,82	0,02
Média	0,23	0,13	0,34	3,72	0,28	18,24	78,10	59,86	98,11	12,36	11,22	0,94	2,17	1,49	66,74

** Significativo a 1% de probabilidade de erro ($Pr \leq 0.01$), * Significativo a 5% de probabilidade de erro ($Pr \leq 0.05$), CL – Cultivar, NA – Nível de Adubação, BF – Beneficiamento, FV – Função de variação, CV – Coeficiente de variação, YEL – Amarelo, FLA – Ardido, PLA – Gessado, SAI – Marinheiro, CS – Picado ou manchado, BRO – Quebrado, IN – Renda, YG – Rendimento, WC – Teor de água, CP - Proteína bruta, Fat - Gordura, CF – Fibra bruta, AS - Cinzas, ST - Amido, HAR - Dureza.

Fonte: Autora.

Tabela 2. Avaliação da qualidade física dos grãos de arroz segundo níveis de adubação, cultivares e tipo de beneficiamento

Análise (%)	Nível de adubação	Arroz polido		Arroz integral	
		IRGA 424 RI	IRGA 431 CL	IRGA 424 RI	IRGA 431 CL
Amarelo	Testemunha	0,1433 Ab	0,2297 Ac	0,0000 Aa	0,0000 Aa
	Baixo	0,3207 Bd	0,2303 Ac	0,0000 Aa	0,0160 Bb
	Médio	0,3497 Bc	0,2630 Ab	0,0000 Aa	0,0000 Aa
	Alto	0,3470 Bc	0,3123 Bc	0,1220 Bb	0,0273 Ba
Gessado	Testemunha	0,42 Ac	0,33 Bb	0,81 Cd	0,28 Ba
	Baixo	0,45 Ab	0,32 Ba	0,46 Bb	0,30 Ba
	Médio	0,46 Ac	0,32 Bb	0,38 Ab	0,23 Aa
	Alto	0,43 Ac	0,20 Aa	0,39 Ab	0,24 Aa
Marinheiro	Testemunha	0,01 Aa	0,05 Ba	6,51 Ab	7,40 Ab
	Baixo	0,29 Cb	0,00 Aa	7,25 Ac	7,34 Ac
	Médio	0,14 Bb	0,00 Aa	7,31 Ac	7,04 Ac
	Alto	0,23 Cb	0,01 Aa	7,46 Ac	8,05 Ac
Quebrado	Testemunha	46,63 Dc	29,08 Db	25,55 Cb	16,96 Ca
	Baixo	33,95 Cd	20,05 Cc	17,29 Bb	10,11 Ba
	Médio	29,56 Bc	16,19 Bb	17,98 Bb	7,73 Aa
	Alto	25,63 Ac	13,34 Ab	8,73 Aa	6,82 Aa
Renda	Testemunha	71,96 Aa	75,10 Ab	82,33 Ac	82,57 Ac
	Baixo	71,53 Aa	74,76 Ab	83,61 Ac	83,57 Ac
	Médio	76,80 Ba	74,66 Aa	82,94 Ab	82,63 Ab
	Alto	73,76 Aa	73,84 Aa	83,83 Ab	80,01 Ab
Rendimento	Testemunha	28,47 Aa	42,87 Ab	57,01 Ac	65,36 Ad
	Baixo	40,81 Ba	51,47 Bb	66,27 Bc	73,50 Bd
	Médio	48,21 Da	60,41 Cb	75,21 Cc	64,64 Ab
	Alto	45,10 Ca	60,61 Cb	72,84 Cc	74,33 Bc
Dureza / Resistência	Testemunha	95,86 Aa	97,43 Ab	95,86 Aa	97,43 Ab
	Baixo	97,12 Ba	98,56 Ba	97,12 Ba	98,56 Ba
	Médio	97,09 Ba	99,05 Bb	97,09 Ba	99,05 Bb
	Alto	99,82 Ca	99,99 Ca	99,82 Ca	99,99 Ca

As médias seguidas por letras maiúsculas nas colunas entre os níveis de adubação e minúsculas nas linhas entre cultivares para cada forma de beneficiamento diferem em 5% de probabilidade.

Fonte: Autora.

Grãos gessados são categorizados em centro branco, branco leitoso e barriga branca, dependendo da presença do gesso no grão (ISHIMARU et al., 2009). Na IRGA 431CL, que apresenta como característica o baixo índice de área gessada nos grãos da cultivar, observou-se os menores percentuais de grãos gessados. As mudanças significativas na formação de grãos gessados podem ocorrer devido à movimentação da água no interior do grão, causada por variações atmosféricas, como temperatura e umidade relativa do ar (CORADI et al., 2020b; SRIKAE0 et al., 2016).

Os resultados obtidos mostraram maiores percentuais de grãos em casca para o arroz integral, indicando que ajustes nos equipamentos de beneficiamento são

necessários para melhoria das características físicas dos grãos e desempenho no processo, com base nos padrões estabelecidos pela indústria.

Os maiores níveis de adubação influenciaram os resultados de grãos quebrados. O aumento da dosagem do fertilizante no solo teve melhores resultados no beneficiamento quanto à qualidade dos grãos inteiros. Isso pode estar relacionado à formação dos grãos na planta, ou seja, suas propriedades físicas. Segundo HUANG et al. (2020), a composição química dos grãos, como o teor de proteína bruta, é influenciada pela adubação da cultura do arroz, podendo melhorar as propriedades mecânicas dos grãos, pois o arroz com alto conteúdo de proteína bruta é mais resistente a abrasividade durante a etapa de beneficiamento, reduzindo o percentual de quebrados.

Para as cultivares, IRGA 431 CL obteve maior renda para os grãos polidos, independentemente dos níveis de adubação. Para os tipos de beneficiamento, os grãos integrais apresentaram maiores percentuais de renda em relação aos grãos polidos. Esses resultados foram interpretados pelo ajuste mais suave do equipamento na operação de beneficiamento integral. A renda dos grãos demonstrou melhores resultados nos grãos integrais do que no arroz polido porque os grãos de arroz polidos passaram por um processo de brunimento, onde entram em contato com superfícies abrasivas para melhorar a aparência dos grãos e eliminar uma camada superficial do grão conhecida como aleurona.

Nos tratamentos de adubação, em níveis mais elevados, verificaram-se os melhores resultados de renda para todas as cultivares e tipos de beneficiamento. A renda está associada à qualidade dos grãos que são obtidos da lavoura pelo melhor desempenho da planta na produção, considerados em níveis de adubação mais elevados (GUO et al., 2019).

Entre as cultivares, a IRGA 431 CL teve maior percentual de grãos inteiros para todos os tratamentos, sendo em média 12,22% maior que o rendimento da cultivar IRGA 424 RI. TAKAI et al. (2019) estudaram a diferença de rendimento e adaptabilidade de cinco cultivares de arroz. Da mesma forma, com o aumento do nível de adubação observou-se maior rendimento dos grãos inteiros para todos os tratamentos. Embora os resultados de rendimento tenham sido diferentes entre os tratamentos, ressalta-se que os resultados foram satisfatórios com percentuais acima de 60%, com exceção da cultivar IRGA 424 RI em grãos polidos. Estudos realizados

com doses de adubação nitrogenada verificaram aumento da produtividade dos grãos e conseqüentemente do rendimento dos grãos inteiros (HUANG et al., 2020).

Na avaliação da resistência quanto à dureza, verificou-se que os grãos polidos foram menos resistentes (98%) que os grãos integrais (99,23%). Entre as cultivares, a IRGA 431 CL foi mais resistente, à medida que o nível de adubação aumentou. Os grãos de arroz possuem uma matriz proteica que envolve cada um dos grânulos de amido. Um conjunto de pequenos grânulos formam grânulos de amido composto. O amido compõe-se de amilose e amilopectina; o teor de amilose do arroz que influencia na dureza da superfície do grão. A dureza por sua vez, influencia no rendimento dos grãos, tornando-os mais resistentes à abrasividade no beneficiamento e tendem a produzir maior rendimento dos grãos inteiros.

Qualidade físico-química do arroz

Conforme apresentado na Tabela 1, as variáveis analisadas de todos os tratamentos e interações foram significativas a 1% de probabilidade. Os resultados da Tabela 3 indicaram que o arroz integral obteve os maiores teores de gordura, com valores mais elevados para a cultivar IRGA 421 RI e altos níveis de adubação. Por outro lado, para os grãos polidos, os maiores percentuais de gordura e cinzas foram obtidos em baixos níveis de adubação. As concentrações de vários componentes relacionados aos lipídios no arroz estão intimamente relacionadas ao processamento (HU et al., 2018).

Os grãos de arroz integral têm grandes contornos de protuberâncias lineares e depressões que se estendem longitudinalmente ao longo da superfície do grão, rica em lipídios. Após o beneficiamento, observa-se uma diminuição progressiva das quantidades de lipídios remanescentes na superfície do grão (WOOD et al., 2012). LIU et al. (2017) mostraram que o teor de lipídio bruto diminuiu de 2,43 para 2,86g/100g para 0,60 para 0,60g/100mgs com aumento do tempo de processamento de 0 a 15%. MONKS et al. (2013) encontraram uma redução de 65,23% no teor de lipídios do arroz em função do beneficiamento. SIEBENMORGEN et al. (2006) compararam diferentes cultivares e tempos de beneficiamento e encontraram níveis mais baixos de gordura causados pelos efeitos do beneficiamento.

Tabela 3. Qualidade físico-química dos grãos de arroz em função dos níveis de adubação, cultivares e tipo de beneficiamento

Análise (%)	Nível de adubação	Arroz polido		Arroz integral	
		IRGA 424 RI	IRGA 431 CL	IRGA 424 RI	IRGA 431 CL
Proteína bruta	Testemunha	11,37 Ac	11,88 Ad	8,33 Aa	11,07 Ab
	Baixo	11,47 Ab	12,12 Ac	9,61 Ba	11,43 Bb
	Médio	11,57 Ab	12,58 Bc	9,54 Ba	11,52 Bb
	Alto	12,52 Bc	12,91 Cd	9,88 Ca	11,81 Cb
Gordura	Testemunha	0,68 Bb	0,72 Bc	1,58 Ad	0,54 Aa
	Baixo	0,88 Cb	0,71 Ba	1,66 Bc	0,63 Ba
	Médio	0,65 Ba	0,68 Aa	1,76 Cb	0,73 Ca
	Alto	0,51 Aa	0,61 Ab	1,81 Cd	0,91 Dc
Fibra bruta	Testemunha	2,17 Ba	2,20 Ba	2,18 Ba	2,18 Ca
	Baixo	2,37 Cc	2,34 Cc	2,13 Aa	2,18 Cb
	Médio	2,32 Cb	2,13 Aa	2,12 Aa	2,13 Ba
	Alto	2,08 Aa	2,11 Aa	2,11 Aa	2,08 Aa
Cinza	Testemunha	1,38 Aa	1,63 Bb	1,38 Aa	1,38 Aa
	Baixo	1,62 Bc	1,61 Bc	1,37 Aa	1,52 Bb
	Médio	1,62 Bc	1,37 Aa	1,43 Bb	1,68 Cc
	Alto	1,35 Aa	1,35 Aa	1,42 Bb	1,73 Cc
Amido	Testemunha	66,33 Ba	66,12 Aa	68,83 Cb	69,77 Dc
	Baixo	65,36 Aa	67,06 Bc	67,22 Bc	66,55 Cb
	Médio	64,50 Aa	68,51 Bc	66,88 Bb	64,73 Ba
	Alto	68,87 Cc	69,22 Cc	65,34 Ab	62,64 Aa

As médias seguidas por letras maiúsculas nas colunas entre os níveis de adubação e minúsculas nas linhas entre cultivares para cada forma de beneficiamento diferem em 5% de probabilidade.

Fonte: Autora.

O aumento nos níveis de adubação resultou em um alto percentual de proteína bruta nos grãos. A síntese e o acúmulo de proteínas nos grãos são altamente dependentes da disponibilidade de fertilizantes nitrogenados. A regulação da disponibilidade de nitrogênio afeta o conteúdo de proteína nos grãos. GUO et al. (2019) estudaram cultivares em condições de alto e baixo nitrogênio e relataram que o teor de proteína dos grãos aumentou com o nível de nitrogênio. Diferenças significativas sob altos níveis de nitrogênio foram mostradas. As proteínas do arroz estão localizadas principalmente no endosperma, com o aumento do tempo de beneficiamento (arroz polido), o percentual de proteína bruta pode diminuir. LIU et al. (2017) observaram uma diminuição de 13,1 a 13,9% no teor de proteína bruta (de 8,92 para 7,75 e de 9,57g/100g para 8,24g/100g) com aumento do tempo de processamento de 0 a 15%. TRAN et al. (2004) observaram que o teor de proteína no arroz diminuiu de 7,45 para 6,54% com o aumento do tempo de processamento de 0 para 20%.

Nos resultados da fibra bruta, o maior percentual foi observado nos grãos tratados com baixo nível de adubação, submetidos ao processo de polimento. Os

grãos de arroz integral apresentaram alto valor de fibra bruta para o tratamento controle. O teor de amido nos grãos de arroz, diferente do teor de proteína bruta, diminuiu com o aumento da adubação. Da mesma forma, HUANG et al. (2020) avaliaram o efeito do fertilizante nitrogenado na qualidade de duas cultivares de arroz e concluíram que a síntese de amilopectina, principal molécula que compõem o amido, pode ter sido afetada pelo fertilizante; assim, o teor de amido diminuiu com o aumento da dose de fertilizante em ambas as cultivares, acompanhado por um aumento no teor de proteína.

Análise estatística multivariada: componentes principais e correlações entre variáveis físicas e físico-químicas

A análise das duas primeiras variáveis canônicas apresentadas na Figura 3A reuniu 74,4% da variação total entre os tratamentos. Neste biplot, tratamentos próximos entre si apresentaram alta similaridade. Os vetores apontaram para as variáveis que mais influenciaram a similaridade dos tratamentos. Desse modo, observou-se que os tratamentos G6, G7, G8 e G14 (Cultivar IRGA 424 RI, processamento integral com baixo, médio e altos níveis de adubação; Cultivar IRGA 431 CL, processamento integral e baixo nível de adubação) se aproximaram da maioria das variáveis avaliadas (amarelo, gessado, renda, ardido, gordura, teor de água, marinheiro, picado ou manchado e rendimento).

Esses resultados indicam que esses tratamentos obtiveram as maiores médias para essas variáveis. Dentre os fatores estudados (cultivares, níveis de adubação e tipos de beneficiamento), o beneficiamento integral obteve resultados semelhantes aos dos tratamentos G6, G7, G8 e G14. O tratamento G13 (cultivar IRGA 431 CL, adubação testemunha e beneficiamento integral) apresentou a maior associação com a variável amido. Houve similaridade dos tratamentos G1 (cultivar IRGA 424 RI, adubação testemunha e processamento polido), G9, G10, G11 e G12 (cultivar IRGA 431 CL com processamento polido e adubação testemunha, baixo, médio e altos níveis de adubação, respectivamente), sobretudo com relação à variável grãos quebrados. Os tratamentos G2, G3 e G4 apresentaram maior associação com a variável dureza dos grãos e teores de cinzas (cultivar IRGA 424 RI com

menor correlação entre si e com as variáveis físicas, enquanto as análises físicas e físico-químicas correlacionaram positivamente nos mais altos níveis de adubação e negativamente nos níveis mais baixos de adubação.

As variáveis físicas tiveram correlações positivas de alta magnitude influenciadas pelo beneficiamento integral, enquanto que, as variáveis físico-químicas tiveram correlações negativas de alta magnitude, influenciadas pelo beneficiamento polido. Embora tenha havido uma baixa magnitude de correlação entre o rendimento, a proteína bruta e grãos quebrados, houve indícios de relações entre o aumento na proteína bruta com um maior rendimento dos grãos inteiros e uma redução da proteína bruta com grãos quebrados. Além disso, o aumento no teor de amido foi oposto ao teor de cinzas, enquanto o aumento na proteína bruta foi inverso ao baixo teor de gordura nos grãos de arroz processados.

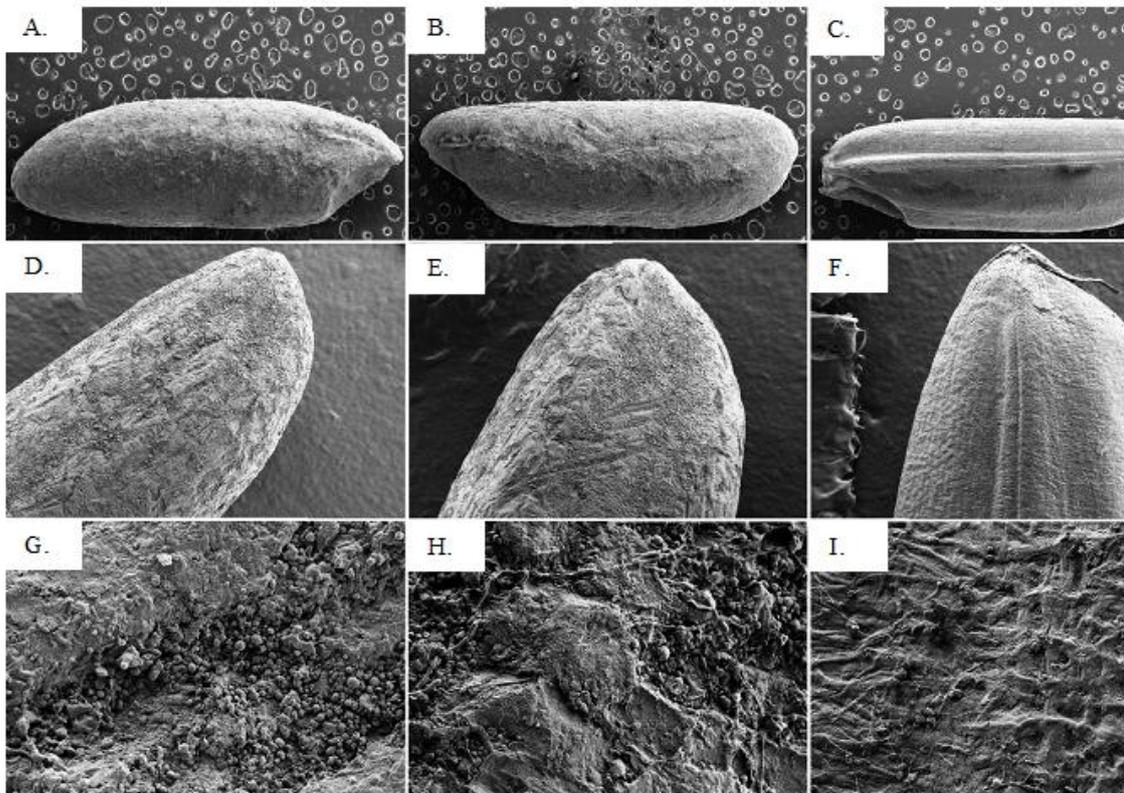
Análises MEV

Através da Figura 4 apresentam-se as imagens obtidas através de MEV. Nas Figuras 4A, 4D e 4G observam-se os grãos de arroz cultivados em níveis mais elevados de adubação, nas Figuras 4B, 4E e 4H os grãos de arroz cultivados em níveis baixos de adubação e nas Figuras 4C, 4F e 4I os grãos de arroz cultivados em níveis médios de adubação.

O aumento do nível de adubação caracterizou os grânulos dos grãos de arroz em uma superfície plana e lisa, sem traços marcados, exceto por algumas estrias e rachaduras visíveis. Os grãos de arroz apresentaram forma poliédrica e tamanho de partícula de 2 a 11 μ m, com distribuição granulométrica bimodal (MESTRES et al., 1996).

O aumento nos níveis de adubação influenciou na permeabilidade dos grãos, apresentando maior porosidade e cavidades maiores. Os poros formaram orifícios e canais em uma direção radial ao longo do grânulo. De acordo com COPELAND et al. (2009), o teor de amido nos grãos tem correlação significativa com as propriedades texturais, onde grãos com alta concentração de amido apresentam mais poros e cavidades, embora, em geral, os grânulos de arroz tenham baixa permeabilidade, pois as moléculas de amilase são compactas e formam cadeias de amilopectina (ZHAO et al., 2016; ZHAN et al., 2020).

Figura 4 - Imagens MEV de grãos de arroz de diferentes níveis de adubação em diferentes ampliações.



Em que: (A) nível de adubação "Alto" ampliação 40X, (B) nível de adubação "Baixo" ampliação 40X, (C) nível de adubação "Médio" ampliação 40X, (D) nível de adubação "Alto" ampliação de 100X, (E) nível de adubação "Baixo" ampliação de 100X, (F) nível de adubação "Médio" ampliação de 100X, (G) nível de adubação "Alto" ampliação de 3000X, (H) Nível de adubação "Baixo" ampliação de 3000X, e (I) nível de adubação "Médio", aumento de 3000X.

Fonte: Autora.

O aumento nos níveis de adubação foi favorável ao aumento dos teores de amido no arroz polido e aumento dos teores de proteína bruta e dureza nos grãos polidos e integrais. Além disso, os grãos apresentaram uma morfologia com um conjunto de grânulos mais frágeis quando submetidos aos processos de pós-colheita e beneficiamento.

CONCLUSÕES

IRGA 431 CL cultivada com altos níveis de adubação produziu grãos de arroz com alta qualidade física após o beneficiamento e alta qualidade físico-química após

o polimento. O arroz integral obteve os maiores percentuais de grãos inteiros e gessados, enquanto o arroz polido obteve os maiores percentuais de grãos quebrados e amarelos.

As cultivares IRGA 424 RI e IRGA 431 CL apresentaram maior teor de proteína bruta no arroz polido. Além disso, no teor de amido, as cultivares IRGA 424 RI e IRGA 431 CL mantiveram alta porcentagem no arroz integral e no arroz polido, respectivamente. O índice de dureza e resistência à quebra dos grãos foi maior para os grãos integrais, e entre as cultivares, a IRGA 431 CL teve melhor resultado.

Portanto, houve influência do tipo de cultivar de arroz, dos níveis de adubação e dos tipos de beneficiamento sobre a qualidade física e físico-química dos grãos, e cada conjunto de fatores avaliado atribuiu diferentes resultados qualitativos. Os resultados morfológicos seguem os resultados físico-químicos quanti-qualitativos, distinguindo os níveis de adubação como o principal fator de influência na qualidade do arroz beneficiado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry, 16th ed. Washington: AOAC, 2000, p.4.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº6 de 16 de fevereiro de 2009. Regulamento Técnico do Arroz. Brasília, DF, 11 fev.

CEN, H. Y.; HE, Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. **Trends in Food Science and Technology**, v.18, p.72-83, 2007. DOI:10.1016/j.tifs.2006.09.003.

COPELAND, L. et al. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v.23, p.1527-1534, 2009. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2008.09.016.

CORADI, P. C. et al. 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, e101624, 2020a. DOI: 10.1016/j.jspr.2020.101624.

CORADI, P. C. et al. Quality of soybean cultivars in the drying and storage processes in real scale and experimental. **Journal of Food Process Engineering**, v.43, e13418, 2020b. DOI: 10.1111/jfpe.13418.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000. DOI: 10.2135/cropsci2000.402436x.

- CUSTODIO, M. C. et al. Rice quality: how is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists?. **Trends in Food Science and Technology**, v.92, p.122-137, 2019. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.039.
- FAN, X. et al. Non-Invasive detection of protein content in several types of plant feed materials using a hybrid near infrared spectroscopy model. **PLoS One**, v.11, e0163145, 2016. DOI: 10.1371/journal.pone.0163145.
- GU, J. et al. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. **The Crop Journal**, v.3, p.285-297, 2015. DOI: 10.1016/j.cj.2015.03.007.
- GUO, B. et al. Regulation of nitrogen availability results in changes in grain protein content and grain storage subproteomes in barley (*Hordeum vulgare*). **PLoS One**, v.14, e0223831, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0223831.
- HU, P. et al. Effects of surface proteins and lipids on molecular structure, thermal properties, and enzymatic hydrolysis of rice starch. **Food Science and Technology International**, v.38, p.84-90, 2018. DOI: 10.1590/1678-457X.35016.
- HUANG, S. et al. Characterization of eating quality and starch properties of two Wx alleles japonica rice cultivars under different nitrogen treatments. **Journal of Integrative Agriculture**, v.19, p.988-998, 2020. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62672-9.
- ISHIMARU T. et al. Formation of grain chalkiness and changes in water distribution in developing rice caryopses grown under high-temperature stress. **Journal of Cereal Science**, v.50, p.166-174, 2009. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.04.011.
- LIN, C. et al. Determination of grain protein content by near-infrared spectrometry and multivariate calibration in barley. **Food Chemistry**, v.162, p.10-15, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.04.056.
- LIU, K. L. et al. Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v.52, p.188–195, 2017. DOI: 10.1111/ijfs.13265.
- MA, M. et al. Removal of starch granule-associated proteins promotes α -amylase hydrolysis of rice starch granule. **Food Chemistry**, v.330, e127313, 2020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127313.
- MESTRES, C. et al., A rapid method for the determination of amylose content by using differential-scanning calorimetry. **Starch**, v.48, p.2-6, 1996. DOI: 10.1002/star.19960480103.
- MONKS, J. L. F. et al. 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. DOI: 10.1016/j.jfca.2013.01.009.
- SIEBENMORGEN, T. J.; MATSLER, A. L.; EARP, C. F. Milling characteristics of rice cultivars and hybrids. **Cereal Chemistry**, v.83, p.169-172, 2006. DOI: 10.1094/CC-83-0169.
- SRIKAEAO, K.; BOONROD, C.; RAHMAN, M. S. Effect of storage temperatures on the head rice yield in relation to glass transition temperatures and un-freezable water. **Journal of Cereal Science**, v.70, p.164-169, 2016. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.06.006.

TAKAI, T. et al. Identifying key traits in high-yielding rice cultivars for adaptability to both temperate and tropical environments. **The Crop Journal**, v.7, p.685-693, 2019. DOI: 10.1016/j.cj.2019.06.004.

TRAN, T. U. et al. Analysis of the tastes of brown rice and milled rice with different milling yields using a taste sensing system. **Food Chemistry**, v.88, p.557–566, 2004. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.02.007.

YADAV, B. K.; JINDAL, V. K. Monitoring milling quality of rice by image analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.33, p.19-33, 2001. DOI: 10.1016/S0168-1699(01)00169-7.

YUBONMHAT, K. et al. Cellular water and proton relaxation times of thai rice kernels during grain development and storage. **Journal of Cereal Science**, v.88, p.65-70, 2019. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.05.005.

WOOD, D. F. et al. Use of microscopy to assess bran removal patterns in milled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60, p.6960-6965, 2012. DOI: 10.1021/jf301263s.

ZHAO, L. et al. Application of whole sections of mature cereal seeds to visualize the morphology of endosperm cell and starch and the distribution of storage protein. **Journal of Cereal Science**, v.71, p.19-27, 2016. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.07.010.

ZHAN, Q. et al. Starch granule-associated proteins affect the physicochemical properties of rice starch. **Food Hydrocolloids**, v.101, e105504, 2020. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105504.

ZHANG, H. et al. Optimizing integrative cultivation management improves grain quality while increasing yield and nitrogen use efficiency in rice. **Journal of Integrative Agriculture**, v.18, p.2716-2731, 2019. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62836-4.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v.35, p.65-78, 2002. DOI: 10.1006/jcrs.2001.0418.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros de produção como as cultivares e o manejo de adubação, causam efeitos significativos na qualidade do beneficiamento do arroz. As cultivares diferem entre si quanto à qualidade física e físico-química, sendo necessário um nível específico de adubação para cada. O manejo do sistema de produção, com altos níveis de adubação, alcançou os melhores resultados de dureza rendimento dos grãos inteiros, independente da cultivar. O arroz polido, mesmo sendo submetido a processos mais abrasivos para remoção da camada externa no beneficiamento, apresentou maior teor de proteína bruta, independente da cultivar. Por outro lado, apresentou maiores percentuais de grãos quebrados. O processamento de imagens

mostrou-se uma excelente ferramenta para identificação e controle de qualidade. Os métodos de processamento de imagem podem fornecer informações rápidas e precisas sobre vários aspectos da qualidade de grãos de arroz.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M.M. et al. Principles and recent advances in electronic nose for quality inspection of agricultural and food products. **Trends in Food Science and Technology**, v.99, p.1-10, 2020. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.028.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Mapeamento do arroz irrigado no Brasil. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: ANA, 40 p., 2020.

ARSENAULT, J. E. et al. The current high prevalence of dietary zinc inadequacy among children and women in rural Bangladesh could be substantially ameliorated by zinc biofortification of rice. **Journal of Nutrition**, v.140, p.1683–1690, 2010. DOI: 10.3945/jn.110.123059.

BAO, J. S. Rice milling quality. In: Bao, J. S., Rice Chemistry and Technology. **Elsevier Inc.**, 4th ed., p.339– 369, 2019.

BAZONI, C. H. V. et al. Near-infrared spectroscopy as a rapid method for evaluation physicochemical changes of stored soybeans. **Journal of Stored Products Research**, v.73, p.1-6, 2017. DOI: 10.1016/j.jspr.2017.05.003.

BHARGAVA, A.; BANSAL, A. Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. **Journal of King Saud University Computer and Information Sciences**, v.33, p.243-257, 2021. DOI: 10.1016/j.jksuci.2018.06.002.

BHAT, F. M.; RIAR, C. S. Effect of composition, granular morphology and crystalline structure on the pasting, textural, thermal and sensory characteristics of traditional rice cultivars. **Food Chemistry**, v.280, p.303-309, 2019. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.12.064.

BHAT, F. M.; RIAR, C. S. Extraction, identification and assessment of antioxidative compounds of bran extracts of traditional rice cultivars: An analytical approach. **Food Chemistry**, v.237, p.264-274, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.113.

BHATTACHARJEE, S.; DEY, N. Redox metabolic and molecular parameters for screening drought tolerant indigenous aromatic rice cultivars. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.24, p.7–23, 2018. DOI: 10.1007/s12298-017-0484-1.

BIJAY-SINGH; SINGH V. K. Fertilizer Management in Rice. In: Chauhan, B.; Jabran, K.; Mahajan, G. Rice Production Worldwide. **Springer International**, p.217-253, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-47516-5_10.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº6 de 16 de fevereiro de 2009. Regulamento Técnico do Arroz. Brasília, DF, 11 fev.

- CEN, H. Y.; HE, Y. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. **Trends in Food Science and Technology**, v.18, p.72-83, 2007. DOI:10.1016/j.tifs.2006.09.003.
- CHAMPAGNE, E. T. et al. Chapter 4: The rice grain and its gross composition. **RICE: Chemistry and Technology**, p.77-107, 2004. DOI: 10.1094/1891127349.004.
- CHEN, J. et al. Yield performance of early-season rice cultivars grown in the late season of double-season crop production under machine-transplanted conditions. **PLoS One**. v.14, e0213075, 2019. DOI:10.1371/journal.pone.0213075.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. A cultura do arroz. Brasília: Conab, 180p., 2015. ISBN: 978-85-62223-06-8.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2020/21. Brasília, v.8, n.9, p.1-121, 2021. ISSN 2318 6852.
- CUSTODIO, M. C. et al. Rice quality: how is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists?. **Trends in Food Science and Technology**, v.92, p.122-137, 2019. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.039.
- DALPASQUALE, V. A.; SPERANDIO, D.; KOLLING, E. M. Performance of the Michigan drying simulation model with a new drying rate concept. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.553-557, 2009. DOI: 10.1590/S1807-86212009000400001.
- DIPTI, S. S. et al. The potential of rice to offer solutions for malnutrition and chronic diseases. **Rice (N Y)**, v.5, 2012. DOI: 10.1186/1939-8433-5-16.
- DONLAO, N.; OGAWA, Y. Impacts of processing conditions on digestive recovery of polyphenolic compounds and stability of the antioxidant activity of green tea infusion during in vitro gastrointestinal digestion. **Food Science and Technology**, v.89, p.648-656, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.11.051.
- ELMASRY, G. et al. Utilization of computer vision and multispectral imaging techniques for classification of cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. **Plant Methods**, v.15, 2019. DOI: 10.1186/s13007-019-0411-2.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Production Indices. 2021. Acesso em: 16 jun. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- FARAHMANDFAR, R. et al. Milled rice quality assessment. **International Journal of Food Engineering**, v.6, 2010. DOI: 10.2202/1556-3758.1682.
- GROHS, M. et al. Resposta à expectativa de adubação das cultivares de arroz irrigado. In: XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 2019, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: CBAI, 2019.
- GU, J. et al. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. **The Crop Journal**, v.3, p.285-297, 2015. DOI: 10.1016/j.cj.2015.03.007.
- GUAN, B. et al. Determination of rice storage time with colorimetric sensor array. **Food Analytical Methods**, v.10, p.1054–1062, 2017. DOI: 10.1007/s12161-016-0664-6.

- GUO, B. et al. Regulation of nitrogen availability results in changes in grain protein content and grain storage subproteomes in barley (*Hordeum vulgare*). **PLoS One**, v.14, e0223831, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0223831.
- HAQUE, M. E. et al. Minimum tillage unpuddled transplanting: An alternative crop establishment strategy for rice in conservation agriculture cropping systems. **Field Crops Research**, v.185, p.31-39, 2016. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.10.018.
- HAYDON, K. N.; SIEBENMORGEN, T. J. Impacts of delayed drying on discoloration and functionality of rice. **Cereal Chemistry**, v.94, p.683-692, 2017. DOI: 10.1094/CCHEM-10-16-0257-R.
- HUANG, S. et al. Characterization of eating quality and starch properties of two Wx alleles japonica rice cultivars under different nitrogen treatments. **Journal of Integrative Agriculture**, v.19, p.988-998, 2020. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62672-9.
- IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. CIRCULAR TÉCNICA Nº 002/AGOSTO/2019: IRGA 431 CL: resistência à brusone e excelente qualidade de grãos. Cachoeirinha, RS, 2019.
- JOHANSEN, C. et al. Conservation agriculture for small holder rainfed farming: opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. **Field Crops Research**, v.132, p.18-32, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2011.11.026.
- JOSHI, N. D.; MOHAPATRA, D.; JOSHI, D. C. Varietal selection of some indica rice for production of puffed rice. **Food and Bioprocess Technology**, v.7, p.299-305, 2013. DOI: 10.1007/s11947-013-1056-1.
- JULIANO, B. O.; TUAÑO, A. P. P. 2 - Gross structure and composition of the rice grain. Rice (Fourth Edition). **Chemistry and Technology**, p.31-53, 2019. DOI:10.1016/B978-0-12-811508-4.00002-2.
- KALPANADEVI, C.; SINGH, V.; SUBRAMANIAN, R. Impact of physicochemical properties on duration and head rice yield during abrasive and friction milling of rice. **Journal of Food Science and Technology**, v.56, p.3900–3909, 2019. DOI: 10.1007/s13197-019-03861-z.
- KAMINSKI, T.A. et al. Changes in culinary, viscoamylographic and sensory characteristics during rice storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, v. 53, p.37-42, 2013. DOI: 10.1016/j.jspr.2013.02.003.
- KAUR, A.; BHISE, S.; KAUR, M. Hydrothermal treatments for paddy to improve physicochemical quality of brown rice. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v.9, p.913-926, 2020. DOI: 10.15414/jmbfs.2020.9.5.913-926.
- KUMAR, D., KALITA, P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. **Foods**, v.6, p.1-22, 2017. DOI: 10.3390/foods6010008.
- LI, H. et al. Effects of the degree of milling on starch leaching characteristics and its relation to rice stickiness. **Journal of Cereal Science**, v.98, e103163, 2021. DOI: 10.1016/j.jcs.2021.103163.

- LURSTWUT, B.; PORNPANOMCHAI, C. Image analysis based on color, shape and texture for rice seed (*Oryza sativa* L.) germination evaluation. **Agriculture and Natural Resources**, v.51, 2018. DOI: 10.1016/j.anres.2017.12.002.
- MATSUO, M. et al. Practical Application of near-infrared spectroscopy for determining rice amylose content at grain elevator. **AZOJETE**, v.14, p.95-100, 2018.
- MESTRES, C. et al., A rapid method for the determination of amylose content by using differential-scanning calorimetry. **Starch**, v.48, p.2-6, 1996. DOI: 10.1002/star.19960480103.
- MONICA, M. et al. Effect of urea phosphate foliar supplementation on yield, nutrient uptake and grain quality of rice (*Oryza sativa* L.) in acid Inceptisols. **Oryza**, v.57, p.132-138, 2020. DOI: 10.35709/ory.2020.57.2.7.
- MUKHOPADHYAY, S.; SIEBENMORGEN, T. J. Effect of airflow rate on drying air and moisture content profiles inside a cross-flow drying column. **Dry Technology**, v.36, p.1326–1341, 2018. DOI: 10.1080/07373937.2017.1402024.
- MÜLLER, C. et al. Ecophysiological responses to excess iron in lowland and upland rice cultivars. **Chemosphere**, v.189, p.123-133, 2017. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.09.033.
- NAMBI, E. V. et al. Rice milling technology to produce brown rice. In: MANICKAVASAGAN, A.; SANTHAKUMAR, C.; VENKATACHALAPATHY, N. Brown Rice. **Springer International**, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-59011-0_1.
- QIU, G. et al. Single-kernel FT-NIR spectroscopy for detecting supersweet corn (*Zea mays* L. *Saccharata* Sturt) seed viability with multivariate data analysis. **Sensors (Basel)**, v.18, e1010, 2018. DOI: 10.3390/s18041010.
- RODRÍGUEZ-ARZUAGA, M. et al. Impacts of degree of milling on the appearance and aroma characteristics of raw rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.96, p.3017-3022, 2016. DOI: 10.1002/jsfa.7471.
- RUNGE, J. et al. Multi-element rice grains analysis by ICP OES and classification by processing types. **Food Chemistry**, v.271, p.419-424, 2019. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.162.
- RUSDIANSYAH, R.; SALEH, M. Response of two local rice cultivars to different doses of nitrogen fertilizer in two paddy fields. **Agrivita Journal of Agricultural Science**, v.39, p.137-144, 2017. DOI: 10.17503/agrivita.v39i0.572.
- SALDAÑA, E. et al. Review: computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.16, n.4, p.254-272, 2013. DOI: 10.1590/S1981-67232013005000031.
- SHEWRY, P. R. et al. Defining genetic and chemical diversity in wheat grain by 1H-NMR spectroscopy of polar metabolites. **Molecular Nutrition & Food Research**, v.61, e1600807, 2017. DOI: 10.1002/mnfr.201600807.
- SONG, W. et al. Nitrate supply affects root growth differentially in two rice cultivars differing in nitrogen use efficiency. **Plant and Soil**, v.343, p.357–368, 2011. DOI 10.1007/s11104-011-0723-0.

- SOSBAI. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. ARROZ IRRIGADO: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. XXXII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO. Farroupilha - RS – Brasil. ago. 2018. 205p.
- SUBEDI, U. et al. Degree of milling effect on cold water rice quality. **Journal of Nepal Agricultural Research Council**, v.4, p.7-17, 2018. DOI: 10.3126/jnarc.v4i1.19685.
- TAKAI, T. et al. Identifying key traits in high-yielding rice cultivars for adaptability to both temperate and tropical environments. **The Crop Journal**, v.7, p.685-693, 2019. DOI: 10.1016/j.cj.2019.06.004.
- TONG, C. et al. Impact of postharvest operations on rice grain quality: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.18, 2019. DOI: 10.1111/1541-4337.12439.
- VIEIRA, N. R. de A. Qualidade de grãos e padrões de classificação de arroz. Informe Agropecuário, Embrapa Arroz e Feijão, Belo Horizonte, v.25, n.222, p.94-100, 2004.
- VITHU, P.; MOSES, J. A. Machine vision system for food grain quality evaluation: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v.56, p.13-20, 2016. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.07.011.
- WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. **Food & Function**, v.4, p.1564-1580, 2013. DOI: 10.1039/C3FO60258C.
- YAZDPOUR, H. et al. Effects of harvesting time and harvesting height on grain yield and agronomical characters in rice ratoon (*Oryza sativa* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v.10, p.438-440, 2012. DOI: 10.1234/4.2012.2682.
- YING, X. et al. E-nose based rapid prediction of early mouldy grain using probabilistic neural networks. **Bioengineered**, v.6, p.222-226, 2015. DOI:10.1080/21655979.2015.1022304.
- YOUSAF, M. et al. Effects of fertilization on crop production and nutrient-supplying capacity under rice-oilseed rape rotation system. **Scientific Reports**, v.7, n.1270, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-01412-0
- ZHANG, G. et al. Substituting brown rice for white rice to lower diabetes risk: A focus-group study in Chinese adults. **Journal of the American Dietetic Association**, v.110, p.1216–1221, 2010. DOI: 10.1016/j.jada.2010.05.004.
- ZHANG, H. et al. Changes in mineral elements and starch quality of grains during the improvement of japonica rice cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.98, p.122–133, 2018. DOI: 10.1002/jsfa.8446.
- ZHANG, H. et al. Optimizing integrative cultivation management improves grain quality while increasing yield and nitrogen use efficiency in rice. **Journal of Integrative Agriculture**, v.18, p.2716-2731, 2019. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62836-4.
- ZHANG, L. et al. Discrimination of transgenic rice based on near infrared reflectance spectroscopy and partial least squares regression discriminant analysis. **Rice Science**, v.22, p.245-249, 2015. DOI: 10.1016/j.rsci.2015.09.004.

ZHAO, C. et al. Comparative transcriptomic analysis in paddy rice under storage and identification of differentially regulated genes in response to high temperature and humidity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.65, p.8145–8153, 2017. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b03901.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v.35, p.65-78, 2002. DOI: 10.1006/jcrs.2001.0418.

ZHU, L. J. et al. Study of kernel structure of high-amylose and wild-type rice by X-ray microtomography and SEM. **Journal of Cereal Science**, v.55, p.1-5, 2012. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.08.013.

ZHU, Z. et al. Determination of soybean routine quality parameters using near-infrared spectroscopy. **Food Science & Nutrition**, v.6, p.1109-1118, 2018. DOI:10.1002/fsn3.652.