



**CARLOS EDUARDO MONTALVO SALGADO**

**ANÁLISES DE IMAGENS NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE  
ARROZ PARA QUALIDADE DE GRÃOS**

**LAVRAS - MG**

**2022**

**CARLOS EDUARDO MONTALVO SALGADO**

**ANÁLISES DE IMAGENS NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ PARA  
QUALIDADE DE GRÃOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética Quantitativa e Melhoramento de Espécies Vegetais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Flavia Barbosa Silva Botelho

Orientadora

**LAVRAS - MG**

**2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Salgado, Carlos Eduardo Montalvo.

Análises de imagem na seleção de linhagens de arroz para  
qualidade de grãos / Carlos Eduardo Montalvo Salgado. - 2022.  
50 p.

Orientador(a): Flávia Barbosa Silva Botelho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. *Oryza sativa* L. 2. análises de imagem. 3. melhoramento  
genético. I. Botelho, Flávia Barbosa Silva. II. Título.

**CARLOS EDUARDO MONTALVO SALGADO**

**ANÁLISES DE IMAGENS NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ PARA  
QUALIDADE DE GRÃOS**

**IMAGE ANALYSIS IN THE SELECTION OF RICE LINEAGES FOR GRAIN  
QUALITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética Quantitativa e Melhoramento de Espécies Vegetais para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 31 DE MARÇO DE 2022.  
Dr<sup>a</sup>. Aurinelza Batista Teixeira Condé – EPAMIG  
Dr<sup>a</sup>. Cinthia Souza Rodrigues - IAC

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flavia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

**LAVRAS - MG**

**2022**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Biologia, ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, ao Departamento de Agricultura, ao Setor de Sementes e a todos os professores, técnicos e funcionários, por toda estrutura, oportunidade de estudo, aprendizado e crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio.

A minha orientadora, a Prof. Dra. Flavia Barbosa Silva Botelho, pela orientação e atenção, ajuda e confiança, conhecimento e parceria, profissionalismo e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas e aos funcionários. Em especial à Coordenadora do programa, Flávia Maria Avelar Gonçalves, à secretária do programa, Lilian Freitas, por toda atenção e ajuda. E também aos professores, Giovana Augusta Torres, Vinícius Quintão Carneiro, João Cândido de Souza, Evandro Novaes e Welison Andrade Pereira por todo aprendizado.

A todos os estudantes de doutorado, mestrado e graduação do Programa de Melhoramento Genético de Arroz. Em especial ao Felipe Cardoso Pereira, Camila Soares, Isadora Guedes, Maria Paula Ramos, Gilberto Miranda e Tulio Vechi, pela parceria e ajuda durante o mestrado.

Agradeço especialmente ao estudante de doutorado e colega de grupo de pesquisa, Gerald Sormanti, por toda contribuição neste trabalho, ajuda e parceria.

Ao Núcleo de Estudos em Genética e Melhoramento do Arroz de terras altas (MELHORARROZ), do qual fiz parte junto com Amanda Moura, Yasmin Berchembrock, Lais Moretti, Neto Rosário, Camila Soares e Isabela Pereira de Lima, por tudo que fizemos juntos, pelos desafios e crescimento tanto pessoal como profissional.

Às amigas que fiz ao longo do mestrado. Em especial ao Danyllo Oliveira, Alessandra Rivera, Kátia Regina, e Marcelo Trindade. A turma da colômbia que juntos fizemos do Brasil uma nova casa colombiana, em especial a Viviana Ramirez pelo carinho e amizade.

Aos meus tios, Julio Alberto Montalvo, Armando Montalvo, Luis Alonso Montalvo, Clemencia Montalvo, Isabel Montalvo, Norma Montalvo, Claudia Montalvo, Isabel Montalvo, e em Especial a minha mãe Martha por serem o meu alicerce, por terem sido os principais responsáveis por este momento em minha vida e por todo esforço, apoio e amor destinados a

mim.

A Deus, por ter colocado todas essas pessoas em meu caminho e ter me permitido chegar até aqui.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

O arroz (*Oryza Sativa*) tem sido considerado como uma das espécies mais importantes ao longo do tempo, porque é um alimento básico na dieta diária de milhares de pessoas ao redor do mundo. Junto com as culturas de milho e trigo representa 42,5% do abastecimento da energia humana. Por ser um produto com grande relevância para a população, a preferência do consumidor pelas características do grão é um fator determinante na hora da comercialização do arroz. A produção de grãos íntegros, translúcidos, longos e finos, com características sensoriais e culinárias de alta qualidade, são os principais atributos de preferência do consumidor, deixando fortemente segmentado o mercado, devido ao fato de que as preferências variam com as regiões consumidoras, fazendo com que o melhoramento visando a qualidade de grãos seja desafiador. A mensuração das características fenotípicas para a qualidade de grãos é trabalhosa, demanda tempo e mão de obra, razão pela qual é importante desenvolver novas ferramentas que permitam agilizar as avaliações com o objetivo de se obter um programa de melhoramento eficiente. A análises de imagem tem demonstrado ser uma poderosa ferramenta nos programas de melhoramento de arroz, trazendo grandes vantagens para os melhoristas, gerando grande confiabilidade na hora de analisar dados fenotípicos de forma rápida e automática. Assim, objetivou-se, no presente estudo, validar mediante a metodologia de análises de imagem a eficiência da seleção de genótipos superiores visando a obtenção de cultivares com alto rendimento e qualidade física de grãos no programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os experimentos de campo foram executados, tanto na safra 2018/19, quanto em 2019/20. Para o caráter de peso de mil grão foram avaliados um total de 20 linhagens de arroz pertencentes aos Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da safra 2018/19, 100 progênies do Ensaio de Observação e 36 linhagens do Ensaio Preliminar; Para o caráter de gessamento foram avaliados 15 genótipos do ensaio de valor de cultivo e uso (VCU) da safra 2019/20, todas as linhagens pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas, As sementes dos genótipos foram semeadas em parcelas experimentais e, posteriormente, colhidas para a obtenção de amostras representativas dos grãos. As características avaliadas foram: % de gessamento de grãos e peso de 1000 grãos, tanto por meio da análise fenotípica quanto pelo emprego do uso da análise de imagem, por meio do equipamento GroundEye. Após a análise dos dados, correlacionou-se as duas metodologias para a fenotipagem de alto rendimento para as características de peso de mil grãos e porcentagem de gessamento. Os resultados mostraram valores positivos (0,70) para a característica de gessamento e (0,89) para a característica de peso de mil grãos. demonstrando que a metodologia de análises de imagem é eficiente. Logo, uma nova proposta para avaliação fenotípica da qualidade do grão, auxiliando a seleção indireta de genótipos superiores no programa de melhoramento genético de arroz de terras altas.

**Palavras-Chave:** *Oryza sativa* L.; análises de imagem; melhoramento genético.

## ABSTRACT

Rice (*Oryza Sativa*) has been regarded as one of the most important species over time because it is a staple in the daily diet of thousands of people around the world. Along with corn and wheat crops it represents 42.5% of human energy supply. As it is a product with great relevance in the population's basic diet, the consumer's preference for the characteristics of the grain is a determining factor at the time of marketing rice. The production of whole, translucent, long and fine grains, with high quality sensory and culinary characteristics, are the main attributes of consumer preference, a fact that leaves the market strongly segmented, as preferences vary with the consuming regions, making improvement aimed at grain quality challenging. The measurement of phenotypic characteristics for grain quality is laborious, requires time and manpower, which is why it is important to develop new tools that allow speeding up evaluations in order to obtain an efficient breeding program. Image analysis has proved to be an interesting tool in rice breeding programs, bringing great advantages to breeders, generating great reliability when analyzing phenotypic data quickly, automatically and efficiently. Thus, in the present study, was validate, through the image selection methodology, the efficiency of selection of a superior improvement model to complement the maintenance of cultivars with high yield and physical grain quality, in the UFLA upland genetic improvement program. The field experiments were carried out, both in the 2018/19 and 2019/20 harvests. There was a total of 20 rice lines acquired from the Cultivation and Use Value (VCU) of the 2018/19 harvest, 88 progenies from the Observation Assay and 36 lines from the Preliminary Assay of the Upland Rice Genetic Improvement Program. The seeds of the genotypes were sown in experimental plots and, later, collected to obtain representative samples of the grains. The characteristics evaluated were: % chalkiness grain and weight of 1000 grains, both through phenotypic analysis and through the use of image analysis, using the GroudEye equipment. After data analysis, two methodologies for high-yield phenotyping were correlated for the characteristics of thousand-grain weight and gypsum percentage. The results showed positive values (0.70) for the gypsum characteristic and (0.89) for the thousand-grain weight characteristic, demonstrating that the image analysis methodology is efficient. Therefore, a new proposal for phenotypic evaluation of grain quality, helping the indirect selection of superior genotypes in the upland rice genetic improvement program.

**Keywords:** *Oryza sativa* L.; image analysis; genetic breeding.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Cenário da cultura do arroz no Brasil .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Importância da qualidade dos grãos no melhoramento de arroz .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Análises de imagens aplicadas ao melhoramento genético de arroz. ....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Locais de condução dos experimentos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Material Genético.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Caráter peso de 1000 grãos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Condução dos experimentos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3</b>	<b>Caráter grau de gessamento de grãos .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Material Genético.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Condução dos experimentos .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Análises estatísticas .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é a base alimentar para mais da metade da população mundial, sendo um dos cereais mais produzidos e com maior demanda social. O reporte bianual da (FAO, 2021a), mostrou a média do consumo per capita em kg/ano do cereal nos diferentes continentes, no qual Ásia lidera com 76,9 kg, seguido pelo Sul da América com 32,4, África com 27,8, e Norte da América e Europa com 9,5 e 5,7 kg de arroz consumidos por ano respectivamente, destacando-se a importância na produção do cereal.

Nessa perspectiva, o melhoramento genético apresenta suma importância, pois além de ser uma ferramenta fundamental da agricultura moderna, fornece diferentes estratégias para o aumento da produtividade de grãos, visando atingir as demandas alimentares globais (BERCHEMBROCK et al., 2021).

Os programas de melhoramento de arroz tradicionalmente têm se focado no aumento da produtividade e nas adaptações aos estresses bióticos e abióticos procurando garantir a segurança alimentar (SOARES et al., 2004). Devido às grandes perdas ocasionadas durante o processo de beneficiamento do arroz e junto com a preferência no aspecto físico do grão no mercado por parte do consumidor, a qualidade do grão tornou-se uma característica de grande interesse para os melhoristas. Assim, os objetivos dos programas de melhoramento visam a associação de três grandes características, aumento da produtividade, tolerância a condições adversas e qualidade de grãos, com o intuito de garantir a sustentabilidade alimentar, além disso, maior retorno econômico para os produtores (BUTARDO; SREENIVASULU, 2019).

A qualidade do grão é uma característica complexa que abarca diferentes contextos, desde as propriedades físicas, cocção, características sensoriais até o conteúdo nutricional, tais atributos ditam valor ao mercado e são determinantes na hora do lançamento de novas cultivares nas principais regiões produtoras e consumidoras de arroz (FITZGERALD; MCCOUCH; HALL, 2009).

Existe um grande número de características que definem a qualidade do grão, dentro dos principais atributos encontra-se: o formato, conteúdo de amilose, largura e tamanho dos grãos, peso dos grãos e grau de gessamento, sendo as duas últimas as principais características objeto de pesquisa por parte dos melhoristas, pois elas refletem diretamente no preço, consumo, mercado e aceitação do consumidor. Da mesma forma a sua mensuração dessas características são imprecisas e ineficientes, além de ser uma tarefa trabalhosa que demanda tempo e mão de obra. Com tudo a qualidade de grãos é hoje uma peça-chave na seleção de genótipos superiores nos programas de melhoramento (CUSTODIO et al., 2019).

A análise de imagens é uma das potenciais ferramentas para tornar eficiente a mensuração de características fenotípicas tais como a qualidade do grão, permitindo a análise objetiva, prática e de grande grau de eficácia na compreensão de dados fenotípicos (KUO et al., 2016a), possibilitando o novo desenvolvimento de metodologias como alternativa na mensuração de características fenotípicas desejadas.

Diante do exposto, objetivou-se, no presente estudo, validar mediante a metodologia de análises de imagem a eficiência da seleção de genótipos superiores visando a obtenção de cultivares com alto rendimento e qualidade física de grãos, no programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da UFLA.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cenário da cultura do arroz no Brasil

O arroz (*Oryza Sativa*) tem sido considerado como uma das espécies mais importantes ao longo do tempo, porque é um alimento básico na dieta diária de milhares de pessoas ao redor do mundo. Junto com as culturas de milho e trigo representa 42,5% do abastecimento da energia humana, sendo um dos cereais mais produzidos e com maior demanda na atualidade, fundamental para a segurança alimentar (FAO; OCDE, 2019).

De acordo com a FAO (Food and Agriculture Organization), as estimativas de produção de cereais aumentarão a 2800 milhões de toneladas, 1,1% a mais do que 2020, onde o arroz participa com um aumento de 1,3 %, chegando a 520 milhões de toneladas. Quanto ao consumo, as previsões, também, demonstram um aumento e se espera que cresça 1,8% chegando a um máximo histórico de 520 milhões de toneladas, o crescimento obedece a uma expansão no uso alimentício de 1,6%, confirmando a sua importância no mundo. Porém, nesse nível, as produtividades dos grãos estão abaixo das necessidades de consumo, gerando como consequência uma queda na oferta de arroz, o que obriga os pesquisadores estarem em constante desenvolvimento, atualização e melhoramento de qualidade e produtividade de genótipos de arroz, para garantir um abastecimento seguro ao longo das gerações (FAO, 2021).

No Brasil, o arroz exerce um papel fundamental no âmbito econômico, social e cultural, pois contribui com a geração de emprego e renda para a produtividade agrícola interna, além, de ser junto com o feijão, os produtos mais consumidos pela população brasileira (FERREIRA; BARRIGOSI, 2021). Estima-se que na safra 2021/22, o Brasil tenha uma produção de 10.565,3 milhões de toneladas, em 1.636.000 de hectares plantadas, com produtividade média de 6,46 Ton/ha e consumo interno de 10,8 milhões de toneladas.

A produção no país pode se dar de duas maneiras, a primeira e que abarca a maior extensão é o sistema irrigado que compreende 1.304,6 milhões de hectares, com produção anual de 9.762,6 milhões de toneladas e produtividade média de 7.483 kg/ha, sendo os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os responsáveis por mais de 70% dessa produção. Do outro lado, o sistema de sequeiro ou de terras altas, que participa com 332 mil hectares, produzindo 802,7 mil toneladas por hectare, com produtividade média de 2.418 kg/ha, que em contraste com o sistema irrigado é bem inferior. Isto deve-se principalmente a uma redução de 7,9% na produtividade em conjunto com a redução da área das lavouras da cultura que caiu 2,4% causada pela boa rentabilidade da soja perante o arroz, fato que foi intensificado devido à desvalorização do produto no país, junto com o

acréscimo dos preços dos insumos agrícolas por causa da pandemia da covid-19 ao longo do 2021. Além disso, o cenário da anormalidade climática identificado na safra 2020/21, reflexo do fenômeno LA NIÑA, acarretara fortes quedas na produtividade orizícola do país. Porém o Brasil continua-se consolidando como um dos países com a produção orizicola mais sólida e competitiva de américa latina, transformando-se como a região mais produtora de arroz fora do continente Asiático (CONAB, 2022).

Por ser um produto com grande relevância na dieta básica da população Brasileira, a preferência do consumidor pelas características do grão é um fator determinante na hora da comercialização do arroz. A produção de grãos íntegros, translúcidos, longos e finos, com características sensoriais e culinárias de alta qualidade, são os principais atributos de preferência na compra do produto, razão pela qual, a qualidade dos grãos vem ganhando um espaço importante dentro dos programas de melhoramento, tonando-se um dos objetivos principais das pesquisas de desenvolvimento de novas cultivares a serem usadas pelos produtores (FREIRE DE SOUSA; FERREIRA, 2021).

## **2.2 Importância da qualidade dos grãos no melhoramento de arroz**

Durante décadas, os programas de melhoramento genético de arroz têm tido como objetivo principal o aumento da produção por unidade de área, adaptações a estresses bióticos e abióticos e cultivares com ciclos mais precoces, visando a manutenção da cadeia produtiva do arroz assim como também o alto requerimento mundial do produto (ALI, 2021).

No entanto, o arroz é consumido pelos humanos principalmente como grãos inteiros cozidos, razão pela qual a qualidade dos grãos tornou-se um dos principais objetivos nas pesquisas de melhoramento genético de arroz em todo o mundo, levando em consideração as principais características de preferência do consumidor de uma região em específico e altos rendimentos para os produtores (ASANTE, 2017).

O melhoramento da qualidade dos grãos é desafiador, por que a percepção do consumidor pode variar segundo a cultura de cada região, deixando o mercado do arroz fortemente segmentado devido às preferências do comprador, tais preferências podem basear-se nas propriedades físicas, químicas, organolépticas e de cocção (ANACLETO et al., 2015).

No Brasil, os grãos de arroz são comercializados mediante o padrão oficial no regulamento técnico do Arroz, normativa nº6, de 16 de fevereiro de 2019. Para a classificação dos grãos do arroz são consideradas cinco categorias com base nas dimensões

dos grãos inteiros após o descasque e polimento: longo fino, longo, médio, curto e misturado (Tabela 1); a sua comercialização ocorre com base em três tipos de produto: arroz beneficiado polido, arroz parboilizado (integral e polido) e arroz integral. (Tabela 2). O consumidor em geral prefere o arroz com grãos translúcidos, dimensões homogêneas e baixo conteúdo de grãos quebrados ou danificados, qualidade de cocção que proporcione bom rendimento de panela e que apresente grãos soltos e secos após o cozimento (FREIRE DE SOUSA, 2021).

Uma das principais características que definem a qualidade do grão é a translucidez na aparência, que é afetada por áreas opacas conhecidas como centro branco ou gessamento. O gessamento é causado por espaços aéreos entre os grânulos de amido, ou por um acondicionamento mais frouxo entre os grânulos de amido e as proteínas (CHEN et al., 2012). O gessamento é um caráter altamente indesejável, que afeta a aparência, a qualidade de moinho, o consumo e a cocção. Os grãos gessados reduzem a resistência às forças exercidas durante o beneficiamento, causando prejuízo no valor de comercialização, diminuindo a porcentagem de grãos inteiros refletindo negativamente na aceitabilidade do consumidor (LIN et al., 2017).

Tabela 1 - Parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 6/2009 para a classificação do arroz em casca, beneficiado, em variedades especiais em casca ou beneficiado e arroz com premix (produto de arroz beneficiado mais grãos ou grânulos com nutrientes, respeitada a legislação específica), conforme as dimensões.

	<b>Tipo</b>	<b>Características do Produto</b>
<b>Classe</b>	<b>Longo Fino</b>	Produto com, no mínimo, 80% do peso dos grãos inteiros, medindo 6 mm ou mais de comprimento, espessura menor ou igual 1,9 mm e relação comprimento largura maior ou igual a 2,75 mm após o polimento.
	<b>Longo</b>	Produto com, no mínimo, 80% do peso dos grãos inteiros, medindo 6 mm ou mais de comprimento, após o polimento.
	<b>Curto</b>	Produto com, no mínimo, 80% do peso dos grãos inteiros, medindo menos de 5 mm de comprimento, após o polimento.
	<b>Misturado</b>	Produto que não se enquadra em nenhuma das classes anteriores.

Fonte: Embrapa Arroz e Feijão (2021).

Tabela 2 - Classificação do arroz por grupo e subgrupo conforme a normativa nº6, de 16 de fevereiro de 2019

<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Descrição</b>
<b>Arroz em casca</b>	<b>Arroz Natural</b>	Antes do beneficiamento não passa por qualquer preparo industrial ou processo tecnológico
	<b>Arroz Parboilizado</b>	Submetido ao processo de parboilização, técnica que consiste em processo hidrotérmico, anterior às etapas de descasque e polimento, no qual o arroz em casca é imerso em água, em temperatura acima de 58 o C, seguido de gelatinização parcial ou total do amido e secagem. No processo, algumas substâncias hidrossolúveis como vitaminas e minerais são transportadas para o centro do grão, aumentando o valor nutritivo em relação ao arroz polido
<b>Arroz Beneficiado</b>	<b>Arroz Integral</b>	Arroz descascado ou integral (esbramado), do qual somente a casca foi retirada
	<b>Arroz Polido</b>	No beneficiamento se retiram o gérmen, o pericarpo e a maior parte da camada interna (aleurona)
	<b>Arroz Parboilizado Integral</b>	Integral a partir do grão parboilizado
	<b>Arroz Parboilizado Polido</b>	Polido a partir do grão parboilizado

Fonte: Embrapa Arroz e Feijão (2021).

A qualidade dos grãos de arroz é definida principalmente por quatro componentes principais: moagem, aparência, alimentação e cozimentos e qualidades nutricionais (ZHOU et al., 2022). A qualidade de moagem, refere-se à proporção recuperada do produto após o beneficiamento, como arroz integral e arroz branco, principal forma de comercialização do arroz. A aparência, determina como se vê o arroz após a moagem, e está associada ao cumprimento do grão, largura, relação cumprimento/largura, translucidez e gessamento. Além disso a aparência é importante pois é determinante na preferência das indústrias e dos mercados, pois estes preferem grãos mais translúcidos em oposição aos grãos gessados. O cozimento é a avaliação integral das propriedades da cor, textura, forma, sabor, aroma, elasticidade, plasticidade e palatabilidade do arroz cozido sobre condições específicas, a qualidade de cocção está diretamente relacionada com as características físico-químicas do amido tais como: conteúdo de amilose, proteína, consistência, temperatura de gelatinização e cozimento (ZHOU; XIA; HE, 2020). Tais características são de importância na avaliação quantitativa da qualidade, que é normalmente definida pela caracterização da estrutura e

composição desses atributos e correlacionada com as propriedades funcionais do grão (CUEVAS; DE GUIA; DEMONT, 2017).

A compreensão dessas propriedades físico-químicas e da variabilidade genética da qualidade e dos atributos dos grãos, é necessária para permitir que os programas de melhoramento de arroz, visando alta qualidade de grão, tenham eficiência (CHEN et al., 2017). Contudo, a mensuração dessas características tem sido uma tarefa trabalhosa, pois demanda muito tempo e, além disso, os resultados são de baixa eficácia, vislumbrando a necessidade do desenvolvimento de novas ferramentas que permitam uma maior celeridade nos testes e ao mesmo tempo, a obtenção de resultados mais verídicos e confiáveis.

Cada uma dessas características pode ser controlada por vários conjuntos de genes, que provavelmente interagem uns com os outros levando a efeitos aditivos, dominantes, epistáticos ou pleiotrópicos. Isso por sua vez, influencia na bioquímica, bem como nas propriedades funcionais da qualidade dos grãos (YUAN et al., 2017). A expressão desses genes, também pode ser afetada pelas condições ambientais. Portanto, com base na genética é possível prever a qualidade do grão, sendo necessário associar a informação genotípica e as possíveis dificuldades com os fenótipos, levando em consideração a interação dos genótipos/ambientes (HUANG et al., 2013).

Estudos genéticos intensivos têm permitido desenvolver importantes ferramentas em matéria de técnicas moleculares. BIAN et al., (2013) empregando a genética molecular, e metodologias de análises de QTL's conseguiram identificar um conjunto de QTL's favoráveis a aparência de grão, o que gerou um impacto positivo para o avanço no melhoramento de cultivares visando a qualidade de grãos, confirmando que a aparência do grão e o grau de gessamento são características poligênicas.

CHEN et al. (2016) usando a genotipagem por sequenciamento (GBS), obtiveram um mapa genético de alta densidade para os QTL's que influenciam as características do grão, incluindo circularidade, largura, tamanho de área, porcentagem de gessamento e grau de gessamento do endosperma dos grãos. Resultados que forneceram uma visão mais ampla da estrutura genética que controlam as características do grão, obtendo novos loci potenciais para a clonagem molecular para a melhora da qualidade do grão.

O melhoramento da qualidade do grão não só depende das técnicas moleculares que permitem realizar genotipagens da estrutura genética dos atributos da qualidade. Do outro lado temos a mensuração das características físicas, que junto com a genotipagem se encaixam para realizar um melhoramento mais completo dos atributos da aparência do grão. As mensurações dessas características são trabalhosas e demandam muito tempo, obrigando

aos pesquisadores a desenvolver técnicas novas que agilizem essas atividades. O desenvolvimento de novas ferramentas como análises de imagens, está revolucionando a fenotipagem das características do grão, permitindo um maior rendimento, eficácia, recollecção e análises de dados (SANTOS et al., 2019).

### **2.3 Análises de imagens aplicadas ao melhoramento genético de arroz.**

Inúmeros trabalhos vêm se desenvolvendo mediante a metodologia de análises de imagens, os quais tem chamado o interesse dos pesquisadores devido a suas grandes vantagens no momento de analisar informação de forma rápida, automática e eficiente, contando com imagens de alta resolução que permitem captar os mínimos detalhes dos atributos como formato, largura, comprimento, cor, e textura dos grãos (KUO et al., 2016).

A fenômica envolve a coleta de dados fenotípicos de alta dimensão, que permitem identificar características morfológicas únicas que compõe um genótipo, os métodos atuais de recollecção de dados fenotípicos são geralmente manuais, o que os torna demorados, trabalhosos e menos precisos (SANTOS et al., 2019a).

Métodos baseados em análise de imagens têm sido usados em muitos aspectos da fenotipagem de plantas. Plataformas de fenotipagem de alto rendimento baseadas em imagens, também, foram aplicadas para mensurar características fenotípicas do arroz, incluindo: altura da planta, área de folha verde e número de perfilho do arroz, número de grãos por panícula, formato e textura do grão, contribuindo em grande medida no melhoramento genético do arroz. WU et al. (2019), desenvolveram um método para quantificar o número de grãos das panículas por médio da análise de imagem, encontrando um 99% de precisão na contagem dos grãos, fazendo com que a mensuração desta característica seja mais rápida e precisa, tornando o desenvolvimento de novas cultivares e a pesquisa científica mais eficientes.

JONG et al. (2021) mediante a análise de imagem estimaram a taxa de aérea verde em plantas de arroz, encontrando correlações positivas com características quantitativas, tais como, o número de perfilhos por planta, número de folhas, massa seca e massa seca total, facilitando assim o processo de caracterização do fenótipo do arroz, propondo a sua metodologia como o novo método de índice de seleção quantitativa.

Trabalho desenvolvido por ZHANG et al. (2020), com mesmo intuito de avaliar a eficiência da análise de imagem na seleção de características de interesse, selecionaram genótipos de arroz com alto rendimento de grãos a partir de imagens de sensoriamento remoto, confirmando a viabilidade do uso das imagens na estimação do rendimento,

oferecendo uma base promissória para a estimativa precisa da produtividade do arroz em grande área.

No seu trabalho ZHAO et al. (2019) descrevem uma nova metodologia muito prática e eficiente para a estimativa de produção de grãos de arroz por meio de análises de imagem de panículas, eles estabeleceram um método de mensuração de rendimento rápido baseado em atributos e modelos de panículas de arroz, onde se identificaram mediante análises de regressão os atributos da panícula, determinantes para o peso dos grãos. Estabelecendo e verificando as correlações entre a área de grãos e os parâmetros de peso para diferentes cultivares, desenvolvendo um “modelo de calibração de cinco pontos” para estimar rapidamente os parâmetros de peso e comparar os valores estimados e os rendimentos reais, determinando que o modelo de processamento de imagens é capaz de prever rapidamente o rendimento em campo, e que o peso dos grãos depende principalmente da área dos grãos nas panículas.

Em outros estudos, KISMIANTINI et al. (2021) propõem mediante o uso de imagens de alta resolução e dados genômicos o uso da regressão de Poisson afirmando que a estrutura desse modelo de regressão permite incorporar não apenas principais efeitos de ambientes, genótipos e alta resolução imagens, mas também dois termos de interação entre esses três principais fontes de informação, demonstrando que é viável seu uso para dados de contagem com imagens hiper espectrais de alta resolução combinado com efeitos ambientais e de genótipo de maneira eficiente. Fato que auxilia a predição de fenótipos com características desejáveis, tornando-se uma ferramenta poderosa para auxiliar os programas de melhoramento.

KUMAR et al. (2020) expõem dois algoritmos para construir um sistema automatizado para classificar e contar grãos cheios e não cheios da panícula de arroz, identificando a relação entre a intensidade de pixel de grãos em imagens RGB e as propriedades de imagens térmicas (solidez do grão). As abordagens propostas no trabalho (classificação baseada em imagens RGB (DRI), e classificação baseada em imagens térmicas DTI), indicaram que é possível reduzir significativamente o tempo de processamento, em comparação ao método manual, auxiliando a seleção de genótipos desejáveis nos programas de melhoramento genético.

Enfim, verifica-se por meio de inúmeras pesquisas que imagens fornecem uma grande confiabilidade na hora de analisar dados fenotípicos, pois, estas abarcam muitas tecnologias de escalas espaciais moleculares, a natureza intensiva da caracterização e a

aplicabilidade de técnicas de segmentação genéricas aos dados (ZAREIFOROUGH et al., 2015).

Vale ressaltar que, diversos estudos que combinam a genômica e a fenotipagem de alto rendimento tem sido desenvolvido nos últimos anos. YANG et al. (2014) desenvolveram por meio das análises de imagens uma ferramenta de fenotipagem de alto rendimento que é capaz de esclarecer características relacionadas à morfologia, biomassa e produtividade, incluindo o formato do grão, textura, número de espiguetas, e número de grãos por panícula, durante o período de crescimento do arroz e após a colheita, é importante saber que o estudo foi feito mediante a combinação de estudos de associação do genoma e fenotipagem de alto rendimento. Demonstrando que a união dessas duas técnicas tem o potencial para substituir a fenotipagem tradicional, e ao mesmo tempo ser uma ferramenta poderosa para a celeridade dos programas de melhoramento, além disso, potencializar os estudos de genômica e caracterização de genes.

O uso de imagens no melhoramento vegetal pode trazer grandes vantagens para os melhoristas, pois elas proporcionam maior eficiência nas observações não destrutivas, repetidas e objetivas, sem a necessidade de muita mão de obra, permitindo o estudo das respostas das plantas a vários tipos de condições ambientais, auxiliando a seleção de genótipos apropriados nas estratégias de melhoramento (CABRERA-BOSQUET et al., 2012). Além disso, as análises de imagens têm um papel fundamental não só no melhoramento genético, mas também, na proveniência geográfica de grãos, pois pode fornecer inferências de tamanho, forma e cor, que são características de qualidade, importantes para os processos de engenharia, como secagem e moagem de grãos, podendo ser usada para classificar cultivares de arroz com base em diferentes morfometrias.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Locais de condução dos experimentos

Os experimentos de campo foram executados, tanto na safra 2018/19, quanto em 2019/20, com semeadura realizada em dezembro de 2018 e dezembro de 2019 e colheita em abril de 2019 e abril de 2020, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situado a 918 metros de altitude, 21°58' de latitude Sul e 42°22' de longitude Oeste. Foi utilizado o plantio direto com manejo semelhante ao adotado para o plantio comercial na região, sendo irrigado por meio do sistema de aspersão.

#### 3.2 Material Genético

##### 3.2.1 Caráter peso de 1000 grãos

Foram avaliados um total de 20 linhagens de arroz pertencentes aos Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), 98 progênies do Ensaio de Observação mais duas testemunhas para um total de 100 genótipos, e 36 linhagens do Ensaio Preliminar da safra 2018/19, do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

As sementes dos genótipos foram semeadas em parcelas experimentais e, posteriormente, colhidas para a obtenção de amostras representativas dos grãos. Para sua posterior análises.

Tabela 3 - Relação dos genótipos do Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a EMBRAPA Arroz e Feijão e EPAMIG avaliados na safra 2018/19 (continua).

Identificação	Genótipo
1	CMG F6 LAM 20-2
2	CMG ERF 85-14
3	BRS Esmeralda
4	CMG ERF 221-16
5	CMG 2119
6	BRSMG Caçula
7	CMG ERF 85-6
8	CMG ERF 81-2
9	CMG ERF 81-6
10	CMG 2085
11	CMG ERF 85-15
12	CMG ERF 85-3

Tabela 3 - Relação dos genótipos do Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a EMBRAPA Arroz e Feijão e EPAMIG avaliados na safra 2018/19 (continua).

<b>Identificação</b>	<b>Genótipo</b>
13	CMG F6 LAV 1-7
14	CMG ERF 85-4
15	CMG ERF 222-1
16	CMG ERF 46-1
17	CMG ERF 221-19
18	CMG ERF 221-29
19	CMG ERF 85-13
20	Multilinha

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 4 - Relação das progênes avaliadas no Ensaio de Observação de arroz de terras altas em Minas Gerais nos anos 2018/2019 (continua).

<b>Num</b>	<b>Identificação</b>	<b>Num</b>	<b>Identificação</b>
1	BRSMG Caçula	51	MP1819-145-12
2	BRS Esmeralda	52	MP1819-147-3
3	MP1819-1-12	53	MP1819-151-6
4	MP1819-3-5	54	MP1819-152-6
5	MP1819-6-1	55	MP1819-153-8
6	MP1819-6-4	56	MP1819-159-4
7	MP1819-6-10	57	MP1819-159-1
8	MP1819-8-2	58	MP1819-161-7
9	MP1819-9-1	59	MP1819-163-5
10	MP1819-18-1	60	MP1819-163-8
11	MP1819-19-3	61	MP1819-168-10
12	MP1819-19-7	62	MP1819-168-12
13	MP1819-22-1	63	CNAx20650-B-17
14	MP1819-22-4	64	CNAx20651-B-6
15	MP1819-22-12	65	CNAx20651-B-7
16	MP1819-23-12	66	CNAx20651-B-29
17	MP1819-25-6	67	CNAx20651-B-39
18	MP1819-25-10	68	CNAx20652-B-1
19	MP1819-26-1	69	CNAx20652-B-22
20	MP1819-26-2	70	CNAx20655-B-2
21	MP1819-26-10	71	CNAx20657-B-1
22	MP1819-35-2	72	CNAx20657-B-5
23	MP1819-35-4	73	CNAx20658-B-12
24	MP1819-36-2	74	CNAx20661-B-2
25	MP1819-41-2	75	CNAx20661-B-9
26	MP1819-42-3	76	CNAx20661-B-12

Tabela 4 - Relação das progênies avaliadas no Ensaio de Observação de arroz de terras altas em Minas Gerais nos anos 2018/2019 (conclusão).

<b>Num</b>	<b>Identificação</b>	<b>Num</b>	<b>Identificação</b>
27	MP1819-42-12	77	CNAx20663-B-5
28	MP1819-46-1	78	CNAx20663-B-14
29	MP1819-46-5	79	CNAx20665-B-1
30	MP1819-48-10	80	CNAx20665-B-5
31	MP1819-61-2	81	CNAx20665-B-6
32	MP1819-69-1	82	CNAx20665-B-10
33	MP1819-71-2	83	CNAx20665-B-15
34	MP1819-79-4	84	CNAx20666-B-1
35	MP1819-79-11	85	CNAx20666-B-5
36	MP1819-84-7	86	CNAx20666-B-10
37	MP1819-87-2	87	CNAx20666-B-15
38	MP1819-87-4	88	CNAx20666-B-16
39	MP1819-99-12	89	OBS1819-106-6
40	MP1819-100-12	90	OBS1819-p154-13-CNAx1890LB-3-B
41	MP1819-102-1	91	OBS1819-126-7
42	MP1819-102-2	92	OBS1819-128-5
43	MP1819-105-4	93	OBS1819-32-10
44	MP1819-106-8	94	OBS1819-P71-12-CNAx18897-B-3-B
45	MP1819-117-12	95	OBS1819-5-8
46	MP1819-120-2	96	OBS1819-7-4
47	MP1819-137-2	97	OBS1819-9-6
48	MP1819-137-6	98	OBS1819-9-3
49	MP1819-137-12	99	OBS1819 -P159-15-CANx18802-B-9-B
50	MP1819-138-5	100	OBS1819-49-3

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 5 - Relação das linhagens avaliadas no Ensaio Preliminar de arroz de terras altas em Minas Gerais nos anos 2018/2019 (continua).

<b>Número do tratamento</b>	<b>Identificação da Linhagem</b>
1	BRSMG Caravela
2	BRS Esmeralda
3	P142-6-CNAx18832-B-1-B
4	OBS1819-11-11
5	P15-8-CNAx18281-B-7-B-B
6	OBS1819-12-4
7	OBS1819-126-9
8	OBS1819-128-2
9	OBS1819-142-9
10	P113-3-CNAx18839-B-6-B
11	CMG ERF 179-3
12	OBS1819-15-8
13	OBS1819-21-6

Tabela 5 - Relação das linhagens avaliadas no Ensaio Preliminar de arroz de terras altas em Minas Gerais nos anos 2018/2019 (conclusão).

<b>Número do tratamento</b>	<b>Identificação da Linhagem</b>
14	P 80-14-CNAx18874-B-3-B
15	OBS1819-21-8
16	CMG ERF 81-3
17	P85-15- CNAx18874-B-5-6
18	OBS1819-24-2
19	ERF 3 – 2015-16
20	OBS1819-24-4
21	ERF 8 – 2015-16
22	OBS1819-33-1
23	OBS1819-33-6
24	CMG ERF 100-1
25	OBS1819-51-4
26	OBS1819-93-8
27	P34-1- CNAx18803-B-15-B
28	OBS1819-70-1
29	OBS1819-32-4
30	P28-1-CNAx18807-B-8-B
31	OBS1819-96-2
32	OBS1819-84-5
33	OBS1819-9-3
34	OBS1819-33-11
35	P118-1-CNAx18816-B-5-B
36	P113-2-CNAx18839-B-6-B

Fonte: Do autor (2022).

### 3.2.2 Condução dos experimentos

Os experimentos no campo para o VCU, foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com três repetições, as parcelas constituídas por 5 linhas de 4 metros, espaçadas a 0,35m, no momento da colheita foram usadas as três linhas centrais como parcela útil. Para o ensaio de observação, o delineamento usado foi latice simples 10x10 e as parcelas constituídas por três linhas de 2m espaçadas de 0,40m, sendo usadas as três linhas para a colheita. Para o ensaio preliminar o delineamento experimental usado foi blocos casualizados com três repetições e as parcelas constituídas de três linhas de 3m espaçadas de 0,35m, usando as três linhas para a colheita.

Uma vez coletadas as parcelas, foram obtidas oito amostras contendo 100 grãos de cada genótipo para, posteriormente, serem analisadas mediante a metodologia da obtenção de imagens (análises de imagem) e avaliações manuais por parte da equipe do programa de melhoramento de arroz de terras altas da UFLA.

Para a análises manuais foram coletadas aleatoriamente oito amostras contendo 100 grãos de cada um dos genótipos, e essas pesadas em balança de precisão, segundo as normas da regra para análises de sementes (MINISTERIO DA AGRICULTURA, 2009), das oito amostras obtidas, realizou-se uma média, e posteriormente multiplicada pelo fator 10 para obter a massa de 1000 grãos. Para cada genótipo usou-se três repetições.

Para a metodologia de análises de imagem foram coletadas quatro amostras contendo 100 grãos de cada um dos genótipos, com 3 repetições por linhagem. A obtenção das imagens foi realizada no Laboratório de Imagens (LASUFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA. As imagens, em formato “.jpg”, foram obtidas no equipamento GroundEye®, modelo S800, composto por um módulo de captação de imagens e um software de análises que gera informações que resultam em planilhas que facilitam a interpretação das imagens das sementes.

No momento da captura das imagens de cada parcela no equipamento GroundEye®, foram tomados os seguintes cuidados: disposição dos grãos na bandeja de forma a não encostar um no outro e estarem todos dentro da área de captação da imagem e observação no computador se no momento do fechamento da bandeja houve a movimentação de grãos, fazendo com que se encostassem um no outro ou saíssem da área delimitada de captação da imagem. Esses cuidados são necessários, para que se tenha a garantia de que a imagem será composta por todos os grãos da amostra. E também, para que essas imagens possam ser usadas para outros tipos de avaliações, como por exemplo, para avaliar o formato, que precisa que os grãos não se estejam encostando, pois isso comprometerá a análise no software posteriormente.

### 3.2.3 Análises estatísticas

Após a coleta dos dados, foram realizados os testes de pressuposições da ANOVA referente a normalidade, independência e homogeneidade das variâncias do resíduo. Atendidos esses pressupostos, realizaram-se as análises de variâncias individuais e testes de ranqueamento de medias pelo teste Scott-Knott, por meio do programa R (R CORE TEAM, 2021).

As análises de variância individuais, para os experimentos de VCU e o ensaio preliminar foram realizados considerando o delineamento em blocos casualizados com dois fatores. O seguinte modelo estatístico foi empregado:

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$$

Em que:

$Y_{ijk}$ : observação referente ao genótipo  $i$ , na repetição  $j$ , dentro do fator peso de mil grãos  $k$ ;

$\mu$ : constante associada às observações (média geral);

$g_i$ : efeito fixo do genótipo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, g$ );

$b_j$ : efeito fixo do bloco  $j$  ( $j = 1, 2, b$ );

$e_{ijk}$ : é o efeito do erro experimental associado à observação, sendo  $e_{ik} \sim N(0, 2 \int e)$ .

Para o ensaio de observação as análises de variância individuais foram realizados considerando o delineamento de latice simples 10x10.

Posteriormente foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson para as avaliações feitas de maneira manual e a metodologia em base de análises de imagem feitas pelo equipamento GroundEye® com o seguinte estimador:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)(Y_i - Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \cdot (Y_i - Y)^2}}$$

### 3.3 Caráter grau de gessamento de grãos

#### 3.3.1 Material Genético

Empregou-se um total de 15 linhagens de arroz pertencentes aos Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da safra 2019/2020 do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

Os genótipos usados foram semeados em parcelas experimentais e posteriormente colhidas para a obtenção de amostras representativas de grãos de cada um. As amostras de grãos de cada linhagem seguiram a mesma estrutura de delineamento em blocos casualizados utilizada nos experimentos de campo.

Tabela 6 - Relação dos genótipos do ensaio de valor de cultivo e uso (VCU) do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da universidade federal de lavras em parceria com a EMBRAPA arroz e feijão e EPAMIG avaliados na safra 2019/20.

<b>Identificação</b>	<b>Genótipo</b>
11	P113-3-CNAX18839-B-6-B
17	CMG ERF 221-19
9	CMG ERF 81-6
5	OBS1819-51-4
12	CMG ERF 85-3
8	CMG ERF 81-2
13	CMG ERF 179-3
4	CMG ERF 221-16
7	P34-1-CNAX18803-B-15-B
3	BRS Esmeralda
6	BRSMG Caçula
10	P85-15-CNAX18874-B-5-6
16	OBS1819-126-9
2	CMG ERF 85-14
20	CMG 1590

Fonte: Do autor (2022).

### 3.3.2 Condução dos experimentos

Os experimentos no campo foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com três repetições, as parcelas experimentais foram constituídas por 5 linhas de 4 metros, espaçadas a 0,35 m. no momento da colheita foram usadas as três linhas centrais como parcela útil. Assim foram obtidas quatro amostras de 100 grãos de cada genótipo para posteriormente serem analisadas mediante a metodologia da obtenção de imagens (análises de imagem) e avaliações visuais por parte da equipe do programa de melhoramento de arroz de terras altas da UFLA.

Após a colheita de cada parcela, foram reunidas aleatoriamente 4 amostras contendo 100 grãos, com 3 repetições para cada um dos genótipos usados, posteriormente procedeu-se a fazer análises visual para a porcentagem de grãos gessados. A análises foi feita preferivelmente numa superfície com fundo escuro para facilitar a avaliação; para cada amostra foram selecionados e contados os grãos gessados e não gessados. Para cada genótipo usou-se um avaliador só, pois a percepção do olho humano é muito variável.

Para a metodologia de análises de imagem foram coletadas 4 amostras de 100 grãos para cada um dos genótipos, contendo 3 repetições por linhagem. A obtenção das imagens foi realizada no Laboratório de Imagens (LASUFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA. As imagens, em formato “.jpg”, foram obtidas no equipamento

GroundEye®, modelo S800, composto por um módulo de captação de imagens, um software de análises que gera informações que resultam em planilhas que facilitam a interpretação das imagens das sementes e um classificador com as seguintes características: cor, textura, variação e histograma com uma porcentagem de acerto de 96,72% na detecção de arroz gessado. No momento da captura das imagens de cada parcela no equipamento GroundEye®, foram tomados os seguintes cuidados: disposição dos grãos na bandeja de forma a não encostar um no outro e estarem todos dentro da área de captação da imagem e observação no computador se no momento do fechamento da bandeja houve a movimentação de grãos, fazendo com que se encostassem um no outro ou saíssem da área delimitada de captação da imagem. Esses cuidados são necessários, para que se tenha a garantia de que a imagem será composta por todos os grãos da amostra. E também, para que essas imagens possam ser usadas para outros tipos de avaliações, como por exemplo, para avaliar o formato, que precisa que os grãos não se estejam encostando, pois isso comprometerá a análise no software posteriormente.

### 3.3.3 Análises estatísticas

Após a coleta dos dados, foram realizados os testes de pressuposições da ANOVA referente a normalidade, independência e homogeneidade das variâncias do resíduo. Sendo atendido esses pressupostos, realizaram-se as análises de variâncias individuais e testes de ranqueamento de médias pelo teste Scott-Knott, por meio do programa R (R CORE TEAM, 2021).

As análises de variância individuais foram realizadas considerando o delineamento em blocos casualizados, com dois fatores. O seguinte modelo estatístico foi empregado:

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$$

Em que:

$Y_{ijk}$ : observação referente ao genótipo  $i$ , na repetição  $j$ , dentro do fator grau de gessamento  $k$ ;

$\mu$ : constante associada às observações (média geral);

$g_i$ : efeito fixo do genótipo  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 20$ );

$b_j$ : efeito fixo do bloco  $j$  ( $j = 1, 2, 3$ );

$e_{ijk}$ : é o efeito do erro experimental associado à observação, sendo  $e_{ik} \sim N(0, 2 \hat{\sigma}^2)$

Posteriormente foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson para as avaliações feitas de maneira manual e a metodologia em base de análises de imagem feitas pelo equipamento GroundEye® com a seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)(Y_i - Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \cdot (Y_i - Y)^2}}$$

#### 4 RESULTADOS

Nas tabelas 7 e 8, são apresentadas as análises de variância via modelo dos quadrados mínimos REML/BLUP e ranqueamento de médias pelo teste de Scott-Knott, relacionados com os dois métodos de avaliação da característica de gessamento de grãos de arroz, pertencentes aos ensaios de VCU – safra 2020/2021 do Programa de Melhoramento de Arroz – UFLA.

Tabela 7 - Análise de variância dos valores de gessamento de arroz por método visual e por imagem, VCU – safra 2020/2021. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.

Fonte de variação	GL	Gessamento Visual	Gessamento GE
Genótipos (G)	14	1.7e-10 ***	0.000525 ***
Bloco	4	1.0000	1.0000
CV		34.41	54.17

\*significativo a 5% pelo teste F

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 8 - Estimativas médias da característica gessamento de grãos, por método visual e imagem, de genótipos de arroz pertencentes aos ensaios de VCU – safra 2020/2021. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.

	Genótipos	Visual (%)	GroundEye (%)	Ranqueamento dos genótipos em função do método
11	P113-3-CNAx18839-B-6-B	3,47d	6,23b	aa
17	CMG ERF 221-19	11,27d	7,36b	aa
5	OBS1819-51-4	19,79c	7,62b	ab
7	P34-1-CNAx18803-B-15-B	17,60c	7,83b	ab
8	CMG ERF 81-2	17,85c	7,91b	ab
20	CMG 1590	6,40d	8,42b	aa
10	P85-15-CNAx18874-B-5-6	6,30d	10,55b	aa
12	CMG ERF 85-3	17,60c	11,12b	aa
3	BRS Esmeralda	16,60c	12,97a	aa
9	CMG ERF 81-6	27,40b	14,17a	ab
6	BRSMG Caçula	20,55c	15,40 <sup>a</sup>	aa
2	CMG ERF 85-14	34,95a	16,09a	ab
16	OBS1819-126-9	24,30b	17,42a	aa
4	CMG ERF 221-16	30,00b	20,78a	ab
13	CMG ERF 179-3	34,70a	21,02a	ab

Fonte: Do Autor (2022).

Primeiramente, deve-se destacar que os coeficientes de variação para ambos os métodos podem considerado como altos, (34,41% para análises visual e 54,17% para o GroundEye) isto

provavelmente seja devido a característica, por questões experimentais, calibração do aparelho, amostras com imprecisão trazidas do campo, ou imprecisão no momento de realizar a avaliação visual (precisão do olho humano).

A análise de variância revelou diferenças estatísticas entre tratamentos (genótipos), tanto para o método de análise visual como por imagem por meio do equipamento do GroundEye. Nesse sentido, foi constatado uma menor porcentagem de gessamento para os genótipos, P85-15-CNAX18874-B-5-6, P113-3-CNAX18839-B-6-B, CMG ERF 221-19 e CMG 1590 (entre 5 e 11,85%), para análises visual, já para a análises feita pelo GroundEye, a menor porcentagem observou-se para os genótipos P113-3-CNAX18839-B-6-B e CMG ERF 221-19 com porcentagens de 6,23 e 7,36 respectivamente.

Por outra parte, os genótipos CMG ERF 85-14, CMG ERF 221-16, CMG ERF 81-6, CMG ERF 179-3 e OBS1819-126-9 foram os que apresentaram as maiores porcentagens de gessamento (entre 12,97 e 34,70%), nos dois métodos. Foi realizado um teste de agrupamentos em função do método avaliado encontrando-se que não houve diferenças estatísticas significativas entre as metodologias (visual e GroundEye) feitas nos genótipos P113-3-CNAX18839-B-6-B, CMG ERF 221-19, CMG 1590, P85-15-CNAX18874-B-5-6, CMG ERF 85-3, BRS Esmeralda, BRSMG Caçula e OBS1819-126-9. Já para os genótipos OBS1819-51-4, P34-1-CNAX18803-B-15-B, CMG ERF 81-2, CMG ERF 81-6, CMG ERF 85-14, CMG ERF 221-16 e CMG ERF 179-3 houve diferença estatística significativa.

Nas Tabelas 9 e 10, são apresentadas as análises relacionadas com o peso de mil grãos e a área/superfície do grão de arroz dos ensaios de VCU, safra 2018/2019.

Tabela 9 - Análises de variância do peso de mil grãos e área do grão de arroz obtido por imagem, VCU – safra 2018/2019. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.

Fonte de variação	GL	PMG	Área
Genótipos (G)	19	2.2e-16 ***	2.2e-16 ***
Bloco	2	0.02221 *	0.2146
CV		2.21	1.49

\*significativo a 5% pelo teste F

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 10 - Médias do peso de mil grãos e área do grão obtido por imagem, genótipos de arroz pertencentes aos ensaios de VCU – safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.

	<b>Genótipos</b>	<b>PMG (g)</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>
2	CMG ERF 85-14	30,99a	151,54 <sup>a</sup>
17	CMG ERF 221-19	31,59a	143,83b
12	CMG ERF 85-3	30,60a	142,79b
11	CMG ERF 85-15	30,88a	142,66b
10	CMG 2085	30,28a	139,81b
4	CMG ERF 221-16	28,06c	135,91c
14	CMG ERF 85-4	28,41c	135,51c
20	Multilinha	28,39c	132,79d
8	CMG ERF 81-2	27,84c	132,33d
7	CMG ERF 85-6	29,30b	131,96d
1	CMG F6 LAM 20-2	24,77e	130,64d
9	CMG ERF 81-6	26,80d	130,19d
18	CMG ERF 221-29	27,43d	127,12e
19	CMG ERF 85-13	26,71d	126,35e
6	BRSMG Caçula	27,45d	125,23e
3	BRS Esmeralda	23,98e	119,71f
16	CMG ERF 46-1	24,18e	118,17f
15	CMG ERF 222-1	22,38f	117,68f
13	CMG F6 LAV 1-7	24,37e	115,45g
5	CMG 2119	23,10f	113,40g

Fonte: Do Autor (2022).

A análise realizada para a característica de peso de mil grãos apresentou significância estatística entre tratamentos, nos quais, os genótipos 2, 10, 11, 12 e 17 apresentaram os maiores valores (acima de 30g). Além disso, os tratamentos 5 e 15 tiveram os menores pesos (23,10g e 22,38g, respectivamente). Tabela 8.

No caso da área do grão, de igual forma foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos e, os genótipos 2, 10, 11, 12 e 17 também foram os destacados com valores acima de 139 cm<sup>2</sup>. Ademais, os genótipos 5 e 13 foram os de menor área do grão (113,40 e 115,45cm<sup>2</sup>, respectivamente). Tabela 8.

Foram avaliadas as mesmas características nos ensaios de Preliminar e Observação – safra 2018/2019 do Programa de Melhoramento de Arroz da UFLA, apresentadas a continuação (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11 - Análises de variância do peso de mil grãos e área do grão de arroz obtido por imagem, Preliminar – safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.

Fonte de variação	GL	PMG	Área
Genótipos (G)	31	1,976e-11 **	2,2e-16 ***
Bloco	2	0,7012	0,001066 **
CV		3,09	2,00

\*significativo a 5% pelo teste F

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 12 - Médias do peso de mil grãos e área do grão de arroz obtido por imagem, pertencentes aos ensaios de Preliminar – safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022 (continua).

	Genótipos	PMG (g)	Área (mm <sup>2</sup> )
12	OBS1819-15-8	-	145,88a
3	P142-6-CNAx18832-B-1-B	27,25a	137,50b
27	P34-1- CNAx18803-B-15-B	27,02a	132,48c
1	BRSMG Caravela	26,30b	132,45c
13	OBS1819-21-6	-	131,70c
7	OBS1819-126-9	27,90a	131,43c
15	OBS1819-21-8	25,51b	131,16c
10	P113-3-CNAx18839-B-6-B	25,22c	130,71c
31	OBS1819-96-2	27,23a	129,35c
32	OBS1819-84-5	28,32a	129,07c
24	CMG ERF 100-1	26,25b	126,14d
35	P118-1-CNAx18816-B-5-B	24,47c	125,87d
36	P113-2-CNAx18839-B-6-B	25,59b	125,54d
23	OBS1819-33-6	25,67b	124,99d
22	OBS1819-33-1	24,82c	124,65d
25	OBS1819-51-4	25,58b	124,52d
11	CMG ERF 179-3	25,59b	124,23d
21	ERF 8 – 2015-16	24,98c	123,96d
29	OBS1819-32-4	25,56b	121,97e
9	OBS1819-142-9	24,54c	121,19e
8	OBS1819-128-2	23,61d	120,76e
16	CMG ERF 81-3	24,92c	120,03e
33	OBS1819-9-3	23,75d	119,61e
5	P15-8-CNAx18281-B-7-B-B	23,24d	118,97e
19	ERF 3 – 2015-16	25,84b	118,89e
28	OBS1819-70-1	25,08c	118,43e
4	OBS1819-11-11	24,62c	118,35e
26	OBS1819-93-8	23,78d	118,21e

Tabela 12 - Médias do peso de mil grãos e área do grão de arroz obtido por imagem, pertencentes aos ensaios de Preliminar – safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022 (conclusão).

	Genótipos	PMG (g)	Área (mm <sup>2</sup> )
6	OBS1819-12-4	26,18b	117,91e
30	P28-1-CNAX18807-B-8-B	23,45d	117,88e
2	BRS Esmeralda	24,92c	116,57e
17	P85-15- CNAX18874-B-5-6	24,01d	115,83e
20	OBS1819-24-4	-	113,42e
18	OBS1819-24-2	24,35c	109,76f
34	OBS1819-33-11	21,83e	105,85g
14	P 80-14-CNAX18874-B-3-B	-	104,11g

Fonte: Do Autor (2022).

Em primeiro lugar, os coeficientes de variação (CV%) encontrados (3,09% e 2,00%) são baixos, indicando uma boa precisão experimental para a característica de peso de mil grãos e área do grão.

Os resultados obtidos pela análise de variância via modelos mistos do ensaio Preliminar, também demonstraram significância entre tratamentos/genótipos, tanto para o peso de mil grãos quanto para a área do grão de arroz. Para a característica peso de mil grãos os melhores genótipos foram o 3, 7, 27, 31 e 32 (valores entorno de 27g). Entre os de menor desempenho encontrou-se o genótipo 34 (valor de 21,83g). Tabela 10.

Em relação à característica de área dos grãos, o genótipo 12 foi o destacado, seguido pelo genótipo 3 com valores de 145,88 e 132,5 mm<sup>2</sup>, respectivamente. Já o que diz respeito aos de menor desempenho, os genótipos 14 e 34 apresentaram os menores valores (104,11 e 105,85mm<sup>2</sup>), sendo semelhantes entre eles e diferentes ao resto.

Tabela 13 - Análises de variância do peso de mil grãos e área do grão de arroz obtido por imagem, Observação - safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.

Fonte de variação	GL	PMG	Área
Genótipos (G)	95	8,728e-07 ***	2,521e-12 ***
Rep	1	0,1583	0,2781
CV		3,80	1,96

\*significativo a 5% pelo teste F

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 14 - Médias do peso de mil grãos e área do grão obtido por imagem, genótipos de arroz pertencentes aos ensaios de Observação - safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022 (continua).

	Genótipos	PMG (g)	Área (mm <sup>2</sup> )
42	MP1819-102-2	24,93b	132,39a
2	BRS Esmeralda	22,50c	131,91a
85	CNAx20666-B-5	23,81c	131,84a
61	MP1819-168-10	23,19c	131,72a
62	MP1819-168-12	26,47a	131,64a
33	MP1819-71-2	26,44a	131,49a
52	MP1819-147-3	24,40b	131,45a
16	MP1819-23-12	26,92a	131,08a
36	MP1819-84-7	25,48b	130,02a
73	CNAx20658-B-12	28,25a	129,11a
83	CNAx20665-B-15	27,12a	129,05a
90	OBS1819-p154-13-CNAx1890LB-3-B	24,39b	128,14a
66	CNAx20651-B-29	27,42a	127,82a
47	MP1819-137-2	23,73c	127,49a
71	CNAx20657-B-1	25,26b	127,45a
24	MP1819-36-2	25,99a	127,30a
72	CNAx20657-B-5	25,46b	127,06a
12	MP1819-19-7	25,63b	126,96a
58	MP1819-161-7	25,08b	126,85a
26	MP1819-42-3	26,74a	126,71a
69	CNAx20652-B-22	24,92b	126,66a
30	MP1819-48-10	24,97b	126,35b
37	MP1819-87-2	25,43b	126,19b
29	MP1819-46-5	24,96b	125,86b
59	MP1819-163-5	27,27a	125,78b
55	MP1819-153-8	23,66c	125,64b
31	MP1819-61-2	24,44b	125,34b
97	OBS1819-9-6	24,38b	125,19b
15	MP1819-22-12	25,52b	124,95b
27	MP1819-42-12	25,13b	124,66b
91	OBS1819-126-7	25,41b	124,52b
6	MP1819-6-4	25,30b	124,32b
81	CNAx20665-B-6	23,98c	124,21b
75	CNAx20661-B-9	24,31b	124,17b
88	CNAx20666-B-16	24,64b	123,70b
35	MP1819-79-11	24,28b	123,69b
18	MP1819-25-10	24,04c	123,49b
82	CNAx20665-B-10	25,59b	123,44b

Tabela 14 - Médias do peso de mil grãos e área do grão obtido por imagem, genótipos de arroz pertencentes aos ensaios de Observação - safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022 (conclusão).

	Genótipos	PMG (g)	Área (mm <sup>2</sup> )
--	-----------	---------	-------------------------

---

95	OBS1819-5-8	26,04a	123,43b
49	MP1819-137-12	24,55b	123,35b
57	MP1819-159-1	25,48b	123,30b
64	CNAx20651-B-6	24,39b	123,05b
38	MP1819-87-4	21,99c	122,98b
13	MP1819-22-1	24,54b	122,94b
28	MP1819-46-1	24,49b	122,89b
41	MP1819-102-1	22,90c	122,49b
20	MP1819-26-2	24,73b	122,14b
74	CNAx20661-B-2	23,92c	122,02b
5	MP1819-6-1	25,58b	121,94b
60	MP1819-163-8	24,31b	121,81b
50	MP1819-138-5	24,74b	121,75b
63	CNAx20650-B-17	25,51b	121,32c
14	MP1819-22-4	24,48b	121,28c
87	CNAx20666-B-15	23,51c	121,04c
99	OBS1819-P159-15-CANx18802-B-9-B	25,39b	120,93c
92	OBS1819-128-5	23,31c	120,89c
56	MP1819-159-4	24,26b	120,88c
44	MP1819-106-8	24,33b	120,74c
86	CNAx20666-B-10	21,28c	120,29c
51	MP1819-145-12	23,09c	120,11c
9	MP1819-9-1	25,54b	119,98c
70	CNAx20655-B-2	24,86b	119,94c
25	MP1819-41-2	24,33b	119,69c
48	MP1819-137-6	24,69b	119,53c
8	MP1819-8-2	22,99c	119,18c
77	CNAx20663-B-5	24,18b	118,52c
11	MP1819-19-3	23,96c	118,13c
4	MP1819-3-5	24,81b	118,08c
53	MP1819-151-6	25,30b	118,06c
76	CNAx20661-B-12	22,68c	117,55c
17	MP1819-25-6	22,73c	117,49c
93	OBS1819-32-10	22,91c	117,27c
39	MP1819-99-12	23,14c	117,10c
80	CNAx20665-B-5	22,81c	117,10c
68	CNAx20652-B-1	24,77b	116,88c
23	MP1819-35-4	23,17c	116,49c
43	MP1819-105-4	26,20a	116,46c

Tabela 14 - Médias do peso de mil grãos e área do grão obtido por imagem, genótipos de arroz pertencentes aos ensaios de Observação - safra 18/19. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022 (conclusão).

	Genótipos	PMG (g)	Área (mm <sup>2</sup> )
94	OBS1819-P71-12-CNAx18897-B-3-B	22,62c	116,45c
46	MP1819-120-2	23,93c	116,15c
89	OBS1819-106-6	22,68c	115,99c
34	MP1819-79-4	22,54c	115,55d
3	MP1819-1-12	25,49b	115,46d
45	MP1819-117-12	24,56b	115,23d
21	MP1819-26-10	21,56c	114,71d
98	OBS1819-9-3	23,33c	114,67d
19	MP1819-26-1	23,06c	114,56d
79	CNAx20665-B-1	24,06c	114,26d
67	CNAx20651-B-39	23,65c	113,39d
22	MP1819-35-2	21,58c	113,36d
100	OBS1819-49-3	21,66c	113,06d
32	MP1819-69-1	21,78c	111,94d
40	MP1819-100-12	27,42a	111,90d
78	CNAx20663-B-14	23,82c	111,85d
10	MP1819-18-1	21,43c	111,20d
96	OBS1819-7-4	21,88c	110,05d
7	MP1819-6-10	21,72c	108,23d

Fonte: Do Autor (2022).

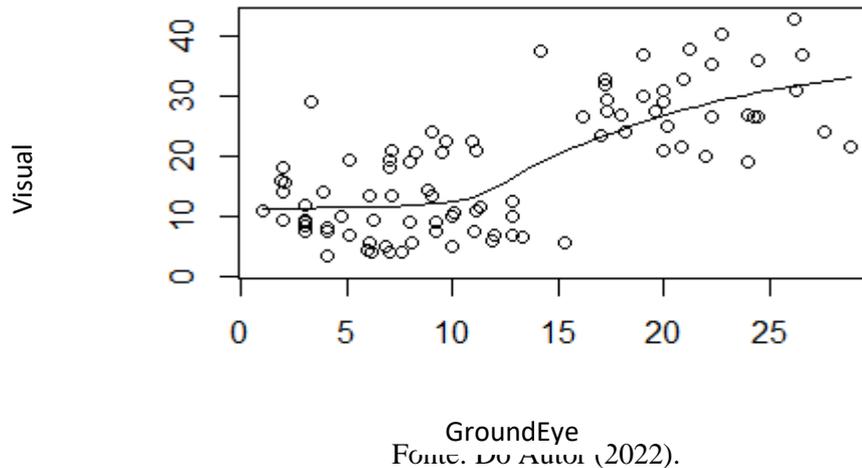
Os coeficientes de variação encontrados foram baixos, 3,8% para PMG e 1,96 para área do grão, (Tabela 13) indicando a princípio confiabilidade nas estimativas obtidas.

Com relação às análises realizadas para o ensaio de Observação, tanto para o peso de mil grãos (PMG) quanto para a área, foi constatada significância estatística entre tratamentos/genótipos. No caso da característica de Pmg, os genótipos com valores acima de 25,99g foram os mais destacados e, aqueles com valores inferiores a 23,82 os de menor desempenho.

Para a área do grão de arroz, foram considerados os melhores genótipos os que apresentaram valores acima de 126,66 mm<sup>2</sup> e, os de pior aqueles com valores menores a 115,55 cm<sup>2</sup>.

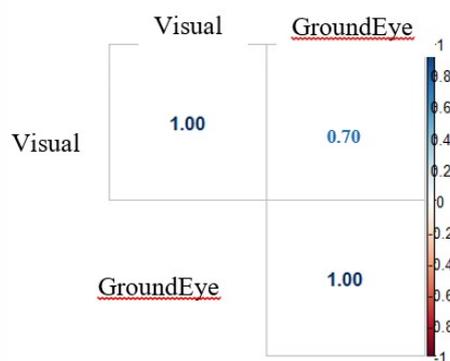
Neste trabalho, também, foram estimadas as seguintes correlações entre os métodos de avaliação do gessamento de grãos de arroz e, entre peso de mil grãos e área do grão, no ensaio de Valor de Cultivo e Uso – VCU, apresentadas nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Comportamento dos diferentes métodos de avaliação do gessamento de grãos de arroz, forma visual e obtenção de dados através de imagem pelo GroundEye. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.



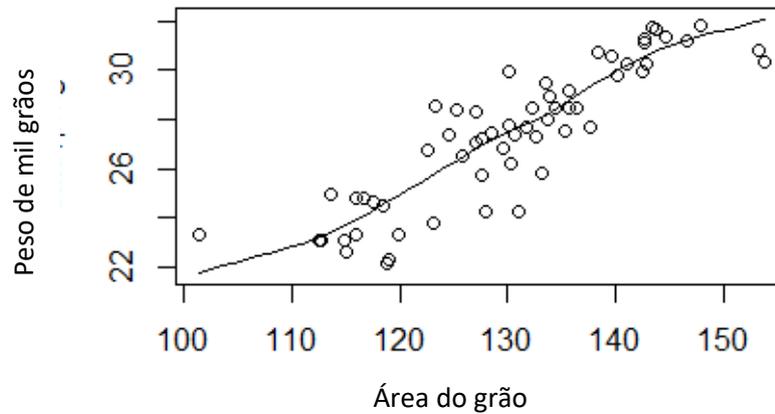
Inicialmente, no gráfico de dispersão da Figura x, observa-se um comportamento semelhante entre os métodos utilizados para a característica de gessamento (os dois tipos de avaliação oferecem resultados semelhantes). Além disso, determinou-se uma correlação positiva, ou seja, quando aumenta um, aumenta o outro e vice-versa.

Figura 2 - Correlação de Pearson entre métodos de avaliação do gessamento de grãos de arroz, forma manual e obtenção de dados por meio de análise de imagem pelo GroundEye. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.



Nesse sentido, a análise de correlação pelo método de Pearson, encontrou uma correlação positiva com valor de 0.7, considerada como forte ou alta ( $0.7 < r \leq 0.9$ ), Figura 2. No caso das características de peso de mil grãos e área do grão, constatou-se de igual forma um comportamento positivo e semelhante entre ambas, como observado na Figura 3.

Figura 3 - Comportamento das características de peso de mil grãos e área do grão de arroz, forma visual e obtenção de dados através de imagem pelo GroundEye, respectivamente. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.



Fonte: Do Autor (2022).

A correlação de Pearson para o peso de mil grãos e área do grão, observada na Figura 4, constatou valores positivos de 0.89 considerado como forte ou alto ( $0.7 < r \leq 0.9$ ).

Figura 4 - Correlação de Pearson entre as características de peso de mil grãos e área do grão de arroz, forma manual e obtenção de dados através de imagem pelo GroundEye, respectivamente. DBI – UFLA, Lavras, Brasil. 2022.



Fonte: Do Autor (2022).

## 5 DISCUSSÃO

Uma das alternativas para estimular o cultivo de arroz de terras altas em Minas Gerais e demais regiões do país com predomínio do sistema de sequeiro, é desenvolver, cultivares além de produtivas, tolerantes às principais doenças que apresentem ciclo precoce e tolerância ao déficit hídrico e de boa qualidade de grãos, (SOARES et al., 2003). Nesse sentido, inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos ao longo dos últimos anos no país com o objetivo de melhorar as características de interesse agrônômico no arroz de terras altas, visando sua inserção, principalmente nas características relacionadas à qualidade de grãos (ALVES et al., 2020; ARTIGIANI et al., 2012).

Primeiramente, com relação à característica de gessamento do grão de arroz, os resultados são semelhantes aos obtidos por (FACCHINELLO, 2021) que, utilizando linhagens F<sub>6</sub> e cultivares como testemunhas, verificaram valores de média geral entorno de 15% de grãos gessados e, para os genótipos de melhor desempenho valores entre 8 a 11%.

RECHSTEINER et al., (2020), em uma avaliação de componentes de rendimento industrial de variedades locais de arroz de sequeiro, em Santa Catarina, encontraram valores de gessamento até 3%, com diferenças entre genótipos, porém não assim entre ambientes. De igual forma, (LONDERO et al., 2015), avaliando a qualidade industrial de grãos de arroz, obtiveram valores médios para o gessamento de grãos de 6,5%, nas cultivares INTA PUITA CL e INOV CL. Podendo inferir com isso que, dentro do ensaio de VCU, há genótipos com desempenho semelhante às cultivares disponíveis no mercado, de acordo com os resultados encontrados na literatura.

É importante destacar que a característica de gessamento no grão de arroz, está diretamente ligada fatores genéticos e ambientais, como as altas temperaturas durante o enchimento de grãos ou colheitas realizadas de forma antecipada quando os grãos ainda estão se formando e com umidade acima de 26% (YOSHIOKA et al., 2007; SOFIATTI et al., 2006).

Além disso, em relação aos fatores genéticos, nos últimos anos mais de 84 QTLs foram identificados e associados aos diferentes tipos de gessamento, que segundo a posição podem-se classificar em: arroz de barriga branca, de núcleo branco e de base branca, sendo os dois últimos os mais importantes para o gessamento de grãos de arroz comerciais (NOORI et al., 2022). Todos eles interferindo em várias rotas relacionadas com a característica, como o gene *Chalk5* reconhecido como um gene de efeito maior, que se relaciona com os vacúolos e a translocação da pirofosfatase. Um outro exemplo são os genes *OsPPDKB* e *SSIIIa* que apresentam efeitos pleiotrópicos relevantes na formação do endosperma do arroz. A recomendação principal para melhorar a característica, é a piramidação de genes via seleção

assistida por marcadores (NEVAME et al., 2018). Contudo, aliado ao emprego de tais ferramentas de melhoramento genético, é essencial para o sucesso da seleção de genótipos superiores a precisão da avaliação fenotípica. Dessa forma, o emprego da análise de imagem, tem proporcionado a realização de uma fenotipagem de alto rendimento para vários caracteres em culturas de importância econômica, fato esse que será discutido posteriormente para as características gessamento e peso de mil grãos.

Em relação ao peso de mil grãos (Pmg), (CORRÊA et al., 2020), avaliando atributos de cultivares de arroz de terras altas no estado de Amazonas, determinaram diferenças entre genótipos com valores entorno de 30,45 g, sendo semelhantes às médias dos nossos genótipos elites do ensaio VCU, apresentadas neste trabalho.

Igualmente, os dados de Pmg obtidos, também, se assemelham aos mencionados por ARTIGIANI et al. (2012) e SILVA; SILVA; TABOSA (2010) que, ao comparar o desempenho entre diferentes genótipos, verificaram estimativas de peso próximos a 24g, com alguns genótipos destacados com média até 29g.

Para os ensaios de Preliminar e Observação, os resultados também seguiram esse comportamento e, podem ser comparados com trabalhos como os de CAZASSA et al. (2019), que mostram diferenças estatísticas significativas para a característica Pmg, com coeficiente de variação de 5,27% e médias entorno a 23,73g.

TERRA et al. (2013), avaliando a tolerância de linhagens de arroz de terras altas à seca, mencionam que fatores ambientais como o déficit hídrico contribuem na redução de várias características, entre elas o peso de mil grãos e, aumenta na época de florescimento e esterilidade das espiguetas.

Além disso, DE SOUZA; MARSCHALEK; SANGOI (2020), em um estudo da produtividade e qualidade de grãos de arroz em safras com regimes térmicos distintos na floração, determinaram que altas temperaturas após a floração, são favoráveis e aumentam a atividade respiratória da planta o que acelera o enchimento de grãos, diminuindo a duração deste período.

Segundo FLORES DEL CASTILLO; ÁLVAREZ PAZ (2019), a variação genética também representa um fator que influencia significativamente, tendo em consideração que o Pmg é uma característica estável e com alta herdabilidade.

Já no que diz respeito à área ou dimensões do grão, segundo IBARRA et al., (2021), a diferença estatística no desempenho de genótipos é de se esperar. Os dados de Pmg e dimensão do grão, novamente, permitiram inferir que os genótipos utilizados nos ensaios do Programa de Melhoramento de Arroz – UFLA, apresentam desempenho semelhante aos de cultivares

registradas no mercado (EMBRAPA, 2018; INSTITUTO RIOGRANDENSE DE ARROZ, 2020; FUNDACIÓN PROARROZ, 2004).

Por outra parte, em relação às correlações entre características avaliadas no ensaio de VCU, a principal causa desse fenômeno é a pleiotropia, isto é, a associação de genes a várias características e, a ligação de genes, mas que são consideradas como causas transitórias. É importante destacar que uma seleção em função da correlação significativa pode gerar progressos mais rápidos comparados com uma seleção direta, porém, deve-se verificar se há correlação negativa com alguma outra característica para não gerar fenótipos indesejáveis (KARLING, 2021); FALCONER, 1986; CRUZ, 2004).

As propriedades físico-químicas do grão têm sido aceitas como uma característica amplamente complexa controlada por muitos genes com efeitos pequenos, nesse sentido a fenotipagem dessas características tem mostrado também um comportamento complexo, pois sua mensuração realiza-se de diferentes maneiras e além disso as avaliações convencionais que principalmente são manuais, são trabalhosas, pouco eficientes e conduzem a resultados incorretos no melhoramento (YIN et al., 2015).

Nesse sentido, vários trabalhos têm se desenvolvido com o objetivo de aprimorar as dificuldades que a fenotipagem de características tem, análises de imagem fornece uma alternativa interessante para a agilização, qualidade e eficiência na fenotipagem. IKEDA et al. (2010) e AL-TAM et al. (2013) desenvolveram dois pacotes de softwares para mensurar as características relacionadas com a panícula do arroz, PASTAR/PASTA Viewer y P-TRAP. PASTAR/PASTA extrai características de comprimento e contagem de imagens de panículas identificando e ligando extremos superiores inferiores dos ramos, P-TRAP converte imagens de panículas em gráficos matemáticos para a mensuração das características, CROWELL et al. (2014) desenvolveram uma plataforma de fenotipagem de código aberto, PANorama, que mede múltiplos fenótipos arquitetônicos e ramificados a partir de imagens simultaneamente, representando um grande avanço na fenotipagem para características de rendimento e atributos dos grãos.

Em relação a característica gessamento dos grãos de arroz, (KARLING, 2021), determinou uma alta correlação negativa entre a característica de gessamento e várias outras relacionadas com a qualidade industrial como a porcentagem de grãos inteiros.

Segundo FLORES DEL CASTILLO; ÁLVAREZ PAZ (2019), a característica de peso de mil grãos é diretamente relacionada como o tamanho do grão (especificamente com o comprimento). Nesse sentido, Machado et al. (1994) mencionam que, nos primeiros sete dias após o florescimento, começa a translocação de carboidratos para o enchimento do grão no

sentido do seu comprimento e, nos sete dias posteriores, para aumentar a largura e espessura do grão de arroz.

DÍAZ; PÉREZ; MOREJÓN (2000), em uma avaliação de germoplasmas de arroz em Cuba, ao realizar uma matriz de correlações fenotípicas, constatou correlações positivas entre o peso de mil grãos e características como rendimento e comprimento do grão. Sendo assim, de acordo com os resultados, também, encontrados na literatura existe sucesso na seleção indireta para o caráter de peso de mil grãos utilizando análises de imagem para a estimativa da área dos grãos.

Resultados semelhantes aos mencionados por H. DIAZ; MOREJON (2002) que, relatam também uma correlação positiva entre o peso de mil grãos e o comprimento do grão de arroz, com valor de 0,717 respectivamente. Contudo, apesar de existirem na literatura alguns trabalhos envolvendo o comportamento entre tais caracteres de qualidade de grãos, deve-se ressaltar que não há muitos trabalhos que correlacionam essas características entre si e, por isso, os resultados apresentados podem ser importantes para outras pesquisas semelhantes.

Finalmente, a validação de métodos para avaliação de características de qualidade de grãos de arroz utilizando imagens digitais, vem sendo um dos principais objetivos de diversos programas de melhoramento. Entre as principais características mensuradas por imagem digital no arroz, estão a dimensão do grão (área, comprimento e largura), % gessamento, detecção de defeitos no polimento do grão, % grãos inteiros e umidade do grão, entre outros (KUCHEKAR; YERIGERI, 2018).

Um dos objetivos é o emprego dentro da fenotipagem de alto rendimento, que mediante softwares especializados possibilitam à análise de uma grande quantidade de dados em pouco tempo e com maior facilidade (SANTOS et al., 2019b).

O uso de imagens digitais oferece, também, outros benefícios como a obtenção de dados mais precisos, eliminando a subjetividade e a possibilidade de criar tabelas de referência para padronização avaliações. Em relação a isso, AVILA et al. (2012), estudando a eficiência e concordância da avaliação visual entre analistas de laboratórios, determinaram um nível de assertividade entorno de 70% e concordância entre eles moderada, atribuída à subjetividade da avaliação visual.

TANWONG; SUKSAWANG; PUNSAWAD (2018), utilizando imagens digitais para classificar grãos de arroz em função da qualidade, identificou inicialmente desempenhos semelhantes entre o trabalho humano e o programa (ainda em desenvolvimento), mas também uma diferença significativa no tempo de análises de diversas características, no qual, os

avaliadores demoraram 5.20 minutos na avaliação e, o programa apenas 19 segundos para a mesma quantidade de sementes de arroz.

É importante ressaltar que os resultados das correlações constataram valores altos 0,79% e 0,8% para as características estudadas, estes resultados, comparados com as avaliações visuais são interessantes e revelam a importância da validação de metodologias para uso deste tipo de ferramenta. Além disso, é recomendado associar a machine learning com algoritmos e continuar dando uso massivo para aperfeiçoar a técnica cada vez mais (VARELA et al., 2020).

## **6 CONCLUSÃO**

Os resultados mostraram valores positivos (0,70) para a característica de gessamento e (0,89) para a característica de peso de mil grãos, correlacionadas com a análise de imagem, demonstrando que a metodologia da fenotipagem de alto rendimento foi eficiente. Logo, uma nova proposta para avaliação fenotípica da qualidade do grão, auxiliando a seleção indireta de genótipos superiores no programa de melhoramento genético de arroz de terras altas.

## REFERÊNCIAS

- ALI, J; WANI, S. H. **Rice Improvement: Physiological, Molecular Breeding and Genetic Perspectives**. 1 ed. Springer International Publishing, 2021.
- AL-TAM, F.; ADAM, H.; DOS ANJOS, A.; LORIEUX, M.; LARMANDE, P.; GHESQUIÈRE, A.; JOUANNIC, S.; SHAHBAZKIA, H. R. P-TRAP: a Panicle Trait Phenotyping tool. **BMC Plant Biology**, v.13, n.122, 2013.
- ALVES, N. B.; ROSÁRIO NETO, A.; CASTRO, D. G.; SILVA, C. S. C. da; MELO, B. M. R. de; BOTELHO, F. B. S. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de arroz em Minas Gerais. **Research, Society and Development**, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7857.
- ANACLETO, R.; CUEVAS, R. P.; JIMENEZ, R.; LLORENTE, C.; NISSILA, E.; HENRY, R.; SREENIVASULU, N. Prospects of breeding high-quality rice using post-genomic tools. **Theoretical and Applied Genetics** Springer Verlag, 24 ago. 2015. DOI: 10.1007/s00122-015-2537-6.
- ARTIGIANI, A. C. C. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. de C. F.; NASCENTE, A. S. Produtividade e qualidade industrial do arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e adubação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 340–349, 2012. DOI: 10.1590/S1983-40632012000300011.
- ASANTE, M. D. Breeding Rice for Improved Grain Quality. **Advances in International Rice Research**, 15 mar. 2017. DOI: 10.5772/66684. Acesso em: 17 fev. 2022.
- AVILA, M.; GRATEROL, E.; ALEZONES, J.; CRIOLLO, B.; CASTILLO, D.; KURI, V.; OVIEDO, N.; MOQUETE, C.; ROMERO, M.; HANLEY, Z.; TAYLOR, M. Concordancia entre analistas de laboratorios de Latinoamérica para la determinación de la apariencia de grano de arroz pulido mediante el uso de imágenes digitales. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 62, n. 2, p. 179–184, 2012.
- BERCHEMBROCK, Y. V.; BOTELHO, R. T. de C.; CARDOSO, F. P.; MOURA, A. M. de; SILVA, C. S. C. da; NETO, A. R.; BOTELHO, F. B. S.; MOREIRA, S. G. Genetic parameters and genotype selection in upland rice. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28087–28095, 19 mar. 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n3-498.
- BIAN, J.; LI, C.; HE, H.; SHI, H.; YAN, S. Identification, and analysis of QTLs for grain quality traits in rice using an introgression lines population. **Euphytica** 2013 **195:1**, v. 195, n. 1, p. 83–93, 10 jul. 2013. DOI: 10.1007/S10681-013-0976-1. Acesso em: 31 out. 2021.
- BUTARDO, V. M.; SREENIVASULU, N. Improving head rice yield and milling quality: State-of-the-art and future prospects. **Methods in Molecular Biology**, v. 1892 p. 1–18, 2019.
- CABRERA-BOSQUET, L.; CROSSA, J.; VON ZITZEWITZ, J.; SERRET, M. D.; LUIS ARAUS, J. High-throughput Phenotyping and Genomic Selection: The Frontiers of Crop Breeding Converge. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 54, n. 5, p. 312–320, 2012. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2012.01116.x.
- CAZASSA, R. S.; TOMÉ, L. M.; LIMA, I. P.; BOTELHO, F. B. S.; MOURA, A. M.; REIS, M. de S.; SILVA, G. A. de M.; OLIVEIRA, T. V. S. Herdabilidade como peso econômico na

aplicação de índices de seleção no melhoramento de arroz. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 9, p. 14644–14651, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n9-069.

CHEN, L.; GAO, W.; CHEN, S.; WANG, L.; ZOU, J.; LIU, Y.; WANG, H.; CHEN, Z.; GUO, T. High-resolution QTL mapping for grain appearance traits and co-localization of chalkiness-associated differentially expressed candidate genes in rice. **Rice**, v. 9, n. 1, 1 Dez. 2016. DOI: 10.1186/s12284-016-0121-6.

CHEN, L.; YAN, X.; WANG, L.; GAO, W.; YANG, J.; CHEN, S.; GUO, Z.; ZHOU, J.; WANG, H.; CHEN, Z.; GUO, T. Pasting properties, grain-filling characteristics and allelic variation linked to the grain quality in diverse rice. **Euphytica**, v. 213, n. 1, 1 Jan. 2017. DOI: 10.1007/s10681-016-1811-2.

CHEN, Y.; WANG, M.; OUWERKERK, P. B. F. Molecular and environmental factors determining grain quality in rice. **Food and Energy Security**, v.1, n.2, 2012. DOI: 10.1002/fes3.11.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, v.9 – Safra 2021/22, n.4 - Quarto levantamento, p. 1-98, janeiro 2022.

CORRÊA, H. W.; RADMANN, V.; PINHEIRO, D.; LOURENCO, R.; BRAMBILLA, T.; MORAES DA SILVA, J. C. Atributos agronômicos de cultivares de arroz de terras altas na região sul do Amazonas. **Acta Iguazu**, v.9, n.3, 2020.

CROWELL, S.; FALCÃO, A. X.; SHAH, A.; WILSON, Z.; GREENBERG, A. J.; MCCOUCH, S. R. High-resolution inflorescence phenotyping using a novel image-analysis pipeline, PANorama. **Plant Physiology**, v. 165, n. 2, p. 479–495, 2014. DOI: 10.1104/pp.114.238626.

CUEVAS, R. P.; DE GUIA, A.; DEMONT, M. Developing a framework of gastronomic systems research to unravel drivers of food choice. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 9, p. 88–99, 2017. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2017.06.001.

CUSTODIO, M. C.; CUEVAS, R. P.; YNION, J.; LABORTE, A. G.; VELASCO, M. L.; DEMONT, M. Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? **Trends in Food Science and Technology**, v. 92, n. 7, p. 122–137, 2019. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.07.039.

DE SOUZA, N. M.; MARSCHALEK, R.; SANGOI, L. Produtividade e qualidade de grãos de arroz irrigado em safras com regimes térmicos distintos na floração. **Agropecuária Catarinense**, 2020. DOI: 10.52945/rac.v33i2.793.

DÍAZ, S. H.; PÉREZ, N.; MOREJÓN, R. Evaluación del germoplasma de arroz (*Oryza sativa* L.). **Cultivos Tropicales**, v. 21, n. 2, p. 55–58, 2000.

FACCHINELLO, P. H. K. **Ação gênica, parâmetros genéticos e ganho por seleção de atributos físicos relacionados a qualidade de grãos em arroz**. 2021. 107f. Exame de Defesa de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021

FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. **Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets**. Rome: Food Outlook, November 2021. <https://doi.org/10.4060/cb7491en>

- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. **Crop Prospects and Food Situation #4**. Roma:FAO, Dez. 2021.
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A.; OCDE, O. para la C. y el D. E. **OCDE/FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028 - Enfoque Especial: América Latina**. Roma:FAO, 2019.
- FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília:Embrapa, 2021. 164 p.
- FITZGERALD, M. A.; MCCOUCH, S. R.; HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, mar. 2009. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.12.004. Acesso em: 6 jan. 2022.
- FLORES DEL CASTILLO, E. Y.; ÁLVAREZ PAZ, G. J. Variabilidad genética de dos poblaciones de arroz permite la selección de plantas promisorias para la cosecha mecanizada. **La Calera**, 2019. DOI: 10.5377/calera.v19i33.8841.
- FREIRE DE SOUSA, I. S. F. C. M. A planta e o grão de arroz e as formas de apresentação aos consumidores. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.
- FREIRE DE SOUSA, I. S.; FERREIRA, C. M. Aspectos histórico-culturais do arroz e do feijão na sociedade brasileira. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.
- H. DIAZ, S.; MOREJON, R. Comportamiento de variedades de arroz de diferentes procedencias en la localidad de los Palacios. **Cultivos Tropicales**, v. 23, n. 2, p. 63–67, 2002.
- HUANG, R.; JIANG, L.; ZHENG, J.; WANG, T.; WANG, H.; HUANG, Y.; HONG, Z. Genetic bases of rice grain shape: so many genes, so little known. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 1, p. 218-226, 2013. DOI: 10.1016/j.tplants.2012.11.001.
- IBARRA, A.; KRUGER, R.; PACHECOY, M.; HERBER, L.; FONTANA, M. Arroz: Implicancia del peso específico de granos en la calidad de semillas. **Revista Fave - Ciências Agrarias**, v. 20, n. 2, p. 21–31, 2021. DOI: 10.14409/fa. v20i2.10622.
- IKEDA, M.; HIROSE, Y.; TAKASHI, T.; SHIBATA, Y.; YAMAMURA, T.; KOMURA, T.; DOI, K.; ASHIKARI, M.; MATSUOKA, M.; KITANO, H. Analysis of rice panicle traits and detection of QTLs using an image analyzing method. **Breeding Science**, v. 60, n. 1, 2010. DOI: 10.1270/jsbbs.60.55
- JONG, K. O.; HAN, K. M.; KWAK, S. il; JANG, Y. J.; CHOL-HO; KIM, K. P. Simple estimation of green area rate using image analysis and quantitative traits related to plant architecture and biomass in rice seedling. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 33, n. 3, p. 225–234, 1 set. 2021. DOI: 10.1007/s40626-021-00207-z.
- KISMIANTINI; MONTESINOS-LÓPEZ, O. A.; CROSSA, J.; SETIAWAN, E. P.; WUTSQA, D. U. Prediction of count phenotypes using high-resolution images and genomic data. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 11, n. 2, 1 fev. 2021. DOI: 10.1093/G3JOURNAL/JKAB035.

- KUCHEKAR, N. A.; YERIGERI, V. V. Rice Grain Quality Grading Using Digital Image Processing Techniques. **Journal of Electronics and Communication Engineering**, v. 13, n. 3, p. 84–88, 2018. DOI: 10.9790/2834-1303018488.
- KUMAR, A.; TAPARIA, M.; MADAPU, A.; RAJALAKSHMI, P.; MARATHI, B.; DESAI, U. B. Discrimination of filled and unfilled grains of rice panicles using thermal and RGB images. **Journal of Cereal Science**, v. 95, 1 set. 2020. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.103037.
- KUO, T. Y.; CHUNG, C. L.; CHEN, S. Y.; LIN, H. A.; KUO, Y. F. Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 716–725, 2016a. DOI: 10.1016/j.compag.2016.07.020.
- KUO, T. Y.; CHUNG, C. L.; CHEN, S. Y.; LIN, H. A.; KUO, Y. F. Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 716–725, 2016b. DOI: 10.1016/j.compag.2016.07.020.
- LIN, Z.; ZHANG, X.; WANG, Z.; JIANG, Y.; LIU, Z.; ALEXANDER, D.; LI, G.; WANG, S.; DING, Y. Metabolomic analysis of pathways related to rice grain chalkiness by a notched-belly mutant with high occurrence of white-belly grains. **BMC Plant Biology**, v. 17, n. 1, 7 fev. 2017. DOI: 10.1186/s12870-017-0985-7.
- LONDERO, G. P.; MARCHESAN, E.; PARISOTTO, E.; COELHO, L. L.; SOARES, C. F.; DA SILVA, A. L.; ARAMBURU, B. B. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 587–601, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v20n3p587..
- MAGHELLY, O. R.; BERNARDI OGLIARI, J.; DE SOUZA, R.; REICHERT JÚNIOR, F. W.; PINTO, T. T. Componentes de rendimento industrial de variedades locais de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 50, p. e65085, 2020
- MINISTERIO DA AGRICULTURA, P. e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 399 p.
- NEVAME, A. Y. M.; EMON, R. M.; MALEK, M. A.; HASAN, M. M.; AMIRUL ALAM, M.; MUHARAM, F. M.; ASLANI, F.; RAFII, M. Y.; ISMAIL, M. R. Relationship between high temperature and formation of chalkiness and their effects on quality of rice. **BioMed Research International**, v. 2018, 2018. DOI: 10.1155/2018/1653721.
- NOORI, Z.; QARLUQ, A. G.; KAKAR, K.; ABDIANI, S.; NAWAKHT, N. A. Structural Features of White-Belly and White-Core Rice Endosperm Under Scanning Electron Microscopic Observation. **Agricultural Research**, 15 fev. 2022. DOI: 10.1007/s40003-022-00618-7.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>
- SANTOS, M. v.; CUEVAS, R. P. O.; SREENIVASULU, N.; MOLINA, L. Measurement of rice grain dimensions and chalkiness, and rice grain elongation using image analysis. **Methods in Molecular Biology**, v. 1892, p. 99–108, 2019a. DOI: 10.1007/978-1-4939-8914-0\_6.

- SANTOS, M. V.; CUEVAS, R. P. O.; SREENIVASULU, N.; MOLINA, L. Measurement of rice grain dimensions and chalkiness, and rice grain elongation using image analysis. **Methods in Molecular Biology**, v. 1892, p. 99–108, 2019b. DOI: 10.1007/978-1-4939-8914-0\_6.
- SILVA, V. A. C. da; SILVA, E. F. da; TABOSA, J. N. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 10, p. 1030–1037, 2010. DOI: 10.1590/s1415-43662010001000002.
- SOARES, A. A.; CORNÉLIO, V. M.; SOUZA REIS, M.; SOARES, P. C.; GUIMARAES SANTOS, P.; SOUZA, M. A. de. Desempenho de linhagens de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, v. 50, n. 290, p. 509-525, 2003.
- SOARES, A. A.; SOARES, P. C.; EMÍLIO DA MARIA DE CASTRO; MORAES, O. P. de; RANGEL, P. H. N.; REIS, M. de S. Melhoramento genético de arroz em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 222, p. 20-24, 2004.
- TANWONG, K.; SUKSAWANG, P.; PUNSAWAD, Y. Using digital image to classify phenotype of the rice grain quality under agricultural standards act. **2018 22nd International Computer Science and Engineering Conference, ICSEC 2018**, p. 1–4, 2018. DOI: 10.1109/ICSEC.2018.8712732.
- TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. de B.; BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. Tolerância de linhagens de arroz de terras altas à seca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 201–208, 2013. DOI: 10.1590/S1983-40632013000200013.
- VARELA, N.; SILVA, J.; GONZALEZ, F. M.; PALENCIA, P.; PALMA, H. H.; PINEDA, O. B. Method for the Recovery of Images in Databases of Rice Grains from Visual Content. **Procedia Computer Science**, v. 170, p. 983–988, 2020. DOI: 10.1016/j.procs.2020.03.097.
- WU, W.; LIU, T.; ZHOU, P.; YANG, T.; LI, C.; ZHONG, X.; SUN, C.; LIU, S.; GUO, W. Image analysis-based recognition and quantification of grain number per panicle in rice. **Plant Methods**, v. 15, n. 1, 31 out. 2019. DOI: 10.1186/s13007-019-0510-0.
- YANG, W.; GUO, Z.; HUANG, C.; DUAN, L.; CHEN, G.; JIANG, N.; FANG, W.; FENG, H.; XIE, W.; LIAN, X.; WANG, G.; LUO, Q.; ZHANG, Q.; LIU, Q.; XIONG, L. Combining high-throughput phenotyping and genome-wide association studies to reveal natural genetic variation in rice. **Nature Communications**, v. 5, 2014. DOI: 10.1038/ncomms6087.
- YIN, C.; LI, H.; LI, S.; XU, L.; ZHAO, Z.; WANG, J. Genetic dissection on rice grain shape by the two-dimensional image analysis in one japonica × indica population consisting of recombinant inbred lines. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 128, n. 10, p. 1969–1986, 24 out. 2015. DOI: 10.1007/S00122-015-2560-7/TABLES/10. Acesso em: 24 mar. 2022.
- YOSHIOKA, Y.; IWATA, H.; TABATA, M.; NINOMIYA, S.; OHSAWA, R. Chalkiness in rice: Potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**, v. 47, n. 5, p. 2113–2120, 2007. DOI: 10.2135/cropsci2006.10.0631sc.
- YUAN, H.; FAN, S.; HUANG, J.; ZHAN, S.; WANG, S.; GAO, P.; CHEN, W.; TU, B.; MA, B.; WANG, Y.; QIN, P.; LI, S. O8SG2/OsBAK1 regulates grain size and number, and functions differently in Indica and Japonica backgrounds in rice. **Rice**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2017. DOI: 10.1186/s12284-017-0165-2.

ZAREIFOROUGH, H.; MINAEI, S.; ALIZADEH, M. R.; BANAKAR, A. Potential Applications of Computer Vision in Quality Inspection of Rice: A Review. **Food Engineering Reviews**, v. 7, p. 321-345, 2015. DOI: 10.1007/s12393-014-9101-z.

ZHANG, Y.; YAN, W.; YANG, B.; YANG, T.; LIU, X. Estimation of rice yield from a C-band radar remote sensing image by integrating a physical scattering model and an optimization algorithm. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 2, p. 245–263, 1 abr. 2020. DOI: 10.1007/s11119-019-09664-8.

ZHAO, S.; ZHENG, H.; CHI, M.; CHAI, X.; LIU, Y. Rapid yield prediction in paddy fields based on 2D image modelling of rice panicles. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 162, p. 759–766, 1 Jul. 2019. DOI: 10.1016/j.compag.2019.05.020.

ZHOU, H.; XIA, D.; HE, Y. Rice grain quality—traditional traits for high quality rice and health-plus substances. **Molecular Breeding**, v. 40, n. 1, p. 1–17, 1 Jan. 2020. DOI: 10.1007/S11032-019-1080-6/FIGURES/3. Acesso em: 18 fev. 2022.

ZHOU, X. Q.; CHEN, D. G.; GUO, J.; CHEN, P. L.; LI, L. J.; CHEN, K.; CHEN, Y. D.; LIU, C. G.; ZHANG, Z. M. Genetic improvement of grain quality traits in indica inbred rice cultivars developed in South China during 1956–2020. **Euphytica**, v. 218, n. 1, p. 1–17, 1 jan. 2022. DOI: 10.1007/S10681-021-02953-2/TABLES/6. Acesso em: 17 fev. 2022.