



EVERTON DA SILVA CARDOSO

**ANÁLISE DE IMAGENS NA FENOTIPAGEM DO TAMANHO E FORMA DE
GRÃOS DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO**

**LAVRAS-MG
2022**

EVERTON DA SILVA CARDOSO

**ANÁLISE DE IMAGENS NA FENOTIPAGEM DO TAMANHO E FORMA DE
GRÃOS DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO**

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

Dr. Vinícius Quintão Carneiro
Orientador

Dr.^a. Heloísa Oliveira dos Santos
Coorientadora

**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).

Cardoso, Everton da Silva.

Análise de imagens na fenotipagem do tamanho e forma de grãos de cultivares de feijoeiro / Everton da Silva Cardoso. - 2022.

64 p. : il.

Orientador(a): Vinícius Quintão Carneiro.

Coorientador(a): Heloísa Oliveira dos Santos.

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

Bibliografia.

1. *Phaseolus Vulgaris* L. 2. Melhoramento genético. 3. Fenômica. 4. Melhoramento do Feijoeiro. 5. Imagens. I. Carneiro, Vinícius Quintão. II. Santos, Heloísa Oliveira dos. III. Título.

EVERTON DA SILVA CARDOSO

**ANÁLISE DE IMAGENS NA FENOTIPAGEM DO TAMANHO E FORMA DE
GRÃOS DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO**

**IMAGE ANALYSIS IN THE PHENOTYPING OF THE SIZE AND SHAPE OF BEAN
CULTIVARS GRAIN**

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

APROVADA em 07 de Março de 2022.

Prof (a) Dr (a) Elaine Aparecida de Souza	(UFLA)
Prof. Dr. José Eustáquio de Souza Carneiro	(UFV)
Prof (a). Dr (a). Heloísa Oliveira dos Santos	(UFLA)

Prof. Dr. Vinícius Quintão Carneiro
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus primeiramente pela oportunidade, por me acompanhar, proteger, guiar e fazer com que essa conquista fosse possível.

Aos meus pais Valmir e Maria Nice por não medirem esforços para me dar suporte e apoiar em minhas decisões. Ao meu Irmão Enrique, pelo companheirismo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), e ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pela oportunidade de estudo, aprendizado e crescimento acadêmico na realização do mestrado. Ao meu orientador, o Prof. Dr. Vinícius Quintão Carneiro, agradeço por cada minuto despendido comigo, por toda atenção, ajuda e ensinamentos e a minha coorientadora, a Prof.^a Dra. Heloísa Oliveira dos Santos, pela orientação e dedicação no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também ao Departamento de Agricultura, ao Setor de Sementes e a todos os professores, técnicos e funcionários.

A equipe do melhoramento do feijoeiro, por todas as conversas, o empenho e dedicação nos trabalhos e por fazerem esses momentos serem mais leves e prazerosos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio.

Aos todos meus amigos de Lavras, em especial aos irmãos de república pela amizade, companheirismo e por serem minha família durante esses anos.

A todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie que apresenta enorme variabilidade quanto ao aspecto dos grãos, principalmente em relação a cor, brilho, tamanho e formato. Estas particularidades são muito valorizadas pelo mercado consumidor e determinam a aceitação de uma nova cultivar. O feijão do tipo carioca é o mais cultivado e consumido no país e, por esse motivo, é o tipo de grão que os programas de melhoramento mais têm se dedicado no desenvolvimento de novas cultivares. Hoje, produtores, consumidores e a indústria buscam por feijão carioca de fundo creme claro e escurecimento tardio, rajas marrons claras, ausência de brilho no seu tegumento e peso de 100 grãos em torno de 25 gramas. A avaliação do tamanho e formato dos grãos tem sido realizada com auxílio de paquímetros digitais ou por meio de notas visuais, levando em consideração aspectos gerais dos grãos, não só o tamanho e formato de forma isolada. Apesar desta metodologia ser precisa e acurada, esta requer grande quantidade de tempo para ser executada uma vez que uma amostra representativa de grãos de cada genótipo deve ser medida com paquímetro. Em função do maior tempo requerido para esta avaliação, muitos dos trabalhos nesse sentido são realizados sem repetição ou se limita a avaliar um pequeno número de genótipos ou grãos por genótipo. A fenotipagem quanto ao tamanho e formato dos grãos por meio de imagens é uma alternativa, pois permite avaliar um grande número de grãos em um menor tempo. Portanto, o objetivo com este trabalho é validar esta metodologia e o equipamento Groundeye para fenotipagem por imagens do tamanho e formato dos grãos de feijão-comum. Para isso, características quanto ao tamanho dos grãos de cultivares de feijão do grupo comercial carioca foram mensuradas por meio da fenotipagem por imagens e também com emprego do paquímetro. As duas metodologias foram comparadas quanto a precisão experimental, acurácia, capacidade de discriminação das cultivares e ranqueamento destas. A fenotipagem por imagens do tamanho e formato dos grãos de feijão, além de agregar rapidez e permitir extrair medidas de uma grande quantidade de grãos e de um elevado número de genótipos, é tão precisa e acurada quanto a avaliação realizada com o emprego de paquímetro e, portanto, pode ser empregada rotineiramente pelos programas de melhoramento do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus Vulgaris* L.. Melhoramento genético. Fenômica.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a species that presents enormous variability in the appearance of the grains, mainly about the color, brightness, size and shape. These particularities are highly valued by the consumer market and determine the acceptance of a new cultivar. The carioca grain type is the most cultivated and consumed in the country and, for this reason, it is the type of grain that breeding programs have been most dedicated to the development of new cultivars. Today, growers, consumers and the industry looking for carioca beans with a light cream background color and late browning, light brown stripes, lack of shine in their tegument and weight of 100 grains around 25 grams. The evaluation of the size and shape of the grains has been carried out with the aid of digital calipers or through visual notes, taking into account general aspects of the grains, not only the size and shape in isolation. Although this methodology is precise and accurate, it requires a large amount of time to be performed since a representative sample of grains of each genotype must be measured with a caliper. Due to the longer time required for this evaluation, many of the works in this direction are carried out without repetition or are limited to evaluating a small number of genotypes or grains per genotype. Phenotyping for grain size and shape through images is an alternative, as it allows the evaluation of a large number of grains in a shorter time. Therefore, the objective of this work is to validate this methodology and the Groundeye equipment for image phenotyping of the size and shape of common bean grains. For this, characteristics regarding the grain size of common bean cultivars from the carioca commercial group were measured through image phenotyping and also using a caliper. The two methodologies were compared in terms of experimental precision, accuracy, cultivar discrimination capacity and ranking. Image phenotyping of the size and shape of bean grains, in addition to adding speed and allowing measurements of a large amount of grains and a high number of genotypes to be extracted, is as precise and accurate as the evaluation performed with the use of a caliper and, therefore, can be used routinely by common bean breeding programs.

Keywords: Common Bean Breeding. Phenomics. Images.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Organização dos grãos de feijão carioca sobre papel cartão.

34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil, ano e instituição de origem. 33
- Tabela 2- Classificação dos valores do coeficiente de correlação de Pearson, proposto por Hopkins (2000). 36
- Tabela 3- Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil, ano e instituição de origem. 36
- Tabela 4- Resumo das análises individuais de variância da avaliação de cultivares de feijão comum do grupo comercial carioca quanto ao comprimento (COMP), largura (LARG) e índice J (J) no experimento conduzido em Lavras na safra “seca” de 2020. 39
- Tabela 5- Estimativas dos parâmetros genéticos-estatísticos para as características comprimento (COMP), largura (LARG) e índice J obtidos por paquímetro e fenotipagem por imagens no experimento conduzido em Lavras na safra “seca” de 2020. 40
- Tabela 6- Médias de tamanho dos grãos comprimento (COMP), largura (LARG), J (razão entre comprimento e largura) obtidas via paquímetro digital e via imagem e área e perímetro (PER) via imagem na safra “seca” de 2020. 42
- Tabela 7- Valores obtidos da correlação de Pearson, em três níveis, entre dados obtidos via paquímetro digital e aplicação de visão computacional via análise de imagem. 44
- Tabela 8- Resumo das análises individuais de variância da avaliação de cultivares de feijão comum do grupo comercial carioca quanto ao comprimento (COMP), largura (LARG), índice J (J), área e perímetro nos experimentos conduzidos em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019 e em Lavras nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020. 47
- Tabela 9- Resumo das análises conjuntas de variâncias da avaliação das cultivares de feijão do grupo comercial carioca quanto a comprimento, largura, índice J, área e perímetro dos grãos em experimentos conduzidos em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019. 49

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: FENOTIPAGEM POR IMAGENS DO TAMANHO E FORMATO DE GRÃOS DE FEIJÃO-COMUM	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil	13
2.2 Melhoramento genético do feijoeiro no Brasil	14
2.3 Qualidade de grãos de feijão tipo carioca	16
2.4 Fenômica	19
2.5 Aplicação de imagens na avaliação de grãos	21
REFERÊNCIAS	24
CAPÍTULO 2: VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DA FENOTIPAGEM POR IMAGENS DO TAMANHO DE GRÃOS DE FEIJÃO-COMUM	29
1 INTRODUÇÃO	32
2 MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1 Validação da fenotipagem por imagens	34
2.2 Fenotipagem por imagens dos grãos de feijão comum	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1 Validação da fenotipagem por imagens do tamanho e formato de grãos	40
3.2 Fenotipagem por imagens dos grãos de feijão comum	47
4 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE	57

**CAPÍTULO 1: FENOTIPAGEM POR IMAGENS DO TAMANHO E FORMATO DE
GRÃOS DE FEIJÃO-COMUM**

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de grande importância para a alimentação humana. É um componente da dieta de muitos países. Este é um alimento de elevada qualidade nutricional, o qual é uma fonte de proteína vegetal, vitaminas e minerais essenciais, como ferro, zinco, fósforo e cálcio (BROUGHTON *et al.*, 2003; PINTO, 2016). No Brasil, o feijão compõe a dieta básica da população, com consumo médio de 15,2 kg/hab/ano (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020).

A produção brasileira de feijão-comum, na safra 2019/2020, foi de 2,4 milhões de toneladas, em uma área estimada de 1,6 milhões de hectares, o que corresponde a uma produtividade média de 1498 kg.ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2022). Apesar da média nacional ser baixa, se observa áreas de maior nível tecnológico com produtividades em torno de 3.000 kg.ha⁻¹, especialmente, em lavouras com uso de irrigação (GUIMARÃES; DE SOUZA, 2019; HOLTZ *et al.*, 2018). Além de ser fonte de renda tanto de pequenos quanto de grandes produtores, a cultura do feijoeiro tem uma grande contribuição social sendo responsável por gerar um grande número de empregos, uma vez que possui cultivo em três safras ao longo do ano (águas, seca e inverno) e requer elevada quantidade de mão-de-obra durante todo ciclo da cultura (GUIMARÃES; DE SOUZA, 2019; HOLTZ *et al.*, 2018).

O feijoeiro é uma espécie que apresenta grande variabilidade quando se considera o aspecto dos grãos. Características como o tamanho, cor, tamanho e formato são determinantes na aceitação e comercialização de grãos desta cultura, o que, conseqüentemente, implica na aceitação de uma nova cultivar no mercado (LEMOS *et al.*, 2020; BARILI *et al.*, 2016). Os grupos comerciais mais conhecidos no Brasil são: carioca, preto, vermelho, rosinha, mulatinho, roxo e jalo (BALDONI; TEIXEIRA; SANTOS, 2002; VIEIRA *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2013). A produção e consumo destes grupos comerciais é regionalizada no território nacional. Entretanto, o feijão carioca é o mais produzido e consumido no país (CAPANEMA *et al.*, 2019; EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020).

O ideótipo do feijão carioca quanto ao aspecto dos grãos é caracterizado com presença de tegumento com cor de fundo creme claro com escurecimento tardio, rajas marrons, ausência de brilho no seu tegumento, peso de 100 grãos em torno de 25 gramas (RAMALHO e ABREU, 2015). Os principais programas de melhoramento do feijoeiro do país buscam desenvolver linhagens que apresentem tais fenótipos, alta produtividade de grãos, arquitetura ereta de plantas e resistência a patógenos (LEMOS *et al.*, 2020).

A seleção de progênies e linhagens de feijão do grupo comercial carioca quanto ao aspecto dos grãos é baseada em avaliações visuais por meio de escalas de notas (MENEZES-JÚNIOR; RAMALHO; ABREU, 2008; RAMALHO *et al.*, 2004). A grande dificuldade em obter-se linhagens que atendam o padrão de grãos tipo carioca é devido ao grande número de caracteres envolvidos no aspecto dos grãos e ao elevado número de genes envolvidos nesses caracteres (LEAKEY, 1988; BASSETT, 1996). O controle genético da cor dos grãos é complexo, uma vez que vários genes estão envolvidos nesse caráter (PRAKKEN, 1974; BASSETT, 1996; BENINGER *et al.* 2000). Já para a cor mais clara e persistente com o tempo, poucos genes estão envolvidos (ALVARES *et al.*, 2019). Trabalhos com “Pinto Bean” encontraram um QTL responsável por 48% da variação fenotípica para o escurecimento precoce, com 40 genes candidatos envolvidos com a expressão desse caráter (ERFATPOUR *et al.*, 2018). Fatos estes que evidenciam a dificuldade em obterem-se linhagens superiores, que atendam os anseios dos consumidores (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004).

Segundo Ramalho *et al.* (2012), o sucesso com a seleção é altamente dependente da precisão das avaliações experimentais. As avaliações visuais por serem influenciadas pela experiência dos avaliadores apresentam menor precisão e acurácia de seleção. Portanto, existe a necessidade de utilizar novas metodologias de avaliação do aspecto dos grãos que permitam tornar a seleção mais eficaz e eficiente. Sistemas computacionais automatizados com emprego de aquisição e processamento de imagens podem permitir os programas de melhoramento alcançarem este objetivo.

A fenotipagem por imagens tem potencial para reduzir o erro humano e o consumo de tempo durante as avaliações, além de permitir obter grande quantidade de informações (PASALA; PANDEI, 2020). Juntamente com a crescente evolução dos estudos das áreas aplicadas aos recursos genômicos, necessita-se da coevolução da área da fenômica, para que em associação torne os estudos mais acurados e eficientes. Assim, será possível promover o aumento do ganho genético para diversos caracteres, especialmente os referentes ao aspecto comercial dos grãos do feijoeiro. Entretanto, estas técnicas necessitam ser mais difundidas e disponibilizadas de forma simples aos programas de melhoramento da cultura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um alimento tradicional no Brasil em que a importância ultrapassa o aspecto econômico, devido a sua relevância enquanto elemento fundamental de segurança alimentar para a população brasileira. Além disso, é considerado como fonte de proteínas, carboidratos, ferro, vitaminas e minerais biologicamente importantes como o Ca, Mg, K, Cu, Fe e Zn (BLAIR, 2009; BROUGHTON *et al.*, 2003). É atrativo a parte da população que apresenta vulnerabilidade socioeconômica, considerado como proteína de baixo custo se comparada a proteína de origem animal (MESQUITA *et al.*, 2007). Apresenta um alto teor de lisina nos grãos, para o qual o arroz é deficiente, enquanto o arroz é rico em aminoácidos sulfurados e, por isso, essa complementariedade forma a base da alimentação no Brasil (BLAIR *et al.*, 2009; DE RON *et al.*, 2016; DI PRADO *et al.*, 2019), onde o consumo per capita nacional é de 15,2 kg/hab/ano (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020).

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão-comum. A produção desta cultura, na safra 2019/2020, foi de 2,5 milhões de toneladas, em uma área estimada de 1,6 milhões de hectares, o que corresponde a uma produtividade média de 1520 kg.ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020). No período de 1985 a 2019, observou-se uma redução na área plantada de feijão no Brasil, embora a produção tenha se mantido crescente. Isso se deve ao aumento da produtividade, que passou de 500 kg/ha em 1985 para 1520 kg/ha em 2019. Porém, em áreas com utilização de tecnologias, tais como irrigação, controle de pragas e doenças, atingem produtividades superiores a 3 ton/ha (CARNEIRO *et al.*, 2014; GUIMARÃES; DE SOUZA, 2019).

O Estado de Minas Gerais apresenta a segunda maior produção de feijão comum no Brasil, com produção de 536 mil toneladas, que representa 21,2% de toda produção nacional, e área de 316 mil ha. Assim, a produtividade média do Estado é de 1.695 kg/ha⁻¹ (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020), que é superior a média de produtividade nacional de feijão comum. As regiões Noroeste, Sul, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba são as principais produtoras do grão no Estado e empregam elevado nível de tecnologia em um sistema de produção com lavouras predominantemente comerciais (GUIMARÃES; DE SOUZA, 2019).

O cultivo dessa leguminosa no país é comumente realizado por diferentes níveis tecnológicos, desde os pequenos agricultores de subsistência, com baixo nível tecnológico,

com emprego de mão-de-obra durante todo o ciclo da cultura, até os grandes empreendedores rurais com alto nível tecnológico. O cultivo se espalha em praticamente todo o território nacional e durante todo o ano em três safras: a primeira safra, ou “safra das águas”, (semeadura entre outubro e novembro), a “safra da seca” ou de segunda época, (semeadura entre fevereiro e março) e a terceira safra, também chamada de ‘safra de “outono-inverno”, (semeadura entre os meses de abril e julho) (BARBOSA; GONZAGA, 2012). No plantio das “águas” e da “seca”, predominam pequenos e médios produtores, enquanto o feijão do “outono-inverno” é produzido por grandes produtores. Nessa última safra, é necessário o uso da irrigação, que tem permitido a obtenção dos maiores índices de produtividade do país, principalmente nos estados localizados na região do planalto central brasileiro, que representam 17% da produção (SILVA; WANDER, 2018).

No Brasil, são cultivados diferentes tipos de feijão, como, carioca, preto, vermelho, rosinha, mulatinho, jalo, entre outros (SILVA; WANDER, 2013). A preferência pelo tipo de grão é regionalizada, todavia, o feijão do tipo carioca (cor creme com rajas marrons) é o mais cultivado e consumido, detém cerca de 60% da produção nacional (CAPANEMA *et al.*, 2019). Devido a esta maior importância no Brasil, a maioria dos programas de melhoramento do país dedicam-se a este tipo comercial. Reflexo disso é o maior número de cultivares de feijão carioca recomendadas no Brasil (BARILI *et al.* 2016, LEMOS *et al.* 2020; CAPANEMA *et al.*, 2019).

2.2 Melhoramento genético do feijoeiro no Brasil

O sucesso do melhoramento do feijoeiro no Brasil deve-se ao setor público, responsável pela maioria dos programas de melhoramento no país. Segundo Vieira *et al.* (2005), destacam-se os programas de melhoramento da Embrapa Arroz e Feijão, Universidades Federais de Lavras (UFLA) e de Viçosa (UFV), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Embrapa Clima Temperado, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig) (BORÉM; CARNEIRO, 2015).

Os primeiros trabalhos com melhoramento do feijoeiro iniciaram-se por volta de 1930, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com introdução de linhagens. Posteriormente, Drummond e Muller conduziram pesquisas com a cultura, na Escola Superior de Agricultura e Veterinária de Viçosa (ESAV), hoje nomeada Universidade Federal de Viçosa (UFV). Em 1955, o professor Clibas Vieira foi responsável pela introdução de

linhagens como a cultivar Rico 23, originária da Costa Rica, recomendada no ano de 1954 para o Estado de Minas Gerais e mais tarde expandida para mais seis Estados (CARNEIRO, 2002).

Em 1968 iniciou-se efetivamente os trabalhos e pesquisas com a cultura do feijoeiro, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), com a avaliação de linhagens introduzidas de outras regiões. O professor Arnaldo Junqueira Neto dedicou-se ao manejo e também à avaliação de tais linhagens (MATOS, 2005).

Em 1975, intensificou-se o estudo aplicado na cultura do feijoeiro, com a criação do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), pertencente à Embrapa, localizado no Estado de Goiás. Instituição que foi responsável pela recomendação de inúmeras cultivares de diferentes grupos comerciais no país (VOYSEST, 2000). A maioria destas com vantagens em termos de produtividade e aspecto dos grãos, arquitetura ereta de plantas e resistência às doenças. Contudo, algumas não foram bem aceitas, pois detalhes de cor, tamanho e forma do grão limitaram sua comercialização (RAMALHO; ABREU, 2015).

No intuito de aumentar a eficiência no processo de recomendação de novas cultivares no Estado de Minas Gerais, foi estabelecido um convênio entre a UFLA, UFV, Embrapa e Eпамig, o que tornou possível a recomendação de várias cultivares de feijão carioca como BRSMG Talismã (FARIA *et al.*, 2004), BRSMG Majestoso (ABREU *et al.*, 2006) e BRSMG Pioneiro (MOREIRA, 2012), BRSMG Madrepérola (CARNEIRO *et al.*, 2012) e BRSMG Uai (ABREU *et al.*, 2018). As cultivares de feijão carioca que recentemente estão em processo de recomendação pelo convênio são: BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, enquanto, para feijão vermelho, a recomendação é a cultivar BRSMG Marte (AGRICULTURA-MG, 2021).

Os programas de melhoramento do feijoeiro têm como principal objetivo gerar cultivares que apresentem alta produtividade e aspecto comercial dos grãos, arquitetura ereta de plantas, resistência aos principais patógenos e tolerância a estresses abióticos (LEMOS *et al.*, 2020; BARILI *et al.*, 2016). Para alcançar este objetivo, os programas de melhoramento de feijão comum têm empregado três estratégias de melhoramento: a introdução de plantas, a seleção de linhas puras e a hibridação. Destas, a hibridação é rotineira nos programas de melhoramento mais consolidados e tem sido a principal fonte de novas linhagens de feijoeiro (VIEIRA *et al.*, 2005). A hibridação consiste em reunir em uma linhagem alelos favoráveis, para vários caracteres, que estão distribuídos em diferentes linhagens (AMARO *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2019).

A seleção recorrente é uma das principais estratégias empregadas no melhoramento do feijoeiro para obtenção de linhagens superiores (COSTA *et al.*, 2019; AMARO *et al.*, 2007; RAMALHO *et al.*, 2005). Esta visa aumentar a frequência de alelos favoráveis nos genótipos para várias características de herança quantitativa, de forma gradativa, por meio de sucessivos ciclos de avaliação, seleção e recombinação (HALLAUER, 1992; RAMALHO *et al.*, 2012). Várias são as evidências de sucesso do emprego da seleção recorrente.

Lemos *et al.* (2020) relata ganho genético para a produtividade de grãos de 0,35% por ano ao avaliar linhagens de diferentes programas de seleção recorrente da UFLA ao longo dos últimos 50 anos. Sullivan e Bliss (1993) verificaram aumento de até 24,6% na porcentagem de proteína da semente de feijão após dois ciclos de seleção. Ramalho *et al.* (2005) ao avaliar a eficiência do quarto ciclo do programa de seleção recorrente na UFLA observou um progresso genético anual de 5,7% e 10,5% para produtividade e aspecto de grãos, respectivamente. Silva *et al.* (2010) obteve progresso de 3,3% por ciclo para produtividade de grãos após 8 ciclos de seleção recorrente. Já, Pires *et al.* (2014) observou um progresso genético de 1,62% por ciclo para porte e 6,81% para a produtividade de grãos.

2.3 Qualidade de grãos de feijão tipo carioca

As exigências do mercado, cada vez mais crescentes, fazem com que programas de melhoramento desenvolvam cultivares de feijão carioca não apenas com altas produtividades e resistência a pragas e doenças, mas também com grãos de tamanhos maiores e coloração clara, com peneiras de furo oblongo acima de 12, para atender às necessidades dos produtores, da indústria e do consumidor final (MELO *et al.*, 2007). Características como tamanho, formato, brilho, cor do fundo e das rajas se tornaram cruciais na aceitação do consumidor e conseqüentemente na comercialização dos grãos de uma nova cultivar (RAMALHO; ABREU, 2015). O feijão do tipo comercial carioca, para atender as demandas do mercado, deve possuir grãos de tamanho médio com massa de 100 grãos entre 23 e 25g, formato preferencialmente, tegumento opaco com cor do fundo creme claro e rajas marrons (RAMALHO; ABREU, 2015). O tempo de cocção dos grãos de feijão é outro fator que tem recebido enorme atenção (CARBONELL *et al.*, 2003; PERINA *et al.*, 2014).

Caracteres de qualidade do grão dependem tanto da constituição genética, quanto dos fatores ambientais (CORTE *et al.*, 2003), sobretudo na colheita e no armazenamento. O caráter tempo de cocção possui efeito materno, pois o tegumento é o principal componente do

grão responsável por essa característica (RIBEIRO *et al.*, 2006), além de ser uma característica exigida pelos consumidores, existe também um ponto de vista nutricional, um tempo de cozimento prolongado promove degradação de nutrientes importantes para dieta humana, o rápido cozimento retém mais minerais e proteínas após totalmente cozido (Pujolà *et al.*, 2007; Shiga *et al.*, 2009). O armazenamento tem influência direta neste caráter, pois com o passar do tempo, após a colheita, os grãos diminuem a absorção de água e, conseqüentemente, exigem um maior tempo para o cozimento.

Segundo Ribeiro *et al.* (2004), existe efeito genético, ambiental e também devido a interação entre esses fatores para a coloração do tegumento dos grãos. Essa coloração é influenciada pelo tempo de armazenamento, que promove o escurecimento do tegumento dos grãos. Esta característica também tem efeito genético e existem diferentes respostas das linhagens quanto ao escurecimento à medida que são armazenadas com o tempo (SIQUEIRA, 2013). A cultivar BRSMG Madrepérola (CARNEIRO *et al.*, 2012), recomendada para o Estado de Minas Gerais, apresenta, além de alta produtividade, grãos com tegumento de tonalidade clara e persistente por mais tempo.

Alguns trabalhos evidenciaram que vários genes participam no controle genético da cor do grão de feijão (BASSETT, 1996; BENINGER *et al.* 2000). Contudo, na persistência da coloração clara do tegumento dos grãos, poucos genes estão envolvidos relacionados à produção de tanino (DIAZ; CALDAS; BLAIR, 2009, ALVARES *et al.*, 2016,). Silva *et al.* (2008) verificaram herança monogênica com dominância completa do alelo que determina grãos escuros para escurecimento após 60 dias de armazenamento. Os autores acrescentam ainda que este gene pode estar ligado ao teor de tanino no grão, em que o alelo dominante é responsável pelo alto teor. Junk-Knievel *et al.* (2008) obtiveram resultados semelhantes em feijões utilizados nos Estados Unidos, do tipo “Pinto Bean”. Entretanto, outros trabalhos relatam que o controle genético desse caráter não é simples, uma vez que já foi encontrado um QTL responsável por 48% da variação fenotípica, sendo identificados 40 genes candidatos relacionados com essa característica e com algumas rotas metabólicas (ERFATPOUR *et al.*, 2018)

Outro aspecto de destaque é a coloração do halo. Esta deve ser da mesma coloração do tegumento. Existem linhagens que possuem halo amarelo, que não são aceitas comercialmente, principalmente por estarem associadas à demora na sua cocção (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004). Essas características foram observadas na cultivar Carioca 80 (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004). O controle genético desta característica é oligogênico. Um destes genes é o J (LEAKEY, 1988), quando presente o alelo

dominante, há efeito pleiotrópico na cor e absorção de água, que prejudica a cocção. Há, contudo, outros genes envolvidos na cor amarela do halo que não afetam a qualidade dos grãos. Portanto, nem sempre a presença do halo amarelo é indicativo de problemas no cozimento (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004). Apesar disso, as linhagens que apresentam halo amarelo são descartadas nos programas de melhoramento do feijoeiro (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004).

A presença de brilho nos grãos é outra característica importante na aceitação comercial. Portanto, esta característica é considerada na avaliação visual do aspecto de grãos. Para linhagens de feijão dos tipos carioca e preto é indesejado o brilho, enquanto para feijão do tipo vermelho esse fenótipo é desejado. Entretanto, a presença de brilho é considerada indesejada devido a ser associada a maior tempo de cocção (BUSHEY *et al.* 2002; RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004). O brilho dos grãos é um caráter cujo controle genético é monogênico com alelo dominante do gene *Asp*, responsável pela presença do brilho. Este é responsável pela alteração estrutural da superfície do tegumento, que cria barreiras para a embebição da água (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004). Bushey *et al.* (2002) submetem três cultivares, com diferenças na presença do brilho, ao tratamento com substâncias químicas e verificaram que a absorção de água aumentou, especialmente na cultivar com sementes mais brilhantes. Estes autores concluíram que a espessura e a uniformidade de deposição de cera na superfície do tegumento são fatores que afetam a absorção de água pelas cultivares.

O tamanho dos grãos também é considerado na avaliação visual do aspecto de grãos. No caso do feijão carioca, os grãos devem ser classificados em peneiras de furo oblongo entre 12 e 13 para atender às necessidades dos produtores, das empresas empacotadoras e do consumidor final (MELO *et al.*, 2007). Carbonell *et al.* (2010) propôs uma forma de avaliar a produção relativa de grãos por meio do peso de grãos classificados em diferente em peneiras. Foram estipulados pesos que variam de 1 a 10, em que, para a peneira 10, foi estipulado o peso 1; para a peneira 11, peso 4; para a peneira 12, peso 6; para a peneira 13, peso 10; para a peneira 14, peso 10 e, para a peneira 15, peso 6. O peso dos grãos retidos na peneira é analisado em uma escala de peso/nota, estabelecida em função da exigência de indústrias empacotadoras e do mercado consumidor. Segundo os autores, os maiores pesos/notas foram atribuídos para as peneiras 13 e 14 porque a demanda atual de mercado para o tamanho médio dos grãos de feijão está em torno dessas peneiras. Carbonell *et al.* (2010) observaram que poderão ter boa aceitação as cultivares com valores de produção relativa de grãos em peneiras acima de 7,00. Para este cálculo é utilizada a seguinte equação:

$$PRPG = \frac{(P12 \times peso6) + (P13 \times peso10) + (P14 \times peso10)}{P12 + P13 + P14}$$

Em que PRGP: produção relativa de grãos em peneiras; P12: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 12; P13: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 13 e P14: peso (g) retido na peneira de furo oblongo de número 14.

2.4 Fenômica

O progresso genético atual das espécies cultivadas, deve-se aos esforços dos programas de melhoramento no desenvolvimento de linhagens superiores quanto a uma série de características de importância econômica. Identificar novas linhagens superiores tem sido um grande desafio, principalmente quando se trata de caracteres de baixa herdabilidade ou que suas avaliações possuem baixa precisão e acurácia. Portanto, para tornar mais eficaz a seleção de genótipos superiores é necessária que novas metodologias de avaliação sejam propostas e utilizadas. Esse fato, ganha maior relevância em espécies altamente melhoradas, nas quais o ganho genético é cada vez mais difícil de ser sustentado. Desse modo, a fenômica, assumiu um papel fundamental para aumentar o ganho genético com a seleção (WHITE *et al.*, 2012; ARAUS e CARNS, 2014).

A fenotipagem por imagens é uma metodologia que possibilita gerar uma grande quantidade de dados em um período relativamente curto, se comparado à métodos convencionais (WALTER *et al.*, 2015). Além de ser gerada uma grande quantidade de imagens que podem ser armazenadas para serem utilizadas a qualquer momento, tal metodologia tem potencial de apresentar alta precisão, acurácia e repetibilidade dos resultados. O que é de grande importância ao melhoramento, uma vez que a eficácia na seleção é dependente destas particularidades (Ramalho *et al.*, 2012). Sua aplicação tem despertado interesse em pesquisadores, pois possibilita determinar atributos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos em plantas ou órgãos específicos e por ser uma técnica não destrutiva (GENTY & MEYER, 1995; KHOJASTEHNZHAND *et al.*, 2009; LENK *et al.*, 2006).

As imagens consistem em informações visuais armazenadas em forma digital. Estas são representadas por matrizes numéricas bidimensionais, onde cada ponto é um pixel que assume valores entre 0 e 255. As imagens são classificadas em binárias, escala de cinza e

coloridas. As imagens binárias são dicotômicas, nas quais os pixels assumem valores de 0 (preto) ou 255 (branco). Nas imagens em escala de cinza, os pixels podem assumir valores entre 0 e 255. Para cada um destes valores existe um tom de cinza associado. Em ambas, a imagem é constituída por uma única matriz de pixels. Diferentes das imagens binárias, as imagens coloridas são mais complexas, diferindo na quantidade de matrizes que as compõe, que depende do sistema de cor adotado para representá-las.

Existem diferentes sistemas de cores, dos quais, o mais usual é o RGB, composto por três canais: R – vermelho; G – Verde; B – Azul. Cada pixel é composto pela combinação da intensidade destes três canais, que proporciona a constituição de uma única cor que observamos visualmente (KALAIVANI *et al.*, 2013). Outros sistemas de cores são utilizados para representar imagens coloridas. Dentre estes, o sistema HSV (*hue, saturation, value*) e os propostos pela Comissão Internacional de Iluminação (Comission Internationale de l'Eclairage - CIE) têm sido muito utilizados para auxiliar no processamento de imagens digitais.

No sistema HSV, a matriz ou tonalidade (H) determina o comprimento de onda dominante da cor, enquanto a saturação (S) e o valor (V) se referem a quantidade de luz branca e a luminosidade presente na imagem, respectivamente (HUNT, 2010). Esse espaço é utilizado no processamento de imagens, pois permite um elevado grau de separação entre cor e iluminação. Outro espaço de cor, é o Lab proposto com o objetivo de utilizar um sistema de cores intuitivo pela linearização de representação de percepção humana. Neste, o canal L refere-se a luminosidade e os canais a e b, especificam uma matriz de cor de saturação ao longo dos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente. Este sistema tem sido utilizado como padrão em alguns softwares de edição e processamento de imagens.

As análises de imagens podem ser subdivididas nas seguintes etapas: aquisição, pré-processamento, segmentação e extração de características. A aquisição de imagens é uma etapa crucial na utilização de imagens digitais em pesquisas científicas, uma vez que será este momento que irá definir a qualidade das imagens a serem utilizadas. Existem câmeras que possuem capacidades diferenciadas na captação de informações, como térmicas ou multiespectrais e outras relativamente mais simples que possuem preço mais acessível, por isso são comumente utilizadas (TATTARIS; REYNOLDS; CHAPMAN, 2016). A nível de laboratório, algumas pesquisas tem sido realizadas com câmeras acopladas em estúdios fotográficos. Já na fenotipagem em campo são empregadas câmeras acopladas a vant's ou plataformas específicas para fenotipagem (WALTER; LIEBISCH; HUND, 2015).

Existem equipamentos específicos para captação e análise de imagens laboratoriais, como o GroundEye®, desenvolvido para análises de pesquisas do setor de sementes (ANDRIAZZI *et al.*, 2020). Este já possui um *software* com capacidade de analisar estas imagens, composto por um módulo de captação e bandeja para alocação das sementes. Após a captura das imagens, estas podem ser submetidas a pré-processamentos conforme a necessidade. Estes podem envolver a conversão de espaço de cores ou decomposição de canais. Essa etapa é de extrema importância, uma vez que é crucial identificar o melhor tipo de imagem e/ou sistema de cor para realizar processamento propriamente dito das imagens.

As técnicas de processamento são divididas de duas formas, as que apresentam operações pontuais ou regionais (SOLOMON; BRECKON 2013). As operações pontuais não geram alterações estruturais nas imagens, elas são responsáveis por alterar os valores de cada pixel na imagem de entrada transformando-os em novos valores na imagem de saída. Assim, estes valores obtidos dependem apenas dos valores anteriores de cada pixel e, portanto, essas modificações não sofrem influência dos pixels vizinhos. As principais operações pontuais em uma imagem visam modificações no brilho ou contraste e transformações de intensidade e de cor. Já as técnicas regionais possuem maior eficiência para a suavização de imagens, uma vez que elas utilizam os valores de pixels da vizinhança para fazer as transformações. Um exemplo, é a utilização de transformação por meio da convolução de imagens (HUNT, 2010).

Após o processamento, técnicas de segmentação são aplicadas a imagem, isto é, separação de regiões específicas determinadas por particularidades, como exemplo cor ou textura, processo que torna possível a extração de informações de regiões específicas. Diante das várias ferramentas de segmentação, as mais comuns são, a aplicação de limiares de intensidade e as técnicas de aprendizado de máquina não supervisionado, ambas com o objetivo do agrupamento de pixels similares (SOLOMON; BRECKON 2013). Uma vez separadas e identificadas as regiões de interesse da imagem, estas podem ser submetidas a técnicas de extração de características. Etapa esta crucial para utilização de imagens nas diferentes áreas. Podem ser obtidas medidas de tamanho, formato, cor, textura e morfologia, que permitirão discriminar os objetos de uma imagem.

2.5 Aplicação de imagens na avaliação de grãos

Grandes avanços foram alcançados por meio de análises de imagem na avaliação de sementes, que proporcionaram resultados rápidos e reprodutíveis (REGO, 2020). Uma das técnicas que tem sido comumente utilizadas é o emprego de imagens por raios X para a

avaliação da morfologia interna de sementes (GOMES-JUNIOR, 2010; MELO *et al.*, 2010). Esta garante análise rápida e não destrutível, que possibilita detectar sementes vazias ou que possuem algum dano, como também a área, largura, comprimento, circularidade e relações de tamanho. Processos que se utilizam na maioria das vezes *softwares*, tornando o processo de avaliação automatizado.

Em um trabalho realizado por Santos *et al.* (2019), foi utilizado análise de imagem para medições físicas de grãos de arroz, porcentagem de grão de giz e alongamento de grãos após cozimento, diante de digitalização dos grãos e análise via *software*, o qual calcula estatisticamente a área e valor de pixels de parâmetros definidos pelo usuário. Neste trabalho, a utilização da tecnologia de imagem permitiu a avaliação das características relacionadas de forma mais acurada e eficiente das variedades avaliadas, o que permitiu substituir o trabalho oneroso e pouco preciso que anteriormente era realizado via paquímetro digital. Khatchatourian e Padilha (2008) empregou análise de imagens de grãos de soja e redes neurais artificiais, para diferenciar e identificar variedades de soja, o trabalho mostrou que o processamento aplicado teve capacidade de identificar as variedades consideradas.

Na cultura do feijoeiro, há poucos trabalhos que empregam imagens para avaliação de grãos, especialmente com foco no melhoramento genético. Kara *et al.* (2013) verificou diferenças em características físicas dos grãos, como tamanho, forma, espessura, diâmetro e área entre variedades de feijão-comum ao avaliar seus grãos por meio de imagens. Belan *et al.* (2020) desenvolveu um sistema de baixo custo de captura e análise de imagens para avaliar a qualidade de grãos de forma similar a inspeção industrial. Este sistema é composto por um conjunto de *software* e *hardware*, construído a partir de abordagens propostas para segmentação, classificação e detecção de defeitos. O sistema além de ser confeccionado com baixo custo apresentou elevado sucesso na avaliação dos grãos com alta eficiência e robustez.

A seleção de progênies e/ou linhagens de feijão quanto ao aspecto dos grãos é realizada com base em uma avaliação visual baseada em escala de notas. Este tipo de avaliação apresenta sérios problemas devido ser visual, pois depende da experiência do avaliador. A utilização de imagens no melhoramento genético do feijoeiro, especialmente na avaliação de grãos constitui uma importante ferramenta para auxiliar na seleção de genótipos superiores. Entretanto, esta ferramenta ainda tem sido pouco explorada pelos programas de melhoramento da cultura. Portanto, torna-se necessário o aprimoramento de técnicas e recursos computacionais voltados à avaliação de sementes com foco no melhoramento

genético. Como visto, a utilização de imagens com o adjunto da inteligência artificial pode ser aplicada para melhorar metodologias utilizadas atualmente.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. *et al.* BRSMG Uai: cultivar de feijão tipo Carioca com planta de arquitetura ereta. 2018. folheto: **Embrapa Arroz e Feijão**, Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1103800/brsmg-uai-cultivar-de-feijao-tipo-carioca-com-planta-de-arquitetura-ereta> >. Acesso em: 1 Jan. 2022.
- ABREU, A., *et al.* BRSMG Majestoso: mais uma opção de cultivar de grão carioca para o Estado de Minas Gerais. **Embrapa Arroz e Feijão. - Comunicado técnico**, 2006.
- ALVARES, R. C. *et al.* Generation and validation of genetic markers for the selection of carioca dry bean genotypes with the slow-darkening seed coat trait. **Euphytica**, 215(8), 1-11, 2019.
- ALVARES, R. C. *et al.* Estimation of genetic parameters and selection of high-yielding, upright common bean lines with slow seed-coat darkening. **Genet. Mol. Res.** 15 (4), 2016.
- AMARO G. B. *et al.* Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, p. 584-588, 2007.
- ANDRIAZZI, C. V. G. *et al.* Evaluation of physiological quality of Corn seeds by GroundEye L800® system. **Revista Agro@ mbiente**, On-line, 14, 2020.
- ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in plant science**, 19(1), 52-61, 2020.
- BALDONI, A. B.; TEIXEIRA, F. F.; DOS SANTOS, J. B. Controle genético de alguns caracteres relacionados à cor da semente de feijão no cruzamento Rosinha X Esal 693. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1427-1431, 2002.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. Santo Antônio de Goiás, GO: **Embrapa Arroz e Feijão**, 247 p, 2012.
- BARILI, L. D. *et al.* Cinco décadas de melhoramento genético do feijão preto no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 46(3), 259-266, 2016.
- BASSET, M. J. List of genes: *Phaseolus vulgaris* L. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, New York, v.39, n.39, p.1-19, 1996.
- BELAN, P. A. *et al.* Machine vision system for quality inspection of beans. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 111(11), 3421-3435, 2020.
- BENINGER, C. W. *et al.* Chemical and morphological expression of the B and Asp seedcoat genes in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 125(1), 52-58, 2000.
- BLAIR, M. W. *et al.* Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Molecular Breeding**, v. 23, n. 2, p. 197-207, 2009.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. A cultura. In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed). **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, p.9-15, 2015.

- BROUGHTON, W. J. *et al.* Beans (*Phaseolus* spp.)—model food legumes. **Plant and soil**, 252(1), 55-128, 2003.
- BUSHEY, S.M.; HOSFIELD, G.L.; OWENS, S. The role of the epicuticular wax layer in water movement across the bean seed coat. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, East Lansing, v.45, p.12-13, 2002.
- CAPANEMA, L. M. *et al.* **P&D e inovação com feijão: o caso do instituto agrônomo (IAC) r&d and innovation in the common bean culture: the case of the agronomic institute (IAC)**, 2019.
- CARBONELL, S. A. M. *et al.* Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, 40(10), 2067-2073, 2010.
- CARBONELL, S.A.M.; CARVALHO, C.R.L.; PEREIRA, V.R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.369-379, 2003.
- CARNEIRO, J. E. S. *et al.* BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 12(4), 281-284, 2012.
- CARNEIRO, J. E. S. Alternativa para obtenção e escolha de populações segregantes no feijoeiro. 134p. **Tese** (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002
- CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio a colheita**. Viçosa-MG: Editora UFV, 384 p., 2014.
- CORTE, A. D. *et al.* Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.
- COSTA, L. C. *et al.* **Mapeamento de genes de resistência a diferentes isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* e seleção recorrente visando à resistência a antracnose do feijoeiro**. 2019. 109 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- DA SILVA, O. F; WANDER, A. Caracterização e avaliação econômica do sistema de cultivo de feijão-comum irrigado no Cerrado o caso da cultivar BRS Estilo. **Embrapa Arroz e Feijão-Capítulo em livro técnico** (INFOTECA-E), 2018.
- DE FARIA, L. C. *et al.* BRSMG Talismã: uma nova opção de cultivar de feijoeiro comum com grão carioca para o Estado do Paraná. **Embrapa Arroz e Feijão-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 2004.
- DE RON, A.M. *et al.* History of the common bean crop: its evolution beyond its areas of origin and domestication. **Arbor Ciencia, Pensamiento y Cultura**, v. 192, n. 779, p. 1–11, 2016.
- DI PRADO, P. R. C. *et al.* Genetic control and selection of common bean parents and superior segregant populations based on high iron and zinc contents, seed yield and 100-seed weight. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado** (ALICE), 2019.
- DÍAZ, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, 43(2), 595-601. 2010.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2019): área, produção e**

- rendimento.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2022. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 01/02/2021 (Data da consulta on line).
- ERFATPOUR, M.; NAVABI, A.; PAULS, K. P. Mapping the non-darkening trait from ‘Wit-rood boontje’ in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, 131(6), 1331-1343. 2018.
- GENTY, B.; MEYER, S. Quantitative mapping of leaf photosynthesis using chlorophyll fluorescence imaging. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 22, n. 2, p. 277- 284, 1995.
- GOMES-JUNIOR, F.G. Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 3, p. 33-39, 2010.
- GUIMARÃES, E. P.; DE SOUZA, T. L. P. O. Feijão comum: o uso de sementes certificadas na cadeia produtiva. Embrapa Arroz e Feijão -Artigo em periódico indexado (ALICE), 2019.
- HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Plant Breed. Rev**, 9, 115-179, 1992.
- HOLTZ, V. *et al.* Perdas na colheita mecanizada direta de feijão cultivado em área irrigada por pivô central. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.10, n.1, p.10-19, 2018.
- HUNT K. A.. The Art of Image Processing with Java. A K Peters/CRC Press. 1 ed. 300p, 2010.
- JUNK-KNIEVEL, D. C.; VANDERBERG, A.; BETT, K. E. Slow darkening in pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats is controlled by a single major gene. **Crop Science**, v. 48, n. 1, p. 189-193, 2007.
- KALAIVANI, R.; MURUGANAND, S.; PERIASAMY, A. Identifying the quality of tomatoes in image processing using matlab. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, 2(8), 3525-3531, 2013.
- KARA, M. *et al.* Seed size and shape analysis of registered common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey using digital photography. **Tarım Bilimleri Dergisi**. v.19, p. 219-234. 2013.
- KHATCHATOURIAN, O.; PADILHA, F. R. Reconhecimento de variedades de soja por meio do processamento de imagens digitais usando redes neurais artificiais. **Engenharia Agrícola**, 28(4), 759-769, 2008.
- KHOJASTEHNAZHAND, M.; OMID, M.; TABATABAEEFAR, A. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. **International Agrophysics**, v. 23, n. 3, p. 237-242, 2009.
- LEAKEY, C.L.A. Genotypic and phenotypic marks in common bean. In: GEPTS, P. (Ed.). **Genetic resources in Phaseolus beans**. Boston: Klumer Academic. p.245-327, 1988.
- LEMOS, R. D. C. *et al.* A half century of a bean breeding program in the South and Alto Paranaíba regions of Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 2020.
- LENK, S. *et al.* Multispectral fluorescence and reflectance imaging at the leaf level and its possible applications. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 4, p. 807-814, 2006.
- MATOS, J. W. D. **Análise crítica do programa de melhoramento genético do feijoeiro da UFPA no período de 1974 a 2004**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

MELO, C. L. *et al.* Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, maio, 2007.

MELO, R. A. *et al.* Use of X-ray to evaluate damage caused by weevils in cowpea seeds. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 472-476, 2010.

MENEZES JÚNIOR, J. Â. N. D., RAMALHO, M. A. P., & ABREU, Â. D. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, 67(4), 833-838, 2008.

MESQUITA, F. R. *et al.* Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. 2007.

MOREIRA, M. A. *et al.* BRSMG Pioneiro: new carioca common bean cultivar resistant to anthracnose and rust, for the southern of Brazil. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado**, v. 49, p. 279, 2006.

PASALA, R.; PANDEY, B. B. Plant phenomics: High-throughput technology for accelerating genomics. **Journal of Biosciences**, 45(1), 1-6, 2020.

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L.; CHIORATO, A. F.; LOPES, R. L. T.; GONÇALVES, J. G. R.; CARBONELL, S. A. M. Technological quality of common bean grains obtained in different growing seasons. **Bragantia**, 73(1), 14-22, 2014.

PINTO, J. V. **Propriedades físicas, químicas, nutricionais e tecnológicas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) de diferentes grupos de cor**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2016.

PRAKKEN, R. Inheritance of colour in *Phaseolus vulgaris* L.: Recombination within the 'Complex locus C' (No. 74-24). **Veenman**, Department of Genetics, Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 1974.

PUJOLÀ, M.; FARRERAS, A.; CASAÑAS, F. Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food chemistry**, v. 102, n. 4, p. 1034-1041, 2007.

RAMALHO, M. A. P. *et al.* **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. Livro UFLA. 522p, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, p. 23-29, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S. Cultivares. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 223, p. 21-32, 2004.

RAMALHO, M.A.P., ABREU, A.F.B. Obtenção de Cultivares In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (ed.). **Feijão do Plantio a Colheita**. Viçosa, Ed. UFV, pp. 96-114, 2015.

REGO, C. H. Q. **Avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de feijão-caupi por meio de técnicas de análise de imagens**. 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

- RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos da interação genótipo x ambiente no ciclo e na coloração do tegumento dos grãos do feijoeiro comum. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 373-380, 2004.
- RIBEIRO, S. R. R. P.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Maternal effect associated to cooking quality of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. Viçosa. v. n 4: 303-309, 2006.
- SANTOS, M. V. *et al.* Measurement of rice grain dimensions and chalkiness, and rice grain elongation using image analysis. In Rice Grain Quality (pp. 99-108). **Humana Press**, New York, NY, 2019.
- SHIGA, T. M. *et al.* Effect of cooking on non-starch polysaccharides of hard-to-cook beans. **Carbohydrate Polymers**, 76(1), 100-109, 2009.
- SILVA, O. F. da ; WANDER, A. E., O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro. EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO - Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 287, 63 p. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2013.
- SIQUEIRA, B. D. S., **Desenvolvimento dos fenômenos de escurecimento e endurecimento em feijão carioca: aspectos bioquímicos e tecnológicos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2013.
- SOLOMON C.; BRECKON T. **Fundamentos de processamento digital de imagens: uma abordagem pratica com exemplos em Matlab**. 1 ed. Editora LTC. 281p, 2013.
- SOUZA, A. A. de. *et al.* Produtividade de Genótipos de Feijão-Comum em Ensaio de VCU do Grupo Cores, no Norte de Minas Gerais, Conduzidos na “Safrá De Inverno” do Ano 2013. In: **8º FEPEG. UNIMONTES**, 2014.
- TATTARIS, M.; REYNOLDS, M. P.; CHAPMAN, S. C. A direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. **Frontiers in Plant Science**, 7, 1131, 2016.
- VIEIRA, C. **Memórias de meio século de estudos sobre a cultura do feijão**. Viçosa-UFV, Divisão de Gráfica Universitária, 214 p, 2005.
- VOYSEST, V. O. Mejoramento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999. Cali: **Centro Internacional de Agricultura Tropical**. 195 p. 2000.
- WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. **Plant Methods**, v. 11, p. 14, 2015.
- WHITE, J. W. *et al.* Field-based phenomics for plant genetics research. **Field Crops Research**, 133, 101-112, 2012.

**CAPÍTULO 2: VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DA FENOTIPAGEM POR IMAGENS
DO TAMANHO DE GRÃOS DE FEIJÃO-COMUM**

RESUMO

O feijão carioca é o tipo comercial de grão que recebe mais atenção pelos programas de melhoramento do feijoeiro, por ser o mais produzido e consumido no Brasil. Dentre as exigências para o lançamento de novas cultivares, o aspecto dos grãos é um importante atributo, e no aspecto de grãos o tamanho é uma importante característica para a seleção de novas linhagens. O procedimento padrão de avaliação desta característica limita-se a medições manuais via paquímetro ou avaliações de notas visuais para o aspecto de grãos de forma geral, ferramentas automatizadas de captura e análise de imagens podem tornar mais rápida e precisa tal avaliação. O objetivo deste trabalho foi propor o emprego da visão computacional na análise de imagens do tamanho e formato de grãos de feijão carioca. Foram conduzidos um experimento de validação da metodologia com 32 linhagens de feijão carioca recomendadas em diferentes anos e variadas instituições de origem, a fim de, validar o processo de medição, foram medidos 15 grãos de cada parcela via paquímetro digital e posteriormente realizada a captura dos mesmos grãos para aplicação da visão computacional, tal experimento foi conduzido no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA) na safra da “seca” de 2020, foi implementado outros experimentos para aplicação do método, utilizando 55 linhagens de feijão do mesmo tipo de grão de diferentes anos de recomendação e instituições de pesquisa do Brasil, estes experimentos foram conduzidos em três safras, a primeira durante a safra de “outono-inverno” de 2019 em Coimbra (MG) pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), posteriormente nas safras das “águas” de 2019 da “seca” de 2020, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), de cada parcela foi extraído aproximadamente 100 grãos e realizado captura das imagens, todas as imagens capturas ocorreram no equipamento GroundEye®, modelo S800 no laboratório de Imagens (LAS-UFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Constatou-se que a fenotipagem por imagens do tamanho e formato dos grãos de feijão comum, além de agregar rapidez e permitir extrair medidas de uma grande quantidade de grãos de um elevado número de genótipos, é tão precisa e acurada quanto a avaliação realizada com o emprego de paquímetro e, portanto, pode ser empregada rotineiramente pelos programas de melhoramento do feijoeiro, além de poder ser realizada nas diferentes safras do cultivo do feijoeiro. As cultivares IAC Formoso, IAC Carioca Pyatã, IAC Milênio, BRS FC 409, BRS Ametista, BRS FC 406, IAC Alvorada, BRSMG Majestoso e BRS Pérola apresentaram maior tamanho de grãos e, por isso, tem potencial para serem empregadas em programas de melhoramento do feijoeiro que visam desenvolver cultivares com grãos graúdos.

Palavras-chaves: Melhoramento do Feijoeiro. Fenômica. Imagens.

ABSTRACT

The carioca bean is the commercial type of grain that receives the most attention by breeding programs of common-bean, as it is the most produced and consumed in Brazil. Among the requirements for launching new cultivars, the grain aspect is an important attribute, for the selection of new lines. The standard of evaluation of this characteristic is limited to manuals through the parameter or estimates of visual notes for the grains of aspect in general, evaluation measurement tools and image analysis can make such an image faster and more accurate. The objective of this work was to propose the use of computer vision in the analysis of images of the size and shape of carioca bean grains. A methodology validation experiment was carried out with 32 carioca bean lines recommended in different years and different research institutions of origin, in order to validate the measurement process, 15 grains of each plot were measured using a digital caliper and later the digital capture of the same grains was carried out for the application of computer vision. this experiment was conducted at the Center for Scientific and Technological Development of the Federal University of Lavras (UFLA) in the 2020 “dry” season of 2020, other experiments were implemented to apply the method, using 55 common-bean lines of the same type of grain from different years of recommendation and research institutions in Brazil, these experiments were conducted in three seasons, the first during the season “autumn-winter” of 2019 in Coimbra (MG) belonging to the Department of Plant Science of the Federal University of Viçosa (UFV), later, in the 2019 the season of “water” and the 2020 in “dry” season, at the Center for Scientific and Technological Development of the Federal University of Lavras (UFLA), approximately 100 grains were extracted from each plot and image capture was performed, all images captured occurred in the equipment GroundEye®, model S800 in the Laboratory of Images (LAS-UFLA) of the Sector of Seeds of the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras. It was found that image phenotyping of the size and shape of common bean grains, in addition to adding speed and allowing the extraction of measurements from a large amount of grains from a large number of genotypes, is as precise and accurate as the evaluation performed with the use of a caliper and, therefore, it can be used routinely by the common bean breeding programs, in addition to being able to be carried out in the different seasons of the bean crop. The cultivars IAC Formoso, IAC Carioca Pyatã, IAC Milênio, BRS FC 409, BRS Ametista, BRS FC 406, IAC Alvorada, BRSMG Majestoso and BRS Pérola presented larger grain sizes and, therefore, have the potential to be used in breeding programs of bean that aim to develop cultivars with large grains.

Keywords: Common Bean Breeding. Phenomics. Images.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possui grande variabilidade quanto a cor, formato e tamanho dos grãos. Estas características intrínsecas dos grãos são de grande influência na aceitação de uma nova cultivar dos diferentes grupos comerciais, uma vez que são valorizadas pelo mercado consumidor (CARNEIRO *et al.*, 2005; VIEIRA *et al.*, 2005). Há variados grupos comerciais de grãos de feijão-comum, como carioca, preto, vermelho, jalo, roxo, mulatinho entre outros (BORÉM; CARNEIRO; JUNIOR, 2015). O feijão carioca tem destaque, como o mais cultivado e consumido no país, logo, o grupo carioca recebe atenção especial dos programas de melhoramento do feijoeiro, que buscam desenvolver cultivares superiores quanto a caracteres agronômicos como da qualidade comercial dos grãos. Neste último quesito para o feijão carioca são considerados a coloração clara do tegumento que permanece por maior tempo, a ausência de brilho, o tamanho e formato dos grãos assim como o rendimento por peneiras (CARBONELL *et al.*, 2010).

O tamanho dos grãos é um dos principais critérios utilizados pelos programas de melhoramento na etapa de seleção de novas linhagens. Segundo Carbonell *et al.*, (2010), até meados de 1998, a cultivar padrão quanto ao grão era a “Carioca” ou “Carioquinha”, que apresentava tamanho médio próximo a peneira 11 e 12. Posteriormente, próximo aos anos 2000 a cultivar “Pérola” com peneiras médias entre 12 e 13 foi adotada como padrão por ser preferida pela indústria. Após o lançamento destas já foram recomendadas diversas cultivares que aliam tamanho e formato dos grãos desejáveis, com coloração clara do tegumento e outras características de importância agronômica (LEMOS *et al.*, 2020). Exemplos são as cultivares BRSMG Talismã (RAMALHO *et al.*, 2002), BRMSG Majestoso (ABREU *et al.*, 2007), BRSMG Madrepérola (ABREU *et al.*, 2011), BRS FC 406 (EMBRAPA, 2020) entre outras.

A seleção quanto ao aspecto dos grãos em feijão do tipo carioca é principalmente realizada por meio da avaliação visual (RAMALHO *et al.*, 1998) que considera critérios dos grãos como cor e escurecimento do tegumento, presença de halo amarelo, presença de brilho, tamanho e formato dos grãos. Apesar de rápida e prática, esta avaliação por ser visual não é precisa, o que torna a seleção menos acurada. Além disso, na avaliação visual, os critérios são avaliados conjuntamente o que torna a avaliação menos detalhada. Quando se tem o interesse de avaliar estes critérios individualmente são utilizados outros equipamentos como é o caso do colorímetro e paquímetro digital, utilizados na avaliação da cor e tamanho dos grãos, respectivamente. Entretanto, estas são metodologias que demandam excessivo tempo, o que inviabiliza a utilização de um grande número de grãos e de genótipos a serem avaliados.

Assim, muitos dos trabalhos desta natureza avaliam pequenas amostras de um pequeno número de genótipos. Além disso, poucos são os trabalhos que realizam estas avaliações em experimentos com repetição.

Segundo Ramalho *et al.*, (2012), a acurácia de seleção é altamente influenciada pela precisão experimental. Portanto, novas metodologias de avaliação que venham a incrementar a precisão experimental auxiliarão no maior sucesso na seleção de genótipos superiores. Imagens digitais tem sido empregada em diversas áreas do conhecimento para auxiliar na solução de problemas, tanto simples quanto complexos, uma vez que esta metodologia oferece diversas vantagens como maior eficiência e eficácia, maior quantidade de dados a serem extraídos de forma simultânea, automação dos processos e redução do erro humano. Apesar de pouco explorada no melhoramento de plantas, a fenotipagem por imagens tem um grande potencial de promover um aumento no ganho genético dos programas de melhoramento.

A aplicação da ferramenta de análise de imagens tem propriedade para auxiliar em diferentes áreas do melhoramento genético de plantas, como, na avaliação de sanidade, severidade e incidência de doenças, extração de medidas de plantas, plântulas e raízes, avaliações de colorações de grãos e frutos, entre outros. Silva (2021), realizou aplicação da visão computacional, para avaliação da cor do tegumento dos grãos de feijão carioca, por meio da análise de imagens digitais, avaliando a coloração dos genótipos e seus respectivos escurecimentos ao longo do tempo, seus resultados demonstraram maior precisão experimental quando comparado a avaliação visual.

Na cultura do feijoeiro a utilização de imagens tem sido pouco relatada, em especial, para avaliações de tamanho e formato de grãos. A fenotipagem por imagens de grãos de feijão comum permitirá de uma forma rápida, precisa e acurada obter informações quanto a estes caracteres de uma forma pormenorizada de um grande número de grãos e genótipos. Vantagens estas que não eram possíveis de se obter quando se realizava a avaliação destes caracteres com o emprego do paquímetro. Portanto, o objetivo com este trabalho foi validar a metodologia e o equipamento Groundeye de fenotipagem por imagens para quantificar o tamanho e formato de grãos de feijão-comum.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Validação da fenotipagem por imagens

Um total de 32 cultivares de feijão do grupo comercial carioca recomendadas por instituições de pesquisa do Brasil (Tabela 1) foram avaliadas na safra da “seca” de 2020 quanto ao comprimento e largura dos grãos tanto por meio de um paquímetro quanto por mensuração digital em imagens. O experimento foi conduzido na área experimental do 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. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com três repetições, parcelas de duas linhas de dois metros, espaçadas de 0,6 metros. Foi utilizada a densidade de semeadura de 15 sementes por metro. A adubação e os tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão no Estado de Minas Gerais, segundo Carneiro *et al.* (2014).

Tabela 1- Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil, ano de recomendação e instituição de origem.

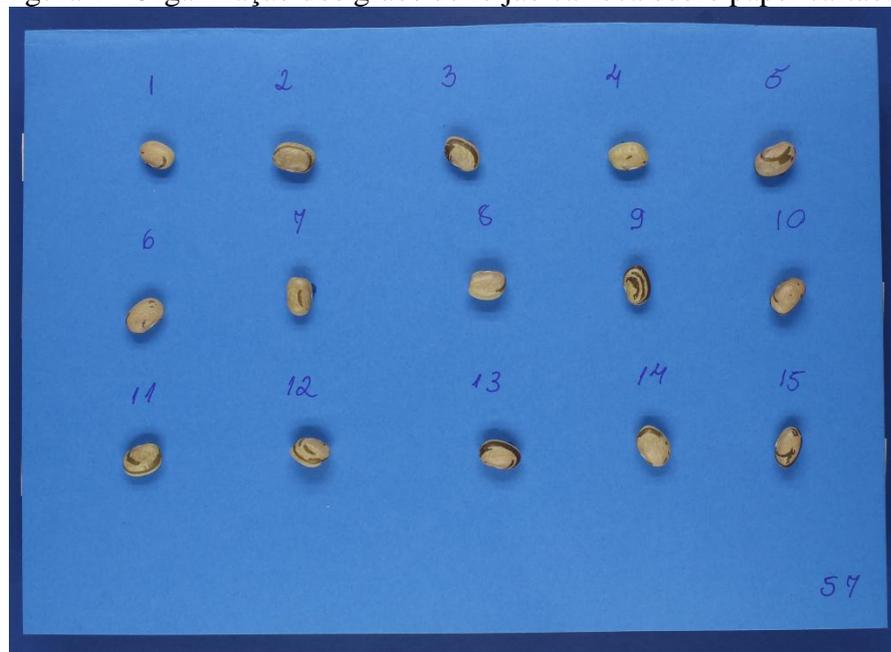
Cultivares	Ano	Origem	Cultivares	Ano	Origem
Aporé	1992	EMGOPA	IAC Alvorada	2007	IAC
BR IPA 11 Brigida	1994	IPA/PE	IAC Formoso	2010	IAC
BRS Cometa	2006	EMBRAPA	IAC Imperador	2013	IAC
BRS Estilo	2009	EMBRAPA	IAC-Apuã	2005	IAC
BRS Notável	2011	EMBRAPA	IAC-Carioca Pyatã	1994	IAC
BRS Pérola	1996	EMBRAPA	IAC-Ybaté	2005	IAC
BRS Pontal	2003	EMBRAPA	IAPAR 31	1991	IAPAR
BRS Requite	2003	EMBRAPA	IAPAR 81	1997	IAPAR
BRSMG Majestoso	2006	Convênio	IPR Andorinha	2013	IAPAR
BRSMG Madrepérola	2012	Convênio	IPR Campos Gerais	2011	IAPAR
BRSMG Pioneiro	2005	Convênio	IPR Colibri	2004	IAPAR
BRSMG Talismã	2002	Convênio	IPR Eldorado	2006	IAPAR
Carioca 1070	1989	IAC	Rio doce	1987	EMCAPA
Carioca 80	1980	IAC	Rudá	1994	EMCAPA
Carioca MG	1982	UFLA	SCS Guará	2004	EPAGRI
FT bonito	1992	FT- sementes	VC15	2015	UFV

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; IAC: Instituto Agronômico de Campinas; IAPAR: Instituto Agronômico do Paraná; EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina; EMCAPA: Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária; EMGOPA: Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária; IPA/PE: Instituto Agronômico de Pernambuco; UFV: Universidade Federal de Viçosa; UFLA: Universidade Federal de Lavras; Convênio: Parceria entre UFLA, UFV, Embrapa e Epamig.

Fonte: Do autor (2022).

De cada parcela foram amostrados aleatoriamente 15 grãos para serem avaliados quanto ao comprimento (eixo maior) e largura (eixo menor) com um paquímetro digital. As imagens destes grãos também foram obtidas a fim de inferir sobre as medidas obtidas com o paquímetro. Os 15 grãos foram fixados em papel cartão (figura 1) em uma ordem pré-estabelecida a fim obter por ambas as metodologias tanto o comprimento quanto a largura. A obtenção das imagens foi realizada com o equipamento GroundEye®, modelo S800 (ANDRADE, 2017; ÁVILA, 2017; PINTO, 2017), localizado no Laboratório de Imagens (LASUFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA.

Figura 1– Organização dos grãos de feijão carioca sobre papel cartão.



Fonte: Do autor (2022).

As imagens em extensão JPG foram capturadas e convertidas do sistema RGB para Lab para então serem submetidas a segmentação. Tal processo teve como objetivo individualizar cada um dos grãos para serem, posteriormente, mensurados. A técnica de segmentação de limiarização proposta por Otsu (1979) foi utilizada no canal b da imagem em espaço de cor Lab a fim de determinar um valor de limiar que separassem os pixels da imagem completa em duas áreas: os grãos e o fundo. Assim, a partir da imagem contendo somente os grãos, foi possível individualizá-las e obter as medidas de comprimento, largura, área e perímetro, em unidade de pixels. Posteriormente, estas medidas foram convertidas para

mm no caso de comprimento, largura e perímetro e em mm² para área dos grãos. Para realizar esta conversão foi utilizado um quadrado branco de referência na imagem com tamanho conhecido (20 mm x 20mm), que permitiu quantificar as dimensões de cada pixel e determinar um fator de conversão para a unidade desejada.

O formato dos grãos foi determinado por meio da razão entre as medidas do comprimento e largura dos grãos, denominada como índice J como é relatada por Carbonell *et al* (2010). Tal medida foi obtida tanto para a metodologia que empregou o paquímetro quanto também para as imagens. Por meio dessa razão foi possível classificar o formato dos grãos das linhagens conforme proposta de Puerta Romero (1961). Este autor classifica um genótipo pelo formato dos grãos conforme a seguir: esférico (1,16 a 1,42); elíptico (1,43 a 1,65); oblongo/reniforme curto (1,66 a 1,85); oblongo/reniforme médio (1,86 a 2,00); oblongo/reniforme longo (> 2,00).

Os dados obtidos tanto via paquímetro quanto via fenotipagem por imagens, foram submetidos a análises individuais de variância, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + C_i + e_{ij}$$

em que:

Y_{ij} é o valor observado na parcela que contém a i-ésima cultivar no j-ésimo bloco;

μ é a média geral do experimento;

B_j é o efeito aleatório do j-ésimo bloco;

C_i é o efeito fixo da i-ésima cultivar;

e_{ij} é o erro aleatório que incide na parcela da i-ésima cultivar no j-ésimo bloco.

O teste de Scott-Knott (1974) foi utilizado para agrupar as médias das cultivares quando foi detectado efeito significativo para cultivares.

A fim de comparar as metodologias de avaliação do tamanho e formato dos grãos foram estimadas para ambas os seguintes parâmetros: média geral do experimento, coeficiente de variação, quadrado médio do resíduo, componente quadrático genotípico, fenotípico e ambiental, acurácia e coeficiente de determinação genético. Também foi estimada a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias das cultivares, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. Além disso, a correlação de Pearson entre as metodologias de avaliação dos grãos para os caracteres comprimento, largura e índice J foi obtida em nível de grão, de médias de parcela e médias das cultivares. Estes valores de correlação foram classificados conforme proposto por Hopkins (2000) (TABELA 2).

Tabela 2- Classificação dos valores do coeficiente de correlação de Pearson, proposto por Hopkins (2000).

Coeficiente de correlação	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Do autor (2022).

2.2 Fenotipagem por imagens dos grãos de feijão comum

Um conjunto de 55 cultivares de feijão do grupo comercial carioca (Tabela 2), foram avaliadas nas safras de “outono-inverno” de 2019 no município de Coimbra e nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020 em Lavras. A estação experimental de Coimbra pertence ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e está situada a 715 m de altitude, nas coordenadas 20°50’ de latitude S e 42°48’ de longitude Oeste. Em Lavras os experimentos foram conduzidos na área experimental do 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. A adubação e os tratos culturais dos experimentos foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão no Estado de Minas Gerais, segundo Carneiro *et al.* (2014).

Tabela 3- Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil, ano de recomendação e instituição de origem. (continua)

CULTIVARES	Ano	Origem	CULTIVARES	Ano	Origem
Aporé	1992	EMGOPA	IAC Imperador	2013	IAC
BR- IPA 11-Brígida	1994	IPA/PE	IAC Milênio	2013	IAC
BRS Ametista	2011	EMBRAPA	IAC-Apuã	2005	IAC
BRS Cometa	2006	EMBRAPA	IAC-Aruã	1996	IAC
BRS Estilo	2009	EMBRAPA	IAC-Ybaté	1994	IAC
BRS FC406	2019	EMBRAPA	IAPAR 31	1991	IAPAR
BRS FC409	2019	EMBRAPA	IAPAR 80	1987	IAPAR
BRS Horizonte	2005	EMBRAPA	IAPAR 81	1997	IAPAR
BRS Notável	2011	EMBRAPA	IPR Andorinha	2013	IAPAR
BRS Pérola	1996	EMBRAPA	IPR Bem-te-vi	2015	IAPAR
BRS Pontal	2003	EMBRAPA	IPR Campos Gerais	1994	IPA/PE
BRS Requite	2003	EMBRAPA	IPR Colibri	2004	IAPAR

Tabela 3- Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil, ano de recomendação e instituição de origem. (conclusão)

CULTIVARES	Ano	Origem	CULTIVARES	Ano	Origem
BRSMG Amuleto	2020	Convênio	IPR Curió	2013	IAPAR
BRSMG Madrepérola	2011	Convênio	IPR Eldourado	2006	IAPAR
BRSMG Majestoso	2006	Convênio	IPR Quero-Quero	2014	IAPAR
BRSMG Pioneiro	2005	Convênio	IPR Siriri	2006	IAPAR
BRSMG Talismã	2002	Convênio	IPR Tangará	2007	IAPAR
BRSMG Uai	2015	Convênio	Porto Real	1998	FT
Carioca 1030	1970	IAC	Princesa	1997	Embrapa
Carioca 1070	1989	IAC	Rio doce	1987	EMCAPA
Carioca 80	1980	IAC	RP 1	2015	UFLA
Carioca MG	1982	UFLA	Rudá	1994	EMCAPA
FT bonito	1992	FT- sementes	Rudá R	1995	UFV
IAC - Carioca Pyatã	1994	IAC	SCS Guará	2004	EPAGRI
IAC Alvorada	2007	IAC	TAA Dama	2013	T. A.
IAC Aysó	1980	IAC	VC 17	2013	UFV
IAC Carioca	1987	IAC	VC15	2015	UFV
IAC Formoso	2010	IAC			

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; IAC: Instituto Agrônomo de Campinas; IAPAR: Instituto Agrônomo do Paraná; EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina; EMCAPA: Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária; EMGOPA: Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária; IPA/PE: Instituto Agrônomo de Pernambuco; UFV: Universidade Federal de Viçosa; UFLA: Universidade Federal de Lavras; Epamig: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; Convênio: Parceria entre UFLA, UFV, Embrapa e Epamig. ; T. A. – TERRA ALTA; FT : FT Sementes.

Fonte: Do autor (2022).

O delineamento estatístico utilizado nos experimentos foi de blocos casualizados com três repetições, parcelas de duas linhas de dois metros, espaçamento de 0,6 metros entre linhas e densidade de plantio de 15 sementes por metro. Nestes experimentos foram avaliados por meio da fenotipagem por imagens dos grãos os seguintes caracteres: comprimento, largura, razão entre os eixos (índice J), perímetro e área. Para estas avaliações foram capturadas imagens contendo 100 grãos amostrados aleatoriamente de cada parcela dos experimentos, ou seja, a aquisição das imagens seguiu a mesma estrutura do delineamento estatístico de blocos casualizados dos experimentos. Essa obtenção das imagens foi realizada com o equipamento GroundEye®, modelo S800 (ANDRADE, 2017; ÁVILA, 2017; PINTO, 2017), localizado no Laboratório de Imagens (LAS-UFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA. O processamento das imagens e a extração das características de tamanho e formato dos grãos foi realizada de forma semelhante às análises realizadas no experimento de validação da fenotipagem por imagens dos grãos.

Os dados das cultivares quanto aos caracteres de tamanho e formato dos grãos foram submetidos à análise individual de variância, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + C_i + e_{ij}$$

em que:

Y_{ij} é o valor observado na parcela que contém a i -ésima cultivar no j -ésimo bloco;

μ é a média geral do experimento;

B_j é o efeito aleatório do j -ésimo bloco;

C_i é o efeito fixo da i -ésima cultivar;

e_{ij} é o erro aleatório que incide na parcela da i -ésima cultivar no j -ésimo bloco.

O teste de Scott-Knott (1974) foi utilizado para agrupar as médias das cultivares quando foi detectado efeito significativo para cultivares.

Os dados das cultivares quanto aos caracteres de tamanho e formato dos grãos nos três experimentos foram submetidos à análise conjunta de variância conforme o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B/E_{jk} + C_i + E_j + CE_{ij} + e_{ijk}$$

no qual:

Y_{ijk} é o valor observado da i -ésima cultivar no j -ésimo experimento e k -ésimo bloco;

μ é a média geral;

B/E_{jk} é o efeito aleatório do k -ésimo bloco dentro do j -ésimo experimento;

C_i é o efeito fixo da i -ésima linhagem;

E_j é o efeito fixo do j -ésimo experimento;

CE_{ij} é o efeito aleatório da interação da i -ésima cultivar com o j -ésimo experimento;

e_{ijk} é o erro aleatório associado a Y_{ijk} .

Estudos pormenorizados de interação cultivares por ambientes também foram realizados por meio de análises de correlação de Pearson das cultivares avaliadas em diferentes experimentos e também por meio da natureza da interação entre linhagens e pares de ambientes, segundo Cruz e Castoldi (1991).

Todo o processamento das imagens foi realizado com auxílio das bibliotecas OPENCV (HOWSE, 2013) e Scikit-Image (WALT *et al.*, 2014) da linguagem de programação Python (ROSSOUM; DRAKE, 2010). As análises estatísticas foram realizadas por meio do software GENES (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Validação da fenotipagem por imagens do tamanho e formato de grãos

O efeito de cultivares foi significativo para os todos os caracteres avaliados independente da metodologia utilizada para mensuração destes caracteres (Tabela 4), ou seja, para todos estes pelo menos uma das médias das cultivares diferiu-se das demais. Portanto, ambas metodologias foram efetivas na identificação da variabilidade entre as cultivares para todos os caracteres, o que já é uma evidência de que a fenotipagem por imagens pode ser empregada na mensuração do tamanho e formato dos grãos de feijão- comum. Além disso, tais resultados indicam que o equipamento GroundEye® (modelo S800) tem potencial para ser utilizado na captura das imagens e ser empregado com esta finalidade. Diferentes trabalhos com o GroundEye® tem avaliado a qualidade fisiológica de sementes, diferenciação de cultivares, coloração dos grãos, entre outros, entretanto ainda não houve registros de trabalhos utilizando o equipamento para classificação quanto ao tamanho e formato dos grãos. (ANDRADE, 2014; ANDRADE 2017; PINTO, 2015; ÁVILA, 2017; SILVA, 2021)

Tabela 4- Resumo das análises individuais de variância da avaliação de cultivares de feijão comum do grupo comercial carioca quanto ao comprimento (COMP), largura (LARG) e índice J (J) no experimento conduzido em Lavras na safra “seca” de 2020.

FV	GL	QM					
		PAQUIMETRO			IMAGEM		
		COMP	LARG	J	COMP	LARG	J
Blocos	2	0,079	0,122*	0,008**	0,274**	0,131**	0,025**
Linhagens	31	0,629**	0,162**	0,008**	0,612**	0,160**	0,008**
Resíduo	62	0,044	0,024	0,001	0,027	0,017	0,001

FV: Fonte de Variação; GL: graus de liberdade; QM: Quadrado Médio; CV (%): Coeficiente de Variação; COMP: comprimento dos grãos em milímetro; LARG: largura dos grãos em milímetro; J: índice da razão entre comprimento e largura; *, **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2022).

As médias do experimento para comprimento, largura e índice J obtidas com paquímetro foram, respectivamente, de 9,62, 6,55 e 1,47, enquanto quando avaliados por meio da fenotipagem por imagens foram de 8,94, 5,98 e 1,50 (TABELA 5). Verifica-se, portanto, que as médias obtidas com imagens foram ligeiramente inferiores às obtidas com paquímetro, enquanto a média do índice J foi superior quando foi avaliado com base nas imagens. Foi

identificado um viés entre as metodologias; para a avaliação via imagem o viés médio é de -0,67 mm para o caráter comprimento e -0,57 mm para o caráter largura. Entretanto estas diferenças não afetaram a identificação da variabilidade existente entre as cultivares.

Tabela 5- Estimativas dos parâmetros genéticos-estatísticos para as características comprimento (COMP), largura (LARG) e índice J obtidos por paquímetro e por imagens no experimento conduzido em Lavras na safra “seca” de 2020.

ESTIMATIVAS	PAQUÍMETRO			IMAGEM		
	COMP	LARG	J	COMP	LARG	J
MÉDIA	9,62	6,55	1,47	8,94	5,98	1,50
DMS-TUKEY-5%	0,68	0,51	0,11	0,53	0,43	0,12
DMS-TUKEY-1%	0,77	0,57	0,12	0,60	0,48	0,13
NÚMERO DE GRUPOS (Scott Knott)	5	5	4	6	4	4
CV (%)	2,18	2,39	2,21	1,84	2,20	2,42
Acurácia	0,96	0,92	0,93	0,98	0,94	0,91
Coefficiente de determinação genotípico	0,93	0,85	0,87	0,96	0,89	0,84
Componente Quadrático Genotípico	0,20	0,05	0,002	0,19	0,05	0,002
Componente Quadrático Fenotípico	0,21	0,05	0,003	0,20	0,05	0,003
Componente Quadrático Ambiental	0,01	0,08	0,0003	0,009	0,005	0,0004

CV (%): Coeficiente de Variação; COMP: comprimento dos grãos em milímetro; LARG: largura dos grãos em milímetro; J: índice da razão entre comprimento e largura.

Fonte: Do autor (2022).

Os coeficientes de variação para os caracteres comprimento, largura e índice J mensurados com paquímetro e por imagens variaram, respectivamente, de 2,21 a 2,39 e de 1,84 a 2,42. Carbonell *et al.*, (2010), obteve para o índice J valores de coeficientes de variação próximos de 5, isto, com a utilização de paquímetro digital. Os valores de coeficientes de variação obtidos por ambas as metodologias para comprimento, largura e índice J dos grãos foram muito próximos, o que evidencia que a fenotipagem por imagens tem precisão similar à obtida com a mensuração com paquímetro, que é uma avaliação com elevada precisão.

Ramalho *et al* (2012) relata que é possível aumentar a precisão experimental por meio do aumento tanto do número de observações mensuradas na parcela como também pelo aumento do número de repetições. Entretanto, estes aumentos na quantidade de medições se tornam inviáveis quando se utiliza paquímetros para mensurar tamanho e formato dos grãos, uma vez que esta metodologia é extremamente trabalhosa e requer mais tempo para realizar as mensurações. Porém, aumentar o número de medições a serem realizadas quando se utiliza a

fenotipagem por imagens com esta finalidade não é um problema, pois esta metodologia é rápida e permite avaliar simultaneamente um grande número de grãos. A diferença de tempo para aquisição e processamento de uma imagem contendo 15 grãos, como realizado neste trabalho, é pequena se comparada com o mesmo processo realizado com imagens contendo 100 grãos. Portanto, verifica-se que ainda é possível aumentar a precisão de avaliação desta natureza utilizando um maior número de grãos por parcela e/ou de repetições, sem que as avaliações precisem ser realizadas com elevada quantidade de tempo.

Os coeficientes de determinação genotípico para todos os caracteres avaliados em ambas as metodologias foram superiores a 0,84, enquanto as acurácias foram superiores a 0,91 (TABELA 5). Segundo Resende e Duarte (2007), acurácia seletiva tem a propriedade de informar sobre o correto ordenamento das cultivares para fins de seleção e os valores obtidos neste trabalho por serem classificados como muito altos são considerados ideais na avaliação de experimentos no melhoramento de plantas. Tais resultados demonstram que ambas as metodologias de avaliação do tamanho e formato dos grãos são muito acuradas e podem ser empregadas na seleção de linhagens. Mambrin *et al.* (2015) obtiveram resultados similares, também quantificando o comprimento e largura dos grãos de diferentes tipos comerciais por meio de paquímetro digital. Os autores obtiveram acurácias próximas de 0,90.

Os valores de coeficiente de determinação genotípico e acurácia obtidos com a fenotipagem por imagens do comprimento e largura dos grãos foram ligeiramente superiores aos apresentados na avaliação com paquímetro. Além disso, os valores dos componentes quadráticos fenotípico, genotípico e ambiental apresentaram valores muito próximos para os caracteres avaliados em ambas as metodologias. Portanto, verifica-se que a fenotipagem por imagem é igual ou ligeiramente mais acurada à avaliação do tamanho e formato dos grãos com o emprego do paquímetro.

Os valores de diferença mínima significativa a 5 e 1% ao se utilizar a fenotipagem por imagens do comprimento e largura dos grãos foram inferiores às obtidas com o paquímetro (TABELA 4). Portanto, verifica-se que o emprego de imagens nestas avaliações permite discriminar melhor as linhagens no teste de comparação de médias de Tukey (1949), uma vez que permite detectar menores diferenças entre as médias das linhagens avaliadas. Tal resultado pode ter ocorrido pois a variação residual observada para estes caracteres na fenotipagem por imagens é inferior a observada quando se utilizou o paquímetro nas avaliações, especialmente no comprimento dos grãos (TABELA 3). O quadrado médio do resíduo para este caráter quando avaliado na fenotipagem por imagens foi cerca de 1,6 vezes menor do que quando se utilizou o paquímetro.

O número de grupos observados no teste de agrupamento de médias segundo Scott Knott (1974) foi igual a cinco para comprimento e largura dos grãos ao serem avaliados com paquímetro (TABELAS 3 e 6). Quando foram avaliados o comprimento e largura com emprego da fenotipagem por imagens observou-se seis e quatro grupos neste teste, respectivamente. Apesar da diferença do número de grupos formados para as duas metodologias, estes valores foram próximos. Portanto, além de ser detectada diferença significativa entre as cultivares para estes caracteres em ambas as metodologias (Tabela 3), verificou-se que as médias das cultivares agrupadas foram similares nos dois modos de avaliação.

Tabela 6- Médias de tamanho dos grãos comprimento (COMP), largura (LARG), J (razão entre comprimento e largura) obtidas via paquímetro digital e via imagem e área e perímetro (PER) via imagem na safra “seca” de 2020. (continua)

CULTIVAR	PAQUIMETRO			IMAGEM		
	COMP	LARG	J	COMP	LARG	J
Aporé	9,95 b	6,32 c	1,58 a	9,28 c	5,85 c	1,59 a
BR IPA 11 Brigida	9,7 c	6,42 c	1,51 a	8,91 d	5,81 c	1,54 b
BRS Cometa	9,61 c	6,47 c	1,49 b	8,93 d	5,89 c	1,52 b
BRS Estilo	9,63 c	6,7 b	1,44 c	8,94 d	6,01 b	1,49 c
BRS Notável	9,86 c	6,79 b	1,45 c	9,12 c	6,2 a	1,47 c
BRS Pérola	9,79 c	6,73 b	1,45 c	9,29 c	6,22 a	1,49 c
BRS Pontal	9,76 c	6,68 b	1,47 b	9,09 d	5,97 c	1,53 b
BRS Requinte	9,08 d	6,47 c	1,4 d	8,35 f	5,89 c	1,42 d
BRSMG Madrepérola	10,12 b	6,53 b	1,55 a	9,61 a	6,01 b	1,6 a
BRSMG Majestoso	10,02 b	6,84 a	1,47 b	9,36 b	6,29 a	1,49 c
BRSMG Pioneiro	8,95 e	6,25 d	1,44 c	8,32 f	5,63 d	1,48 c
BRSMG Talismã	9,59 c	6,48 c	1,49 b	8,99 d	6,03 b	1,49 c
Carioca 1070	8,99 d	6,24 d	1,45 c	8,34 f	5,69 d	1,47 c
Carioca 80	9,26 d	6,29 d	1,48 b	8,66 e	5,74 d	1,51 b
Carioca MG	8,63 e	6,39 c	1,35 d	8,08 f	5,81 c	1,39 d
FT bonito	9,66 c	6,61 b	1,46 b	8,89 d	6,09 b	1,47 c
IAC Alvorada	10 b	6,73 b	1,49 b	9,18 c	6,22 a	1,48 c
IAC Apuã	10,23 b	6,66 b	1,54 a	9,67 a	6,29 a	1,54 b
IAC Formoso	9,91 b	6,64 b	1,49 b	9,4 b	6,13 b	1,53 b
IAC Imperador	9,7 c	6,62 b	1,47 b	9,06 d	6,07 b	1,5 c
IAC Ybaté	9,62 c	7,06 a	1,37 d	8,76 e	6,4 a	1,37 d
IAC-Carioca Pyatã	10,58 a	7,04 a	1,51 a	9,84 a	6,48 a	1,52 b
IAPAR 31	8,82 e	6,45 c	1,37 d	8,25 f	5,77 c	1,43 d
IAPAR 81	9,81 c	6,56 b	1,49 b	9 d	6,03 b	1,49 c

Tabela 6- Médias de tamanho dos grãos comprimento (COMP), largura (LARG), J (razão entre comprimento e largura) obtidas via paquímetro digital e via imagem e área e perímetro (PER) via imagem na safra “seca” de 2020. (conclusão)

CULTIVAR	PAQUÍMETRO			IMAGEM		
	COMP	LARG	J	COMP	LARG	J
IPR Andorinha	9,9 b	6,54 b	1,52 a	9,21 c	5,89 c	1,56 a
IPR Campos Gerais	9,25 d	6,59 b	1,41 d	8,63 e	5,86 c	1,47 c
IPR Colibri	9,93 b	6,46 c	1,55 a	9,2 c	5,89 c	1,57 a
IPR Eldourado	9,64 c	6,37 c	1,52 a	9 d	5,79 c	1,56 a
Rio doce	9,21 d	6,23 d	1,48 b	8,47 e	5,63 d	1,51 b
Rudá	8,75 e	5,97 e	1,47 b	8,06 f	5,52 d	1,46 c
SCS Guará	9,75 c	6,72 b	1,45 c	9,02 d	6,09 b	1,48 c
VC15	10 b	6,64 b	1,51 a	9,28 c	6,06 b	1,54 b

* Médias seguidas com as mesmas letras pertencem ao mesmo grupo, pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2022).

A cultivar IAC Carioca Pyatã, que apresentou comprimento médio de grãos de 10,5 mm, foi a única alocada no grupo com maiores valores deste caráter quando se utilizou mensurações com paquímetro. Entretanto, na fenotipagem por imagens desta característica observou-se que além desta cultivar também foram alocadas no grupo com maiores comprimentos médios de grãos as cultivares BRSMG Madrepérola e IAC-Apuã. Apesar desta diferença nas metodologias, estas duas cultivares foram alocadas no segundo grupo com maiores médias quanto a este caráter. As cultivares BRSMG Majestoso, IAC Carioca Pyatã e IAC Ybaté foram as que apresentaram maiores valores médios de largura dos grãos quando se utilizou o paquímetro nas mensurações. Quando se utilizou a fenotipagem por imagens da largura dos grãos, as cultivares IAC Carioca Pyatã, IAC Ybaté, IAC Apuã, BRS Majestoso, IAC Alvorada, Pérola e BRS Notável foram as que apresentaram maiores valores médios quanto a este caráter.

Apesar das diferenças nos agrupamentos das médias das cultivares entre as duas metodologias para os caracteres comprimento e largura dos grãos verificou-se que houve uma maior coincidência nos grupos formados no teste de Scott Knott quando foi avaliado o índice J. Tanto a metodologia utilizando o paquímetro quanto a fenotipagem por imagens apresentaram resultados semelhantes na classificação da maioria das cultivares quanto ao formato segundo Puerta Romero (1961). Houve apenas duas divergências quando a classificação entre as metodologias de avaliação. As linhagens IAPAR 31 e IPR Campos

Gerais, foram classificadas como elíptica na fenotipagem por imagens, enquanto quando se utilizou o paquímetro nas mensurações estas foram classificadas com formato esférico.

A maioria das cultivares foram classificadas com formato dos grãos elíptico, que segundo Carbonell *et al.*, (2010) é considerado o padrão desejado. Entretanto, algumas cultivares classificadas com formato de grão esférico ou reniformes foram consideradas fora do padrão comercial e são indesejadas pelos consumidores. O formato é um dos principais quesitos que acarretam no sucesso e maior aceitação de uma nova cultivar e, por isso, deve ser considerado como um importante critério para seleção de linhagens. A fenotipagem por imagens do formato dos grãos tem potencial para auxiliar na seleção, pois é mais rápida e permite avaliar um maior número de grãos que a metodologia que utiliza o paquímetro para mensurar os grãos.

Os valores de correlação significativos entre as avaliações por paquímetro e fenotipagem por imagens do comprimento e largura dos grãos foram superiores, respectivamente, a 0,92 e 0,82 em todos os níveis utilizados dos dados (TABELA 7). Os menores valores foram observados quando foi obtida a correlação a nível de grãos, enquanto que a nível de média de tratamento (cultivares) foram obtidas as maiores estimativas. Isso ocorre porque nos níveis de grão, parcela e tratamento são considerados um, 15 e 45 grãos, respectivamente. Dessa forma, as médias dos tratamentos são oriundas de maior número de observações. O índice J apresentou uma menor correlação se comparada a nível de grãos, entretanto uma correlação de 0.78 ainda é considerada muito alta segundo Hopkins (2000), outro ponto, o formato de grãos é baseado na classificado a nível de tratamento, dessa forma a correlação entre as metodologias foi considerada quase perfeita de 0.93.

Tabela 7- Valores obtidos da correlação de Pearson, em três níveis, entre dados obtidos via paquímetro digital e aplicação de visão computacional via análise de imagem.

Correlações	Comprimento	Largura	J
Grão	0,92419*	0,82671*	0,78145*
Parcela	0,95759*	0,92618*	0,88883*
Tratamento	0,9799*	0,94266*	0,92598*

*: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Do autor (2022).

As correlações entre as metodologias de avaliação para largura dos grãos foram em todos os níveis de dados inferiores às correlações observadas quanto ao comprimento (TABELA 7). Isso pode ser explicado pela largura ser uma medida menor e, portanto, pode ter um maior erro associado em ambas as metodologias. A exceção da correlação entre as

metodologias em nível de grãos para largura, as demais estimativas para comprimento e largura foram superiores a 0,92 e, portanto, foram classificadas como quase perfeitas, conforme Hopkins (2000) (TABELA 7). Entretanto, para o caráter largura a nível de grão, a correlação de 0,83 ainda é considerada muito alta. Tais resultados indicam elevado grau de associação linear entre as metodologias utilizadas na avaliação do comprimento e largura de grãos de feijão comum. Assim, observa-se que a fenotipagem por imagens do tamanho e formato dos grãos apresenta o mesmo ranqueamento das cultivares observado quando se utiliza o paquímetro em avaliações desta natureza. Isto indica que a seleção quanto a estes caracteres pode ser baseada em avaliações por meio de imagens, sem nenhum prejuízo.

A avaliação do tamanho e formato dos grãos de feijão comum por meio da fenotipagem por imagens demonstrou ser tão precisa e acurada quanto a avaliação com emprego de paquímetro. O emprego de imagens nestas avaliações tem várias vantagens adicionais aos métodos convencionais como ser rápida, permitir avaliar grande número de grãos e de genótipos, quantificar características que já tem sido utilizada no melhoramento genético ou que ainda não tem sido empregue e obter informações pormenorizadas sobre os grãos e os genótipos avaliados. Exemplo de características que não tem como serem mensuradas com paquímetro são a área e o perímetro dos grãos, que são facilmente obtidas com emprego da fenotipagem por imagens.

O GroundEye®, possui diferentes aplicações e funcionalidades. Pinto *et al.* (2015), verificou a potencialidade do uso do equipamento na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho, obtendo resultados dos lotes com maior número de plântulas normais e fortes, consideradas as mais vigorosas. Andrade (2014), avaliou o uso do sistema para diferenciação de cultivares de soja pelos caracteres, cor de hilo, formato e brilho das sementes, entre outros. Assim como, diferentes trabalhos onde o equipamento foi utilizado, na medição de grãos de feijoeiro-comum o equipamento também foi eficiente, obtendo resultados similares e ou superiores aos obtidos da forma manual comumente utilizada via paquímetro digital.

Se a fenotipagem do aspecto dos grãos for realizada por meio de imagens, é possível aumentar a acurácia de seleção das linhagens de feijão-comum quanto a este carácter. Essa metodologia permite avaliar com elevada precisão o tamanho, o formato, a cor e o escurecimento do tegumento dos grãos. O trabalho realizado por Silva (2021), comprova a eficiência desta metodologia para avaliar caracteres referentes a cor dos grãos. Desse modo, a fenotipagem por imagens pode ser empregada pelos programas de melhoramento na seleção

de linhagens visando aumentar o ganho genético ao longo do tempo para os caracteres relacionados ao aspecto dos grãos.

3.2 Fenotipagem por imagens dos grãos de feijão comum

O efeito de cultivares foi significativo a 5% de probabilidade para todos os caracteres avaliados nos três experimentos (Tabela 8), indicando variabilidade genética para os caracteres relacionados ao tamanho e forma dos grãos entre cultivares de feijão do tipo carioca. A média referente aos caracteres do experimento conduzido em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019 foram ligeiramente superiores às dos experimentos conduzidos em Lavras nas safras “úguas” de 2019 e “seca” de 2020. Mambrin *et al.* (2015), obteve médias semelhantes para tais caracteres em seu estudo, apesar de utilizar feijões de diferentes grupos comerciais, a medição via paquímetro possibilitou inferir comprimento, largura e também formato dos grãos de algumas cultivares do tipo comercial carioca.

Tabela 8- Resumo das análises individuais de variância referentes à avaliação de cultivares de feijão carioca quanto ao tamanho e forma dos grãos. Experimentos conduzidos em Coimbra, safra de inverno de 2019 e em Lavras, safras das “águas” de 2019 e “seca” de 2020.

		QM														
FV	GL	INVERNO 2019					ÁGUAS 2019					SECA 2020				
		COM P	LARG	J	ÁREA	PERI	COM P	LARG	J	ÁREA	PERI	COMP	LARG	IND J	ÁREA	PERI
Blocos	2	0,001	0,000	0,000	4.45957	0.0073	0,085	0,021	0,000	4.45957	0.6670	0,2707	0,037	0,005	10.6895	1.3953
		674	474	01	9	87	105	373	52	9	26	81*	017	104	72	15
Linhas	5	0,530	0,214	0,007	29.7920	3.7579	0,471	0,167	0,009	29.7920	3.0496	0,7083	0,199	0,009	43.0206	4.3043
		83*	96*	6*	37**	34**	20*	08*	68*	37**	45**	3*	33*	13*	69**	73**
Resíduo	108	0,003	0,001	0,000	1.71989	0.0210	0,030	0,011	0,000	1.71989	0.2350	0,0182	0,008	0,000	1.35345	0.1304
		168	239	067	3	76	627	227	363	3	54	21	071	26	8	67
Média	-	9.57	6.38	1.5	47.19	27.63	9.04	5.9	1.53	41.23	25.90	8.98	6.08	1.48	42.23	25.29
CV(%)	-	0.59	0.55	0.55	0.98	0.53	1.93	1.8	1.24	3.18	1.87	1.5	1.48	1.09	2.76	1.43

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: Quadrado Médio; CV (%): Coeficiente de Variação; COMP: comprimento em milímetro; LARG: largura em milímetro; IND J: índice J (relação de comprimento e largura); ÁREA: área em milímetros²; PERI: perímetro em milímetros.

Fonte: Do autor (2022).

Os coeficientes de variação experimental variaram de 0,55 a 3,18, valores estes considerados baixos quando se considera caracteres relacionados a experimentos de campo (PIMENTEL-GOMES, 1985). Uma vez que a fenotipagem de grãos por meio de imagens não tem sido empregada em avaliações de grãos no feijoeiro, ainda não existem na literatura informações sobre coeficiente de variação de outros experimentos que utilizaram essa metodologia para que se possa comparar com o presente trabalho. Entretanto, os CVs obtidos indicam que as avaliações apresentaram elevada precisão, uma vez que foram inferiores aos observados na literatura (MAMBRIN, 2015) quando os mesmos caracteres foram avaliados via paquímetro.

Carbonell *et al.* (2010) ao avaliar linhagens de feijão quanto ao índice J observou coeficiente de variação próximo a 5. No presente trabalho foram observados CVs para este caráter de até 0,55, valor aproximadamente dez vezes menor que o relatado por Carbonell *et al.* (2010). Tal resultado pode ser explicado pelo fato de que neste trabalho foram avaliados 100 grãos por parcela, enquanto Carbonell *et al.* (2010) avaliaram somente 150 grãos com paquímetro de cada genótipo. Portanto, fica evidente que o número de grãos por parcela influencia a precisão experimental. Outro resultado que corrobora tal observação é o fato dos CVs obtidos na etapa de validação da metodologia deste trabalho, quando foram avaliados 15 grãos por parcela, foram superiores aos obtidos quando foram mensurados 100 grãos por parcela. Assim, verifica-se que a fenotipagem por imagens pode permitir avaliar simultaneamente uma grande quantidade de grãos, também permitirá obter maior precisão experimental sem custo adicional no tempo de avaliação.

Na análise conjunta de variância, os efeitos de cultivares e experimentos foram significativos para todos os caracteres referentes a tamanho e formato dos grãos de feijão. Assim, pelo menos uma cultivar diferiu das demais ao considerar a média dos três experimentos avaliados. Também se observou que a pelo menos a média de um dos experimentos diferiu dos demais. Entretanto, observou-se efeito significativo da interação cultivares por experimentos para todos os caracteres avaliados. Dessa forma, as cultivares apresentaram comportamentos diferentes ao longo dos experimentos para os caracteres relacionados a tamanho e formato dos grãos.

Tabela 9- Resumo das análises conjuntas de variâncias da avaliação das cultivares de feijão do grupo comercial carioca quanto a comprimento, largura, índice J, área e perímetro dos grãos em experimentos conduzidos em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019.

FV	GL	QM				
		COMP	LARG	J	ÁREA	PERÍ
Blocos/Exp	6	0.119	0.020	0.002	5.087	0.689
Linhagens(L)	54	1.559*	0.522*	0.024*	103.873*	9.993**
Experimentos(E)	2	17.469**	9.665*	0.125*	1677.317**	243.271**
Interação LxE	89 ⁽¹⁾ /91 ⁽²⁾ /108 ⁽³⁾ /92 ⁽⁴⁾ /8 ⁽⁴⁾	0.092*	0.035*	0.001*	6.818**	0.687**
Resíduo	228 ⁽¹⁾ /236 ⁽²⁾ /324 ⁽³⁾ /241 ⁽⁴⁾ /222 ⁽⁴⁾	0.024	0.009	0.0002	1.473	0.188
Média	-	9.2	6.12	1.5	43.55	26.27
CV(%)	-	1.71	1.58	1.0	2.79	1.65

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: Quadrado Médio; CV (%): Coeficiente de Variação; COMP: Medidas de comprimento em milímetro; LARG: Medidas de largura em milímetro; Índice J: relação de comprimento e largura; ÁREA: Medidas de área em milímetro²; PERÍ: Medidas de perímetro em milímetro, Valores ajustados pelo método Cochran (1954), em razão da heterogeneidade de QM's residuais para os caracteres: ⁽¹⁾ comprimento; ⁽²⁾ Largura; ⁽³⁾ Índice J; ⁽⁴⁾ Área; ⁽⁵⁾ Perímetro.

Fonte: Do autor (2022).

Os coeficientes de variação obtidos nas análises conjuntas de variância dos caracteres avaliados variaram de 1,00 a 2,79. Valores que expressam elevada precisão experimental como observado nas análises individuais de variância e também na etapa de validação da fenotipagem por imagem dos grãos de feijão realizada neste trabalho. Entretanto, estudos mais aprofundados, com maior número de experimentos, devem ser realizados para compreender de forma pormenorizada a precisão experimental desta avaliação, assim como, avaliar a influência de safra no tamanho e formato dos grãos.

O estudo da interação cultivares por ambientes (C x A) é de grande importância para o melhoramento de plantas para compreender o comportamento dos genótipos frente às variações ambientais. Entretanto, a detecção da interação C x A pela análise conjunta de variância não proporciona informações detalhadas do comportamento das cultivares de acordo com as variações ambientais (CARNEIRO *et al.*, 2004). Neste trabalho, verificou-se que os percentuais da parte simples da interação C x A foram superiores a 58% (TABELA 10). Assim, as interações C x A foram predominantemente de natureza simples. Interações dessa natureza ocorrem quando há diferença na magnitude de resposta de cada genótipo, entretanto, tal diferença não altera a classificação relativa desses genótipos. As cultivares com maior tamanho dos grãos em um experimento também são nos demais (TABELAS 11 a 15). Este resultado obtido é um indício que a fenotipagem por imagens do tamanho e formato dos grãos

de feijão pode ser aplicado em qualquer uma das safras da cultura. Portanto, a seleção quanto a tamanho e formato dos grãos poderia ser realizada em qualquer um dos três experimentos ou na média de todos os experimentos.

Tabela 10- Porcentagem da parte simples da natureza da interação cultivares por ambiente para as características comprimento, largura, índice J, área e perímetro de grãos nos experimentos conduzidos em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019 e em Lavras nas safras das “águas” de 2019 e “seca” de 2020, segundo Cruz e Castoldi (1991).

Caráter	Ambientes		
	I19 x A19	A19 x S20	I19 x S20
Comprimento	59,52	73,94	69,80
Largura	60,09	62,70	63,95
Índice J	63,53	68,12	76,78
Área	61,68	69,51	63,63
Perímetro	58,22	69,37	63,95

I19: Safra de “outono-inverno” de 2019 conduzido em Coimbra-MG; A19: safra das “águas” de 2019 em Lavras-MG ; S20: Safra da “seca” de 2020 em Lavras-MG.

Fonte: Do autor (2022).

Uma vez que houve interação C x A significativa (Tabela 9), esta foi desdobrada de modo que se observou diferença significativa entre as linhagens nas análises individuais de variância de todos os experimentos (TABELA 8). No desdobramento das médias dos experimentos em cada cultivar verificou-se que o experimento realizado em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019 apresentou maiores médias quanto a comprimento, largura, área e o perímetro. Conseqüentemente, a média geral deste experimento foi superior as dos demais experimentos. Já para o índice J, verificou-se que as médias das cultivares no experimento conduzido em Lavras na safra das “águas” de 2019 foram estatisticamente superiores às demais nos outros experimentos. Apesar da diferença nas médias das cultivares nos experimentos, o ranqueamento das cultivares não foi afetado, uma vez que houve predomínio da interação C x A de natureza simples (TABELA 10).

No desdobramento das cultivares dentro de cada experimento verificou-se que houve grande variabilidade entre as cultivares quanto às características de tamanho dos grãos, uma vez que o teste de Scott Knott (Tabelas 11 a 14) foi formando um grande número de grupos. Este fato também foi observado no teste considerando a média das cultivares nos três experimentos. As cultivares que se destacaram quanto ao comprimento dos grãos foram BRS FC 406, IAC Formoso, BRS Ametista, BRS FC 409, IAC Milênio, IAC Apuã e IAC Carioca Pyatã, pois foram alocadas nos grupos com maiores médias para este caráter no teste de Scott

Knott (Tabela 11) na maioria dos experimentos e também quando se considerou a média dos três experimentos. A cultivar BRS FC406, foi recomendada como uma cultivar que apresenta grãos de boa qualidade comercial (grãos maiores que o tradicional Carioca, em torno de 28g/100 grãos e alto rendimento de peneira (PEREIRA *et al.*, 2020). Quanto a largura dos grãos, as cultivares IAC Ybaté, IAC Carioca Pyatã, IAC Formoso, IAC Milênio, BRS Pérola, BRSMG Majestoso, BRS FC 409 e IAC Alvorada foram alocadas nos grupos com maiores médias tanto em cada experimento como na média destes. As referidas cultivares também apresentaram maiores médias quanto a estes caracteres quando avaliadas tanto com paquímetro e quanto por imagens na etapa de validação realizada neste trabalho.

A seleção baseada em dois ou mais caracteres se torna mais complexa e exige o uso de índices de seleção. No caso do tamanho do grão, uma alternativa a usar o comprimento e a largura dos grãos simultaneamente na seleção poderia ser a utilização da área e do perímetro dos grãos das cultivares. Estas permitem determinar se uma cultivar apresenta ou não grãos graúdos. Para estes caracteres destacaram-se as cultivares IAC Formoso, IAC Carioca Pyatã, IAC Milênio, BRS FC 409, BRS Ametista, BRS FC 406, IAC Alvorada, BRSMG Majestoso e BRS Pérola. Esta última cultivar foi por muito tempo padrão de grãos com grande aceitação pelos consumidores e, por isso, dominou o mercado. Esta possibilidade de avaliar a área e o perímetro dos grãos somente se torna viável uma vez que é realizada por meio da fenotipagem por imagens. A avaliação com emprego do paquímetro não nos informa diretamente as mensurações desta natureza. Assim, esta é mais uma das vantagens do emprego da fenotipagem por imagens para realizar mensurações em grãos.

As cultivares apresentaram médias gerais quanto ao índice J variando de 1,38 a 1,69 e, portanto, observou-se cultivares com formato esférico ou elíptico ou oblongo/reniforme (TABELA 15). A exceção das cultivares IAC Aruã, IAC Ybaté e Carioca MG, as demais apresentaram formato elíptico, formato considerado por Carbonell *et al.* (2010) padrão de mercado. A cultivar IAC Aruã foi a única com formato oblongo/reniforme. Entretanto, no experimento conduzido em Coimbra na safra de “outono-inverno” de 2019, esta cultivar foi classificada com formato elíptico, segundo Puerta Romero (1961). As cultivares IAC Ybaté e Carioca MG classificadas com formato esférico foram alocadas no mesmo grupo do teste de Scott Knott para o índice J em todos os experimentos e também na média destes. O resultado obtido no tópico 3.1 foi similar ao obtido no 3.2 para as cultivares que estão presentes em ambos os experimentos, principalmente quando comparados na safra da “seca” de 2020, assim, inferindo que a amostragem com apenas 15 grãos teve capacidade

para discriminar as referidas cultivares, tanto para as características de comprimento e largura, quanto a classificação de formato.

Um dos principais objetivos do melhoramento de feijão carioca visando o aspecto dos grãos é a busca por cultivares com grãos graúdos que são melhor aceitos pelos consumidores (CARBONELL *et al.*, 2010; LEMOS, 2020). As informações oriundas da fenotipagem por imagens do tamanho e formato dos grãos das cultivares de feijão carioca serão de grande utilidade na etapa de seleção de genitores em programas de melhoramento que visam desenvolver cultivares com melhor aspecto dos grãos. Entretanto, este trabalho evidenciou que a fenotipagem por imagens de grãos de feijão comum tem potencial para ser aplicada na etapa de seleção de linhagens, uma vez que é uma metodologia rápida, precisa, acurada e que permite avaliar mais caracteres de um maior número de grãos e linhagens. Tais aspectos proporcionarão aos programas de melhoramento aumentar o ganho genético ao longo do tempo.

A aplicação da fenotipagem por imagens tem potencial de tornar os processos realizados pelos programas de melhoramento mais rápidos e automatizados, substituindo outras metodologias de avaliação que seriam mais trabalhosas. Neste trabalho, com o auxílio da fenotipagem por imagens foi possível avaliar comprimento, largura, área e perímetro de cerca de 50 mil grãos de feijão, fato, que seria inviável se a medição fosse realizada com paquímetro. Outra vantagem do emprego de avaliações por imagem é detectar variações de cores que são quase imperceptíveis ao olho humano. Silva (2021) propôs uma precisa e acurada metodologia de avaliação da cor e do escurecimento do tegumento dos grãos de feijão carioca, que pode ser empregada na caracterização e seleção de linhagens em substituição a avaliação visual realizada por meio de escala de notas. Assim, constata-se que metodologias baseadas em avaliação por imagens tem grande potencial para se tornar rotineiras nos programas de melhoramento do feijoeiro e de outras espécies de plantas.

4 CONCLUSÕES

A fenotipagem do tamanho e formato dos grãos de feijão por meio de imagens, além de agregar rapidez e eficiência no processo, é tão precisa e acurada quanto à fenotipagem por meio do uso do paquímetro e, portanto, pode ser empregada rotineiramente pelos programas de melhoramento do feijoeiro.

As cultivares IAC Formoso, IAC Carioca Pyatã, IAC Milênio, BRS FC 409, BRS Ametista, BRS FC 406, IAC Alvorada, BRSMG Majestoso e BRS Pérola apresentaram maior tamanho de grãos e, por isso, tem potencial para serem empregadas em programas de melhoramento do feijoeiro que visam desenvolver cultivares com grãos mais graúdos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. *et al.* BRSMG Madrepérola: cultivar de feijão tipo carioca com escurecimento tardio dos grãos. **Embrapa Arroz e Feijão-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 2011.
- ABREU, A. *et al.* BRSMG Majestoso: mais uma opção de cultivar de feijoeiro de grãos carioca para o Estado de Minas Gerais. In **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2007, São Lourenço. Anais... São Lourenço: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2007.
- ANDRADE, D. B., **Sistema de análise de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja**. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- ARAÚJO, L. C. A. **Seleção de linhagens de feijoeiro com escurecimento tardio dos grãos**. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- ÁVILA, M. A. B. **Análise de imagem na avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja**. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio a colheita**. Viçosa-MG: Editora UFV, 384 p., 2014.
- CARBONELL, S. A. M. *et al.* Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, 40(10), 2067-2073, 2010.
- CARNEIRO, J. C. S. *et al.* Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.
- CARNEIRO, P.C.S.; CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos aplicados ao Melhoramento Genético** VOL. 1. Viçosa, 3ª Ed. Editora UFV. 2004.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, p. 271-276, 2013
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Ceres**, 38(219), 2015.
- CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v.38, p.422-430, 1991.
- EMBRAPA. **Notícias: BRS FC406: cultivar de feijoeiro-comum carioca com grãos grandes, alto potencial produtivo, resistência à antracnose e à mancha-angular.**, 2020. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1124532/brs-fc406-cultivar-de-feijoeiro-comum-carioca-com-graos-grandes-alto-potencial-produtivo-resistencia-a-antracnose-e-a-mancha-angular>>. Acesso em: 10, fev. 2022
- HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics**. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 10, fev. 2022
- HOWSE, J. OpenCV computer vision with python. **Birmingham: Packt Publishing**, 2013.

- LEMOS, R. D. C. *et al.* A half century of a bean breeding program in the South and Alto Paranaíba regions of Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 2020.
- SILVA, L.C.D, **Visão computacional aplicada à cor do tegumento em feijão carioca**, 64p., 2021 (Dissertação em genética e melhoramento de plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- MAMBRIN, R. B. *et al.* Seleção de linhagens de feijão com base no padrão e na qualidade de sementes. **Revista Caatinga**, 28(3), 147-156, 2015.
- OTSU, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. **EEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.
- PINTO, C. A. G. *et al.* Image analysis in the evaluation of the physiological potential of maize. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46,p.319-328. 2015.
- PUERTA ROMERO, J. Variedades de judias cultivadas en España. **Madrid: Ministério da Agricultura**, 798p. (Monografias, 11), 1961.
- RAMALHO, M. A. P. *et al.* **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA. 522p, 2012.
- RAMALHO, M. A. P. *et al.* O Talismã de sua lavoura de feijoeiro. **Embrapa Arroz e Feijão- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2002.
- RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B., Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- ROSSUM, G.V.; DRAKE, F. L. The python language reference. **Amsterdam, Netherlands: Python Software Foundation**, 2010.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SILVA, G. S. *et al.* **Controle genético do escurecimento precoce de grãos de feijão tipo carioca**. 2007. 52 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- SILVA, L. C. D, **Visão Computacional Aplicada à Avaliação da Cor do Tegumento em Feijão Carioca**, Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) 64 p.: il. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, 99-114, 1949.
- VAN DER WALT, S., *et al.* Scikit-image: image processing in Python. **PeerJ**, 2, e453, 2014.
- VIEIRA, C. *et al.* Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A., (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, p. 301-392, 2005.

APÊNDICE

Tabela 11 - Médias de Comprimento de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (continua)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
BRS FC406	10,54 A a	9,77 C a	10,19 B a	10,10 a
IAC Formoso	10,08 A c	9,81 B a	9,68 B b	9,85 b
BRS Ametista	10,59 A a	9,40 B b	9,52 B c	9,83 b
BRS FC409	10,23 A b	9,7 B a	9,47 C c	9,80 b
IAC Milênio	10,3 A b	9,44 B b	9,63 B b	9,78 b
IAC-Apuã	10,07 A c	9,49 C b	9,74 B b	9,76 b
IAC - Carioca Pyatã	10,01 A c	9,39 C b	9,72 B b	9,70 b
BRSMG Majestoso	9,84 A d	9,50 B b	9,47 B c	9,60 c
IAC Alvorada	10,22 A b	9,12 C d	9,41 B c	9,58 c
BRS Pérola	9,90 A d	9,51 B b	9,34 B d	9,58 c
BRSMG Madrepérola	9,91 A d	9,36 B c	9,46 B c	9,57 c
BRS Horizonte	9,94 A d	9,40 B b	9,30 B d	9,54 c
BRSMG Uai	9,54 A f	9,65 A a	9,29 B d	9,49 d
Porto Real	10,11 A c	9,16 B d	9,2 B d	9,49 d
IPR Bem-te-vi	9,77 A e	9,28 B c	9,35 B d	9,46 d
IPR Tangará	9,86 A d	9,35 B c	9,20 B d	9,46 d
RP 1	9,71 A e	9,43 B b	9,27 B d	9,46 d
IPR Andorinha	9,57 A f	9,53 A b	9,23 B d	9,44 d
Aporé	9,62 A e	9,28 B c	9,27 B d	9,38 e
BRS Pontal	9,88 A d	9,30 B c	8,96 C e	9,37 e
IPR Colibri	9,48 A f	9,29 A c	9,34 A d	9,37 e
BRSMG Talismã	9,72 A e	9,26 B c	9,03 C e	9,33 e
IPR Curió	9,49 A f	9,19 B d	9,34 B d	9,33 e
IAPAR 81	9,72 A e	9,07 B d	9,09 B e	9,29 f
VC15	9,63 A e	9,10 B d	9,14 B d	9,29 f
SCS Guará	9,71 A e	9,18 B d	8,97 B e	9,28 f
VC 17	9,69 A e	8,89 C e	9,25 B d	9,27 f
BRS Estilo	9,75 A e	9,06 B d	8,98 B e	9,26 f
BRS Cometa	9,62 A e	9,13 B d	8,94 B e	9,23 f
BR- IPA 11-Brígida	9,49 A f	9,05 B d	9,09 B e	9,21 f
BRSMG Amuleto	9,45 A f	8,93 B e	9,06 B e	9,14 g
IPR Siriri	9,41 A f	8,95 B e	9,08 B e	9,14 g
IAC-Ybaté	9,53 A f	8,99 B e	8,90 B e	9,13 g
IPR Eldourado	9,63 A e	8,94 B e	8,80 B f	9,12 g
IAC Imperador	9,4 A f	8,84 B e	9,00 B e	9,07 g
FT bonito	9,53 A f	8,61 C f	8,91 B e	9,01 h
IAC-Aruã	9,29 A g	8,98 B e	8,78 B f	9,01 h
BRS Notável	9,21 A g	8,90 B e	8,90 B e	9,00 h
Carioca 1030	9,37 A f	9,02 B e	8,59 C g	8,99 h
IPR Quero-Quero	9,25 A g	8,93 B e	8,75 B f	8,97 h

Tabela 11 - Médias de Comprimento de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (conclusão)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
TAA Dama	9,40 A f	8,69 B f	8,63 B g	8,90 i
Carioca 80	9,33 A g	8,73 B e	8,55 B g	8,86 i
Rudá R	9,4 A f	8,79 B e	8,34 C h	8,84 i
IPR Campos Gerais	9,16 A h	8,78 B e	8,57 C g	8,83 i
IAPAR 80	9,27 A g	8,68 B f	8,52 B g	8,82 i
IAC Ayso	9,1 A h	8,51 B f	8,66 B f	8,75 j
Carioca 1070	9,15 A h	8,61 B f	8,47 B g	8,74 j
IAPAR 31	9,23 A g	8,47 B f	8,33 B h	8,67 j
BRSMG Pioneiro	8,9 A i	8,66 B f	8,24 C h	8,60 k
Rio doce	8,97 A i	8,46 B f	8,30 B h	8,57 k
BRS Requite	9,01 A h	8,52 B f	8,19 C h	8,56 k
Princesa	9,10 A h	8,31 B g	8,29 B h	8,56 k
IAC Carioca	8,90 A i	8,56 B f	8,13 C i	8,52 k
Rudá	8,77 A i	8,42 B f	8,06 C i	8,41 l
Carioca MG	8,79 A i	8,07 B h	7,98 B i	8,27 m

* Médias das linhagens seguidas com as mesmas letras maiúsculas horizontalmente não diferem entre si, médias seguidas das mesmas letras minúscula verticalmente não diferem entre si, ambas pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 12- Médias de largura de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (continua)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
IAC-Ybaté	6,88 A a	6,29 C a	6,50 B a	6,56 a
IAC - Carioca Pyatã	6,83 A a	6,26 C a	6,57 B a	6,55 a
IAC Formoso	6,81 A a	6,23 C a	6,51 B a	6,51 a
IAC Milênio	6,81 A a	6,13 C b	6,50 B a	6,48 b
BRS Pérola	6,64 A b	6,29 B a	6,40 B b	6,44 b
BRSMG Majestoso	6,59 A c	6,24 B a	6,49 A a	6,44 b
BRS FC409	6,73 A a	6,23 B a	6,35 B b	6,43 b
IAC Alvorada	6,89 A a	6,00 C c	6,37 B b	6,42 b
BRS Ametista	6,77 A a	6,10 C c	6,31 B c	6,39 b
BRS Pontal	6,68 A b	6,19 B b	6,19 B c	6,35 c
BRS Horizonte	6,66 A b	6,11 C c	6,27 B c	6,35 c
Porto Real	6,67 A b	6,10 C c	6,24 B c	6,33 c
SCS Guará	6,57 A c	6,08 C c	6,25 B c	6,30 c
IPR Tangará	6,54 A c	6,06 C c	6,25 B c	6,28 c
BRS Estilo	6,66 A b	6,00 C c	6,19 B c	6,28 c
BRSMG Talismã	6,56 A c	6,10 B c	6,15 B d	6,27 c
IAC-Apuã	6,54 A c	5,98 C c	6,29 B c	6,27 c

Tabela 12- Médias de largura de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (conclusão)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
VC 17	6,36 A d	6,14 B b	6,23 B c	6,25 d
FT bonito	6,64 A b	5,83 C d	6,22 B c	6,23 d
IAPAR 81	6,45 A c	6,00 C c	6,19 B c	6,21 d
TAA Dama	6,41 A d	6,01 C c	6,18 B c	6,2 d
BRS Notável	6,46 A c	5,86 C d	6,24 B c	6,19 d
IPR Andorinha	6,28 A e	6,13 B b	6,11 B d	6,18 d
BRSMG Madrepérola	6,37 A d	5,99 B c	6,12 B d	6,16 d
BRS FC406	6,41 A d	5,83 C d	6,18 B c	6,14 e
BRSMG Uai	6,19 A e	6,05 A c	6,13 A d	6,12 e
Rudá R	6,42 A d	6,02 B c	5,86 C f	6,10 e
IAC Imperador	6,31 A d	5,91 C c	6,07 B d	6,10 e
IPR Curió	6,19 A e	5,87 B d	6,19 A c	6,08 e
RP 1	6,25 A e	5,87 C d	6,11 B d	6,08 e
IPR Bem-te-vi	6,25 A e	5,81 B d	6,15 A d	6,07 e
IPR Campos Gerais	6,30 A e	5,96 B c	5,93 B e	6,06 e
VC15	6,33 A d	5,70 C e	6,14 B d	6,05 e
BRS Cometa	6,38 A d	5,81 C d	5,97 B e	6,05 e
IPR Colibri	6,14 A f	5,86 B d	6,13 A d	6,04 f
IPR Quero-Quero	6,31 A d	5,8 C d	5,97 B e	6,03 f
IAPAR 31	6,27 A e	5,84 B d	5,96 B e	6,02 f
BRSMG Amuleto	6,23 A e	5,72 C e	6,1 B d	6,02 f
BRS Requite	6,29 A e	5,82 B d	5,9 B e	6,00 f
Carioca MG	6,37 A d	5,72 C e	5,88 B f	5,99 f
IAC Ayso	6,23 A e	5,67 C e	6,05 B d	5,98 f
IAPAR 80	6,35 A d	5,72 C e	5,87 B f	5,98 f
IPR Eldourado	6,3 A e	5,72 C e	5,91 B e	5,98 f
Carioca 1030	6,22 A e	5,82 B d	5,78 B f	5,94 g
Carioca 80	0 A e	5,72 B e	5,84 B f	5,94 g
IPR Siriri	6,07 A f	5,79 C d	5,93 B e	5,93 g
Aporé	6,06 A f	5,75 C e	5,91 B e	5,91 g
Carioca 1070	6,13 A f	5,68 B e	5,81 B f	5,87 h
BR- IPA 11-Brígida	6,04 A g	5,63 B e	5,91 A e	5,86 h
BRSMG Pioneiro	6,02 A g	5,83 B d	5,7 C g	5,85 h
Princesa	6,19 A e	5,55 C f	5,77 B f	5,83 h
Rudá	5,99 A g	5,65 B e	5,58 B g	5,74 i
IAC Carioca	5,97 A g	5,52 B f	5,62 B g	5,70 i
Rio doce	5,93 A g	5,44 C f	5,67 B g	5,68 i
IAC-Aruã	5,67 A h	5,08 C g	5,33 B h	5,36 j

* Médias das linhagens seguidas com as mesmas letras maiúsculas horizontalmente não diferem entre si, médias seguidas das mesmas letras minúscula verticalmente não diferem entre si, ambas pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 13- Médias de índice J (razão comprimento sobre largura) de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (continua)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
IAC-Aruã	1,64 B a	1,77 A a	1,65 B a	1,69 a
BRS FC406	1,64 A a	1,62 B b	1,65 A a	1,64 b
Aporé	1,59 B b	1,61 A b	1,57 B b	1,59 c
BR- IPA 11-Brígida	1,57 B c	1,61 A b	1,54 C c	1,57 d
IPR Bem-te-vi	1,57 B c	1,60 A c	1,52 C d	1,56 e
IAC-Apuã	1,54 B c	1,59 A c	1,55 B c	1,56 e
BRSMG Madrepérola	1,56 A c	1,56 A d	1,55 A c	1,56 e
IPR Colibri	1,55 B c	1,59 A c	1,53 B d	1,55 e
RP 1	1,55 B c	1,58 A c	1,52 C d	1,55 e
BRSMG Uai	1,54 B c	1,60 A c	1,52 C d	1,55 e
IPR Siriri	1,55 A c	1,55 A e	1,53 A c	1,54 f
BRS Ametista	1,57 A c	1,54 A e	1,51 B d	1,54 f
IPR Curió	1,53 B d	1,57 A d	1,51 C d	1,54 f
VC15	1,53 B d	1,56 A d	1,51 B d	1,54 f
IPR Andorinha	1,53 B d	1,56 A d	1,51 B d	1,53 g
IPR Eldourado	1,53 B d	1,56 A d	1,49 C e	1,53 g
BRS Cometa	1,51 B d	1,57 A d	1,50 B d	1,53 g
BRS FC409	1,52 B d	1,56 A d	1,49 C e	1,52 g
BRSMG Amuleto	1,52 B d	1,56 A d	1,49 C e	1,52 g
Carioca 1030	1,51 B d	1,55 A e	1,49 B e	1,52 h
IAC Formoso	1,48 B e	1,58 A d	1,49 B e	1,52 h
IAC Milênio	1,51 B d	1,54 A e	1,48 C e	1,51 h
Rio doce	1,51 B d	1,56 A d	1,47 C e	1,51 h
IPR Tangará	1,51 B d	1,54 A e	1,47 C e	1,51 h
BRS Horizonte	1,49 B e	1,54 A e	1,48 B e	1,51 h
Porto Real	1,52 A d	1,5 A g	1,48 B e	1,50 i
IAC Carioca	1,49 B e	1,55 A e	1,45 C f	1,50 i
IAPAR 81	1,51 A d	1,51 A f	1,47 B e	1,50 i
Carioca 80	1,49 B e	1,53 A f	1,47 C e	1,50 i
IAC Alvorada	1,48 B e	1,52 A f	1,48 B e	1,50 i
BRSMG Majestoso	1,50 B e	1,52 A f	1,46 C f	1,49 i
IPR Quero-Quero	1,47 B f	1,54 A e	1,47 B e	1,49 i
BRSMG Talismã	1,48 B e	1,52 A f	1,47 B e	1,49 i
IAC Imperador	1,49 A e	1,5 A g	1,49 A e	1,49 i
Carioca 1070	1,49 A e	1,52 A f	1,46 B f	1,49 i
VC 17	1,51 A d	1,48 B g	1,47 B e	1,49 i
BRS Pérola	1,49 A e	1,51 A f	1,46 B f	1,49 i
IAC - Carioca Pyatã	1,47 B f	1,50 A g	1,48 B e	1,48 j
BRS Pontal	1,48 A e	1,51 A g	1,45 B f	1,48 j
IAPAR 80	1,46 B f	1,52 A f	1,45 B f	1,48 j
BRS Estilo	1,47 B f	1,51 A f	1,45 B f	1,48 j

Tabela 13- Médias de índice J (razão comprimento sobre largura) de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (conclusão)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
SCS Guará	1,48 B e	1,51 A f	1,44 C f	1,48 j
BRSMG Pioneiro	1,48 A e	1,49 A g	1,45 B f	1,47 j
Princesa	1,47 B f	1,50 A g	1,44 C f	1,47 j
Rudá	1,47 B f	1,49 A g	1,45 B f	1,47 j
IAC Ayso	1,46 B f	1,50 A g	1,43 C f	1,47 j
IPR Campos Gerais	1,46 A f	1,47 A h	1,45 A f	1,46 k
BRS Notável	1,43 B g	1,52 A f	1,43 B g	1,46 k
Rudá R	1,46 A f	1,46 A h	1,43 B g	1,45 k
FT bonito	1,44 B g	1,48 A h	1,43 B f	1,45 k
IAPAR 31	1,47 A f	1,45 A h	1,40 B h	1,44 l
TAA Dama	1,47 A f	1,45 A h	1,40 B h	1,44 l
BRS Requite	1,43 B g	1,46 A h	1,39 C i	1,43 l
IAC-Ybaté	1,39 B h	1,43 A i	1,37 B i	1,40 m
Carioca MG	1,38 B h	1,41 A i	1,36 B i	1,38 m

* Médias das linhagens seguidas com as mesmas letras maiúsculas horizontalmente não diferem entre si, médias seguidas das mesmas letras minúscula verticalmente não diferem entre si, ambas pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 14- Médias de área de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (continua)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
IAC Formoso	53,01 A b	47,15 B a	48,69 B a	49,62 a
IAC - Carioca Pyatã	52,67 A b	45,34 C b	49,28 B a	49,10 a
IAC Milênio	54,28 A a	44,65 C b	48,34 B a	49,09 a
BRS FC409	53,14 A b	46,68 B a	46,5 B b	48,77 a
BRS Ametista	55,43 A a	44,32 C b	46,41 B b	48,72 a
BRS FC406	52,08 A b	45,52 C b	48,55 B a	48,72 a
IAC Alvorada	54,49 A a	42,34 C d	46,38 B b	47,73 b
BRSMG Majestoso	50,10 A c	45,67 C b	47,39 B b	47,72 b
BRS Pérola	50,71 A c	46,11 B a	46,12 B b	47,65 b
IAC-Apuã	50,80 A c	43,59 C c	47,28 B b	47,23 b
BRS Horizonte	51,19 A c	44,36 B b	45,05 B c	46,87 b
Porto Real	51,97 A b	43,12 B c	44,39 B c	46,49 c
IAC-Ybaté	50,44 A c	43,60 B c	44,66 B c	46,23 c
BRS Pontal	50,82 A c	44,37 B b	42,79 B d	45,99 c
IPR Tangará	49,76 A d	43,65 B c	44,41 B c	45,94 c
BRSMG Madrepérola	48,75 A d	43,24 B c	44,67 B c	45,55 c
BRSMG Talismã	49,27 A d	43,56 B c	42,8 B d	45,21 d
SCS Guará	49,25 A d	43,02 B c	43,35 B c	45,21 d
BRS Estilo	50,21 A c	42,05 B d	43,07 B d	45,11 d

Tabela 14- Médias de área de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (conclusão)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
IPR Andorinha	46,39 A e	45,10 A b	43,50 B c	45,00 d
BRSMG Uai	45,57 A f	45,04 A b	44,00 A c	44,87 d
VC 17	47,26 A e	43,11 B c	43,93 B c	44,77 d
RP 1	46,84 A e	43,31 B c	43,73 B c	44,62 d
IAPAR 81	48,44 A d	41,96 B d	43,44 B c	44,61 d
IPR Bem-te-vi	47,16 A e	41,61 C d	44,41 B c	44,39 d
IPR Curió	45,32 A f	41,59 B d	44,67 A c	43,86 d
IPR Colibri	44,90 A f	41,89 B d	44,15 A c	43,65 e
VC15	47,38 A e	39,15 C f	43,92 B c	43,48 e
FT bonito	48,85 A d	38,77 C f	42,81 B d	43,48 e
BRS Cometa	47,37 A e	40,88 B e	41,18 B d	43,14 e
BRS Notável	46,03 A e	40,25 C e	42,95 B d	43,08 e
Aporé	44,95 A f	41,1 B e	42,18 B d	42,74 f
IAC Imperador	45,77 A f	40,34 C e	42,07 B d	42,73 f
TAA Dama	46,58 A e	40,29 B e	41,27 B d	42,71 f
BRSMG Amuleto	45,50 A f	39,43 C f	42,66 B d	42,53 f
IPR Eldourado	46,79 A e	39,45 B f	40,21 B e	42,15 f
IPR Siriri	44,06 A f	39,91 B e	41,51 B d	41,83 g
IPR Quero-Quero	45,04 A f	39,93 B e	40,36 B e	41,77 g
Rudá R	46,55 A e	40,82 B e	37,74 C f	41,70 g
BR- IPA 11-Brígida	44,21 A f	39,28 C f	41,58 B d	41,69 g
IPR Campos Gerais	44,53 A f	40,41 B e	39,19 B f	41,38 g
Carioca 1030	44,86 A f	40,45 B e	38,34 C f	41,22 g
IAPAR 80	45,40 A f	38,33 B f	38,61 B f	40,78 h
Carioca 80	44,93 A f	38,44 B f	38,48 B f	40,62 h
IAPAR 31	44,7 A f	38,14 B f	38,32 B f	40,39 h
IAC Ayso	43,59 A g	37,14 C g	40,34 B e	40,36 h
BRS Requite	43,7 A g	38,22 B f	37,25 B g	39,72 i
Carioca 1070	43,21 A g	37,61 B g	37,91 B f	39,58 i
BRSMG Pioneiro	41,31 A h	38,92 B f	36,21 C g	38,81 j
Princesa	43,55 A g	35,52 B h	36,99 B g	38,69 j
Carioca MG	43,07 A g	35,54 B h	36,17 B g	38,26 k
Rio doce	41,00 A h	35,48 B h	36,31 B g	37,60 k
IAC Carioca	40,96 A h	36,49 B g	35,3 B g	37,58 k
Rudá	40,47 A h	36,67 B g	34,64 C g	37,26 k
IAC-Aruã	40,63 A h	35,01 B h	36,04 B g	37,23 k

* Médias das linhagens seguidas com as mesmas letras maiúsculas horizontalmente não diferem entre si, médias seguidas das mesmas letras minúscula verticalmente não diferem entre si, ambas pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 15- Médias de perímetro de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (continua)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
BRS FC406	29,44 A b	27,18 B a	27,67 B a	28,10 a
IAC Formoso	29,2 A b	27,80 B a	27,22 B a	28,07 a
IAC Milênio	29,64 A a	26,94 B b	27,09 B a	27,89 a
IAC - Carioca Pyatã	29,17 A b	27,11 B b	27,35 B a	27,88 a
BRS FC409	29,44 A b	27,63 B a	26,55 C b	27,87 a
BRS Ametista	30,15 A a	26,82 B b	26,6 B b	27,86 a
IAC-Apuã	28,81 A c	26,87 B b	27,00 B a	27,56 b
BRSMG Majestoso	28,47 A c	27,29 B a	26,84 B b	27,53 b
BRS Pérola	28,67 A c	27,35 B a	26,43 C b	27,48 b
IAC Alvorada	29,63 A a	26,16 B c	26,52 B b	27,44 b
BRS Horizonte	28,70 A c	26,91 B b	26,08 C c	27,23 b
Porto Real	29,10 A b	26,37 B c	25,90 B c	27,13 c
IPR Tangará	28,40 A c	26,69 B c	25,94 C c	27,01 c
BRSMG Madrepérola	28,20 A c	26,62 B c	26,18 B c	27,00 c
BRS Pontal	28,72 A c	26,85 B b	25,43 C d	27,00 c
IAC-Ybaté	28,43 A c	26,56 B c	25,85 C c	26,95 c
BRSMG Talismã	28,24 A c	26,68 B c	25,54 C d	26,82 c
IPR Andorinha	27,48 A d	27,20 A a	25,78 B c	26,82 c
BRSMG Uai	27,23 A e	27,26 A a	25,91 B c	26,80 c
SCS Guará	28,21 A c	26,46 B c	25,54 C d	26,73 c
RP 1	27,67 A d	26,57 B c	25,80 C c	26,68 d
VC 17	27,71 A d	26,39 B c	25,82 B c	26,64 d
IPR Bem-te-vi	27,76 A d	26,16 B c	26,00 B c	26,64 d
BRS Estilo	28,37 A c	26,05 B c	25,38 C d	26,6 d
IPR Colibri	27,09 A e	26,33 B c	26,31 B b	26,58 d
IAPAR 81	28,05 A c	26,05 B c	25,61 B d	26,57 d
IPR Curió	27,14 A e	26,11 B c	26,10 B c	26,45 e
Aporé	27,23 A e	26,15 B c	25,58 B d	26,32 e
VC15	27,7 A d	25,24 B e	25,82 B c	26,26 e
BRS Cometa	27,72 A d	25,95 B c	25,06 C d	26,24 e
FT bonito	27,95 A c	24,94 B e	25,35 B d	26,08 f
BRS Notável	27,10 A e	25,59 B d	25,37 B d	26,02 f
IAC Imperador	27,18 A e	25,54 B d	25,29 B d	26,01 f
BRSMG Amuleto	27,14 A e	25,37 B d	25,40 B d	25,97 f
BR- IPA 11-Brígida	26,98 A e	25,55 B d	25,24 B d	25,92 f
IPR Eldourado	27,61 A d	25,38 B d	24,68 C e	25,89 f
IPR Siriri	26,87 A e	25,55 B d	25,23 B d	25,88 f
TAA Dama	27,33 A d	25,38 B d	24,81 B e	25,84 f
IPR Quero-Quero	26,90 A e	25,54 B d	24,66 C e	25,70 g
Carioca 1030	26,97 A e	25,80 B d	24,13 C f	25,64 g
Rudá R	27,38 A d	25,62 B d	23,83 C g	25,61 g
IPR Campos Gerais	26,69 A e	25,50 B d	24,30 C f	25,50 g

Tabela 15- Médias de perímetro de grãos de feijão carioca, das safras de “inverno” e “águas” de 2019 e “seca” de 2020 e suas respectivas médias gerais, medidas extraídas via visão computacional. (conclusão)

LINHAGEM	INVERNO 19	ÁGUAS 19	SECA 20	MÉDIA GERAL
Carioca 80	27,00 A e	25,09 B e	24,18 C f	25,42 g
IAPAR 80	27,00 A e	24,92 B e	24,12 C f	25,35 g
IAC Ayso	26,62 A f	24,67 B f	24,68 B e	25,32 g
IAPAR 31	26,82 A e	24,75 B f	23,96 C f	25,18 h
Carioca 1070	26,48 A f	24,78 B f	23,94 C f	25,07 h
BRS Requite	26,43 A f	24,78 B f	23,57 C g	24,93 h
BRSMG Pioneiro	25,77 A g	25,07 B e	23,42 C g	24,75 i
IAC-Aruã	25,93 A g	24,48 B f	23,73 C g	24,71 i
Princesa	26,42 A f	23,92 B g	23,50 B g	24,61 j
Rio doce	25,81 A g	24,10 B g	23,43 C g	24,45 j
Carioca MG	26,26 A f	23,81 B g	23,23 B h	24,44 j
IAC Carioca	25,7 A g	24,37 B f	23,04 C h	24,37 j
Rudá	25,53 A g	24,35 B f	22,89 C h	24,25 j

* Médias das linhagens seguidas com as mesmas letras maiúsculas horizontalmente não diferem entre si, médias seguidas das mesmas letras minúscula verticalmente não diferem entre si, ambas pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2022).