

SKARLET DE MARCO STECKLING

**QUALIDADE COMERCIAL, TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE CULTIVARES
DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) RECOMENDADAS NO BRASIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Pedro Crescêncio S. Carneiro

Coorientador: José Eustáquio de S. Carneiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S811q
2023

Steckling, Skarlet De Marco, 1992-
Qualidade comercial, tecnológica e nutricional de cultivares
de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) recomendadas no Brasil /
Skarlet De Marco Steckling. – Viçosa, MG, 2023.
1 tese eletrônica (71 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Geral, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.695>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Feijão - Melhoramento genético. 2. Feijão - Qualidade.
3. Minerais. I. Carneiro, Pedro Crescêncio Souza, 1966-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia
Geral. Programa de Pós-Graduação em Genética e
Melhoramento. III. Título.

CDD 22. ed. 635.6522


SKARLET DE MARCO STECKLING

**QUALIDADE COMERCIAL, TECNOLÓGICA E NUTRICIONAL DE CULTIVARES
DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) RECOMENDADAS NO BRASIL**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de julho de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 SKARLET DE MARCO STECKLING
Data: 05/11/2023 14:49:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Skarlet De Marco Steckling
Autora

Documento assinado digitalmente
 PEDRO CRESCENCIO SOUZA CARNEIRO
Data: 31/10/2023 10:59:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pedro Crescêncio Souza Carneiro
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu amparo em todos os momentos e me dar forças para vencer cada obstáculo, tornando possível a realização deste sonho.

Aos meus pais, Cleiton Steckling e Alda Fátima De Marco, pelo apoio e incentivo para que alcançasse meus objetivos.

À minha irmã Júlia Steckling pela amizade e momentos de descontração.

Ao meu esposo Cleiton Casagrande, que sempre me apoiou e nunca mediu esforços para me ajudar na realização dos meus sonhos. Obrigada por tudo.

À toda a minha família, vocês foram essenciais para essa conquista.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento pela oportunidade de realizar o doutorado. Também agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro a pesquisa.

Ao meu orientador, Pedro Crescêncio Souza Carneiro pela dedicação, amizade, conhecimentos compartilhados e pela paciência durante todo esse período.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela disponibilidade de sempre ajudar, tirar dúvidas e ensinamentos transmitidos ao longo destes anos.

Aos membros da banca, Francisco Charles dos Santos Silva, José Eustáquio de Souza Carneiro, Lisandra Magna Moura, Maicon Nardino, Vinícius Quintão Carneiro e Tiago de Sousa Marçal, pela disponibilidade e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Aos colegas do Programa Feijão da UFV, pela amizade e ajuda na condução dos experimentos. Agradeço por cada planta colhida, cada grão colocado de “molho” de madrugada, e principalmente pela amizade e aprendizado. A ajuda de cada um de vocês foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a EPAMIG, Laboratório da Agroecologia da UFV e Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFV e seus responsáveis, pelo empréstimo dos equipamentos, reagentes e do local para a condução dos meus experimentos.

Aos secretários da Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Marco Túlio e Odilon, por estarem sempre dispostos a ajudar e esclarecer qualquer dúvida.

As companhias/empresas e colegas que deram um voto de confiança no meu início da minha carreira profissional, ALX Pesquisa Agropecuária, Latitude Genética S.A e Bayer Crop

Science. Obrigada pelas palavras de incentivo, pela compreensão e por acreditar no meu potencial.

Enfim, agradeço a todos que estiveram ao meu lado e contribuíram para realização desse trabalho.

Muito obrigada!

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”.

Isaac Newton

BIOGRAFIA

SKARLET DE MARCO STECKLING, filha de Cleiton Steckling e Alda Fátima De Marco, nasceu em 14 de julho de 1992, na cidade de Cunha Porã, no estado de Santa Catarina, Brasil.

Em agosto de 2011, iniciou o curso superior em Agronomia, na Universidade Federal Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Durante a graduação trabalhou como estagiária e bolsista no laboratório de Fitopatologia na área de controle biológico, sob orientação da Professora Elena Blume. Entre 2015 e 2016 trabalhou como bolsista de iniciação científica no projeto intitulado “Desempenho agronômico de linhagens de feijão Mesoamericano e Andino biofortificadas para ferro e zinco” financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Em agosto de 2016, ingressou no curso de Mestrado em Produção Vegetal na UFSM, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2018, intitulada: “Parâmetros genéticos e seleção de linhagens de feijão mesoamericano para a concentração de fósforo, ferro, zinco e fitatos”.

Em agosto de 2018 ingressou no curso de Doutorado em Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se a defesa de tese em 24 de julho de 2023.

RESUMO

STECKLING, Skarlet De Marco, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Qualidade comercial, tecnológica e nutricional de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) recomendadas no Brasil.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

O feijão tem grande importância nacional e o desenvolvimento de novas cultivares com melhor qualidade tecnológica e nutricional dos grãos, além das características agrônômicas, pode representar uma alternativa para solucionar problemas alimentares, sociais e econômicos. Assim, os objetivos com este trabalho foram avaliar a variabilidade genética de 105 cultivares de feijão, recomendadas no Brasil nos últimos 60 anos, quanto a qualidade tecnológica e nutricional de seus grãos, além de determinar o tamanho de amostras para avaliação acurada destes caracteres. Em sementes destas cultivares, multiplicadas em quatro experimentos conduzidos nas safras das águas de 2018, seca e inverno de 2019 e águas de 2020, foram determinadas a concentração dos minerais ferro, zinco e cobre, teor de proteína bruta e quantificado o grau de achatamento, formato e tempo de cozimento dos grãos. Observou-se que há variabilidade genética para a concentração destes minerais (ferro, zinco, cobre e proteína bruta) e para os caracteres que determinam a qualidade tecnológica dos grãos nestas 105 cultivares de feijão. Com acurácia de 0,90, amostras constituídas de 10 grãos são suficientes para quantificar o tamanho e grau de achatamento, e de 7 grãos para determinar o tempo de cozimento. Houve interação cultivares x safras de natureza complexa para o tempo de cozimento, indicando que a determinação deste caráter deve ser realizado nas diferentes safras. A partir do germoplasma de feijão avaliado, é possível desenvolver novas linhagens, tanto do tipo carioca quanto preto, que associem alta concentração dos minerais ferro, zinco e cobre, alto teor de proteína bruta, além de produtivas e com massa de 100 grãos e aspecto de grãos que atendam ao mercado consumidor.

Palavras-chave: Concentração de minerais. Análise de repetibilidade. Tempo de cozimento. Melhoramento do feijoeiro.

ABSTRACT

STECKLING, Skarlet De Marco, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2023. **Commercial, technological and nutritional quality of bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) recommended in Brazil.** Advisor: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-advisor: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Beans hold significant national importance, and the development of new cultivars with improved technological and nutritional grain quality, in addition to agronomic characteristics, can provide an alternative to address food, social, and economic challenges. Therefore, the objectives of this study were to assess the genetic variability of 105 bean cultivars recommended in Brazil over the past 60 years regarding the technological and nutritional quality of their grains and to determine sample sizes for the accurate evaluation of these traits. For seeds of these cultivars, multiplied in four experiments conducted during the 2018 rainy season, 2019 dry and winter seasons, and 2020 rainy season, the concentrations of the minerals iron, zinc, and copper, crude protein content, as well as the degree of flattening, shape, and cooking time of the grains were determined. It was observed that there is genetic variability in the concentration of these minerals (iron, zinc, copper, and crude protein) and in the traits determining the technological quality of the grains among these 105 bean cultivars. With an accuracy of 0,90, samples consisting of 10 grains are sufficient to quantify size and flattening degree, and 7 grains to determine cooking time. There was a complex interaction between cultivars and crop seasons regarding cooking time, indicating that this trait should be assessed in different crop seasons. Based on the evaluated bean germplasm, it is possible to develop new lines, both of the 'carioca' and 'preto' types, that combine high concentrations of the minerals iron, zinc, and copper, high crude protein content, as well as being productive with a mass of 100 grains and having grain characteristics that meet consumer demand.

Keywords: Mineral concentration. Repeatability analysis. Cooking time. Bean improvement.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil	11
2.2 Características tecnológicas de grãos de feijão	12
2.3 Características nutricionais de grãos de feijão	14
3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	16
CAPÍTULO 1	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4 CONCLUSÃO	34
5 REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 2	40
1 INTRODUÇÃO	42
2 MATERIAL E MÉTODOS	43
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4 CONCLUSÃO	58
5 REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

As leguminosas contribuem para a alimentação humana de forma eficiente e sustentável em todo o mundo (FAO, 2019). Dentre elas o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tem uma participação mundial de mais de 80 por cento na produção mundial de grãos (NASAR et al., 2023). Importante, não apenas sob o aspecto econômico, mas também devido a sua relevância como fator de segurança alimentar e nutricional, o feijão tem prestígio cultural na culinária em diversos países (BARBOSA; GONZAGA, 2012; RIBEIRO et al., 2023). Dentre os maiores produtores mundiais de feijão, estão Índia, Myanmar, Brasil, China, Tanzânia, Estados Unidos e México, os quais são responsáveis por aproximadamente 60% do total produzido no mundo (FAOSTAT, 2021).

A cultura do feijão possui adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas do Brasil, além de desempenhar papel fundamental na alimentação da população brasileira, fazendo parte da maioria dos sistemas produtivos de pequenos, médios e grandes agricultores (FAO, 2019). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, a produção nacional de feijão foi de 2,5 milhões de toneladas na safra 2021/2022, em uma área cultivada de 1,6 milhões de hectares, com produtividade média de 1560,0 kg ha⁻¹. Entre os tipos de feijão consumidos no Brasil, o tipo carioca e preto corresponde a 85% do total consumido (PEREIRA et al., 2019) e ocupam 56% da área cultivada anualmente com a leguminosa (CONAB, 2023).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial atual é de 8 bilhões de pessoas e, de acordo com projeções, o crescimento continuará chegando a 9,5 bilhões de pessoas no ano de 2050 (FAO, 2023). De acordo com a FAO (2023), 29,6 por cento da população global estão subnutridos e afetadas por algum tipo de deficiência mineral, tornando-se necessária a busca por alimentos que supram as carências nutricionais e proteicas, com qualidade e baixo custo. O feijão é uma das culturas alimentícias acessíveis a todas as classes sociais. Diante disso, a qualidade nutricional que está vinculada a biofortificação dos grãos, ou seja, ao aumento da concentração de minerais nos grãos, é uma estratégia que contribui para reduzir os problemas de deficiências, em especial para proteína, cálcio, ferro, zinco e cobre. Aliado a isto, a redução do tempo de cozimento de grãos de feijão associado a maior massa dos mesmos, corresponde à demanda do mercado consumidor por alimentos nutricionalmente mais saudáveis, de menor tempo de cozimento levando a um menor gasto energético no preparo das refeições (SANTOS et al., 2016).

O desenvolvimento de novas cultivares de feijoeiro com desejáveis atributos agronômicos, tecnológicos e nutricionais são imprescindíveis para a produção do grão, assim como para o mercado consumidor. Dentre as técnicas existentes utilizadas no melhoramento do feijoeiro, a fim de se desenvolver novas linhagens, tem se a hibridação como a principal (RAMALHO et al., 2012). E no que diz respeito às etapas deste método de melhoramento, a escolha adequada de genitores é essencial, pois o sucesso das etapas subsequentes é dependente dessa escolha acertada (RAMALHO et al., 2012).

Direcionar o cruzamento entre genitores que apresentem não apenas, elevada frequência de alelos favoráveis, mas também que sejam divergentes, são primordiais para obtenção de populações segregantes com alta variabilidade genética e média favorável para os caracteres de interesse, resultando em maior probabilidade de se obter linhagens superiores. Uma maneira eficiente de selecionar os genitores é quantificar a diversidade genética para serem utilizados em cruzamento (GUIDOTI et al., 2018; TAVARES et al., 2018). Cultivares de feijão melhoradas e recomendadas representam fonte importante de variabilidade para uso nos programas de melhoramento. Assim, o objetivo com esse trabalho foi quantificar a variabilidade de cultivares de feijão recomendadas no Brasil nos últimos 60 anos quanto a qualidade comercial, tecnológica e nutricional dos grãos.

2 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil

O feijão é parte da alimentação diária de mais de 300 milhões de pessoas em todo o mundo (SALEH et al., 2012). Mais de 2 bilhões de pessoas no mundo possuem deficiência nutricional (KUMSSA et al., 2015). Essa leguminosa é fonte proteica de mais fácil acesso do que a proteína animal, por isso, denominada de “super alimento” em virtude da concentração de proteínas, fibras e minerais, tais como, fósforo, cálcio, ferro e zinco (HEFNI et al., 2010).

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão do *pool gênico* mesoamericano, principalmente do tipo carioca (cor creme com rajas marrons) e preto, que representam cerca de 85% da produção nacional (CONAB, 2023). Os feijões do centro de origem Mesoamericano (América Central e México), caracterizam-se por apresentar grãos com massa de 100 grãos inferior a 25 g (BLAIR et al., 2010). O tipo comercial carioca é o que tem maior expressão de consumo e cultivo nos estados brasileiros, enquanto o feijão preto é preferido nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro e no Sul do Espírito Santo (FARIA et al.,

2014). Na Zona da Mata em Minas Gerais, é o feijão vermelho que agrada o paladar. Devido a maior importância e abrangência do feijão carioca e preto no Brasil, os programas de melhoramento despendem maior atenção a estes tipos de grãos.

A ampla capacidade de adaptação às mais diversas condições edafoclimáticas, possibilita que o feijão seja cultivado em todos os Estados do Brasil (PEREIRA et al., 2010), em três épocas distintas: (1) safra das “águas” (primeira safra), com semeadura nos meses de outubro e novembro; (2) safra da “seca” (segunda safra), com semeadura de fevereiro e março; e (3) safra de outono/inverno ou feijão irrigado (terceira safra), com semeadura de abril a junho (ARAÚJO; CAMELO, 2015). Historicamente, a área cultivada de feijão no Brasil tem diminuído, no entanto, sua produção e produtividade de grãos tem aumentado (CONAB, 2023), evidenciando a superioridade genética das cultivares registradas e as tecnologias empregadas no seu cultivo. De acordo com Ramalho et al. (2012), o melhoramento genético contribuiu com 50% do aumento da produtividade de grãos da cultura.

Segundo Carbornell et al. (2010), não apenas a produtividade é que determina o sucesso de uma cultivar. Além deste, são importantes o tempo de cozimento, a porcentagem de grãos inteiros após o cozimento, o brilho dos grãos, a cor e o tamanho dos grãos. Os atributos cor e tamanho de grãos, são os primeiros avaliados pelos consumidores na hora da compra em supermercados, de acordo com Bassinello et al. (2003) e Gathu e Njage (2012). Além destes atributos, a qualidade nutricional das novas cultivares está sendo visada pelos programas de melhoramento, como por exemplo, grãos com maior teor de proteína e concentração de minerais, como cálcio, ferro, zinco e cobre.

Diante disso, todo e qualquer avanço relacionado ao melhoramento genético para características tecnológicas e nutricionais em linhagens de feijão, é crucial, gerando benefícios a todos os setores envolvidos até chegar ao consumidor final.

2.2 Qualidade tecnológicas de grãos de feijão

O consumidor observa inúmeras características nos grãos de feijão antes de comprar o produto embalado nas prateleiras do mercado. Dentre as características de fácil visualização estão o tamanho, formato e a coloração dos grãos, sendo assim fundamentais para comercialização dessa cultura. De acordo com Carbonell et al. (2010), a preferência dos consumidores é por grãos mesoamericanos com formato elíptico, semi-cheios, e com tamanho de grãos médios a grandes, ou seja, que possuam massa de 100 grãos em torno de 25 gramas

(g). As cultivares de feijão que apresentam maior massa de grãos representam vantagens aos consumidores, pois esta vem associada a maior expansão volumétrica, ou seja, maior rendimento de panela (PERINA et al., 2010).

No que diz respeito a coloração dos grãos cada tipo de grãos tem um padrão a ser seguido, de maneira geral para o tipo carioca e preto, os mais consumidos no Brasil, deseja-se que estes não apresentem alo amarelado, não sejam achatados e nem possuam brilho, tenham formato elíptico e peso médio de 100 grãos entre 25 e 27 g, onde para o carioca deseja-se que este possua cor creme de fundo e listras castanhas claras, enquanto que o preto tenha fundo escuro e não arroxeadado (RAMALHO et al., 1998; BARILI et al., 2016). Grãos de feijão carioca, que apresentem cor clara representam uma vantagem, uma vez que os consumidores associam os grãos de coloração clara ao produto recém-colhido, com menor tempo de cozimento e macio após o preparo, pois ao longo do envelhecimento dos grãos, podem ocorrer mudanças químicas e oxidação de compostos presentes no tegumento, resultando em seu escurecimento. Tais fatos, se devem às combinações entre fatores genéticos, ambientais e alterações químicas do tegumento.

Embora dito de consumo direto, o feijão precisa passar pelo processo de cozimento. Willett et al. (2019) explanam a necessidade de se ter dietas nutritivas e ambientalmente sustentáveis, principalmente com as mudanças ambientais e o crescimento da população mundial. Tal fato fica mais evidente se pensarmos em regiões como a África Subsaariana, onde 80% da população utiliza a lenha como biomassa para cozinhar, e esta encontra-se escassa na região (MOHAMMED, BASHIR; MUSTAFA, 2015). No atual momento, o tempo de preparo para as refeições da população tem diminuído, portanto os alimentos de preparo rápido são preferidos (SCHOENINGER et al., 2013).

De acordo com Martínez-Manrique et al. (2011), a diminuição do tempo de cozimento dos grãos é dependente do processo de ativação de enzimas da parede celular, uma vez que estas diminuem o grau de polimerização de ramnogalacturonano e aumenta a solubilidade de poligalacturonase e galactan, resultando em solubilidade de polissacarídeo e, conseqüentemente, menor tempo de cozimento. Ademais, grãos com tempos de cozimento mais curtos retêm mais nutrientes durante o processo de cozimento e têm mais ferro biodisponível do que feijão que leva mais tempo para cozinhar (WIESINGER et al., 2018). Segundo a Embrapa (2012), a qualidade do cozimento é composta por características físicas: cor, forma e textura dos grãos; características químicas: concentração de proteínas, minerais, fibras e carboidratos; e características sensoriais: tempo de cozimento, sabor, textura e coloração do

caldo após o cozimento. Bassinello (2014) afirma que o tegumento do grão de feijão influencia no tempo de cozimento do grão, onde grãos recém-colhidos são responsáveis por 55 % do tempo de cocção, enquanto que se houver um armazenamento, o tegumento interfere em mais de 75% no tempo de preparo. Portanto, como primeira barreira do tempo de cozimento dos grãos, no endurecimento também, tem-se o tegumento. Santos et al. (2016) afirmam que selecionar genótipos com tempo de cozimento inferior a 25 minutos tem sido priorizado pelos programas de melhoramento genético.

Diante do exposto, fica evidente que o uso de cultivares de feijão com qualidade tecnológica, representa vantagens mercadológicas para os produtores da leguminosa. Para tanto, torna-se necessário o conhecimento sobre a variabilidade genética das linhagens avançadas desenvolvidas.

2.3 Qualidade nutricional de grãos de feijão

A população mundial é de 7,2 bilhões de pessoas e, segundo projeções, continuará crescendo, chegando a 8,1 bilhões de pessoas no ano de 2025 (FAO, 2014). Metade desta população é afetada por algum tipo de deficiência mineral (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007). De acordo com dados da FAO (2019), em 2018 houve prevalência de desnutrição no mundo em 10,8%, na África em 19,9% e no Sul da América em 6,1%, e o crescimento do setor agrícola tem um papel crucial a desempenhar na redução da pobreza. A deficiência de minerais atinge todas as faixas etárias, ambos os sexos e todos os níveis sociais, que usam uma dieta não adequada e desbalanceada em macro e micronutrientes, predominantemente aquelas baseadas em cereais, ricas em calorias, de baixa qualidade nutritiva e no baixo consumo de carnes (ROOHANI et al., 2013; CLEMENS, 2014).

A ingestão de minerais essenciais é fundamental para o bom funcionamento do organismo, como por exemplo o ferro, o zinco e o cobre (FIORINI, 2008). O ferro é componente da hemoglobina, portanto sua deficiência causa anemia e traz debilidades cognitivas e físicas (LA FRANO et al., 2014). A privação de quantidade adequada de zinco proporciona complicações durante a gestação e o parto e atraso no crescimento infantil (ROOHANI et al., 2013). A deficiência de cobre provoca baixa pigmentação, redução de crescimento e diminuição de células de defesa do sangue, aumentando a suscetibilidade para infecções (FIORINI, 2008). A busca por alimentos que possam suprir as carências nutricionais e proteicas, com qualidade e baixo custo, é uma alternativa sustentável (RIBEIRO, 2010). O

aumento da concentração de minerais em grãos de feijão é possível porque existe variabilidade genética (MESQUITA et al., 2007; BLAIR et al., 2009; JOST et al., 2009).

A biofortificação nada mais é do que o aumento da concentração de minerais em porções comestíveis das plantas (DWIVEDIS et al., 2012). Segundo Rios et al. (2009), a biofortificação é mais eficiente e sustentável do que as outras maneiras de combate à desnutrição. O feijão se destaca em relação aos cereais quanto à concentração de nutrientes, não apenas em relação a concentração de minerais, mas também por não exigir polimento antes do consumo (WELCH et al., 2000).

No Brasil, Silva et al. (2012), avaliando 100 linhagens de feijão, verificaram a presença de variabilidade genética para a concentração de: ferro, de 54,20 a 161,50 mg kg⁻¹ de Matéria Seca (MS); zinco, de 29,33 a 65,50 mg kg⁻¹ de MS; e cobre, de 5,76 a 15,99 mg kg⁻¹ de MS. Mesquita et al. (2007) avaliaram 21 linhagens de feijão e observaram amplitude de 71,37 a 126,90 mg kg⁻¹ de MS de ferro, de 36,67 a 63,90 mg kg⁻¹ de MS de zinco e de 11,37 a 17,73 mg kg⁻¹ de MS de cobre. Teixeira et al. (2015), ao analisarem progênies de feijão verificaram uma variação de 53,53 a 67,30 mg kg⁻¹ de MS de ferro e 37,80 a 43,90 mg kg⁻¹ MS de zinco nas dez melhores progênies em grãos de feijão.

O feijão destaca-se como uma das principais fontes de proteína na dieta da população em vários países (RAMALHO et al., 1993). Na literatura tem sido relatado variabilidade genética para o teor de proteína de 18 a 30%, de modo que genótipos considerados com alto teor apresentam valores iguais ou superiores a 23% (LONDERO, 2005). Pereira et al. (2017), avaliando a qualidade nutricional, culinária e tecnológica de feijão carioca, constatou que os efeitos do ambiente de cultivo são predominantes em relação aos efeitos genéticos para o teor de proteína em feijão. No Registro Nacional de Cultivares (RNC-MAPA) há 371 registros de cultivares de feijão (incluindo feijão-vagem), e se associar esse fato com aos inúmeros relatos na literatura de variabilidade em progênies de feijão, isso representa a potencialidade de uso de germoplasma nacional para futuras hibridações e aumento do teor de proteína e da concentração de nutrientes em grãos de feijão.

3 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. A. A.; CAMELO, G. N. Preparo do Solo e Plantio. In: CARNEIRO, J. E.S.; BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. (Ed.). **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. (Documentos, 272)
- BARILI, L. D; VALE, N. M; MOURA, L. M; PAULA, R. G; SILVA, F. F; CARNEIRO, J. E. S. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2016.
- BASSINELLO, P. Z. et al. Aceitabilidade de três cultivares de feijoeiro comum. **Comunicado Técnico**. Santo Antônio de Goiás, v. 66, n. 2, p. 1-2, 2003.
- BLAIR, M. W. et al. Genetic diversity, inter-gene pool introgression and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Central Africa. **Theoretical and Applied Genetic**, v. 121, n. 2, p. 237-248, 2010.
- 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.
- BURLE, M. L. et al. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 121, n. 1, p. 801-813, 2010.
- CARBONELL, S. A. M. et al. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2067-2073, 2010.
- CLEMENS, S. Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability. **Plant Science**, v. 225, n. 53, p. 52-57, 2014.
- COLLICCHIO, E; RAMALHO, M. A. P; ABREU, A. F. B. Associação entre o porte da planta do feijoeiro e o tamanho dos grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 3, p. 297-304, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira: Décimo segundo levantamento, setembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 de outubro de 2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Séries históricas das safras de grãos: Estimativa em outubro de 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.
- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

DWIVEDIS, S. L. et al. Nutritionally enhanced staple food crops. **Plant Breeding Reviews**, v. 34, p. 169 - 262, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Qualidade tecnológica dos grãos**. Brasília, 2012. Disponível em: www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijão/. Acesso em: 24 de setembro de 2020.

FAO. 2019. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2019**. Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2023. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2023**. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO.

FAOSTAT. **Crops**. 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 10 de setembro de 2023.

FIORINI, L. S. Dossiê: os minerais na alimentação. *Food Ingredients Brasil*, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 48-54, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO-UN). **O direito à alimentação. Diretrizes voluntárias em apoio à realização progressiva do direito à alimentação adequada no contexto da segurança alimentar e nutricional**. Roma: FAO-UM. 2015.

GATHU, W. E.; NJAGE, P. M. K. Physical characterization of new advanced drought tolerant common bean (*Phaseolus vulgaris*) lines for canning quality. **American Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, p. 22-28, 2012.

GUIDOTI, D. T. et al. Interrelação entre características morfológicas, agronômicas e moleculares na análise de diversidade genética em feijão comum. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 1-9, 2018.

HEFNI, M. et al. Folate content in foods commonly consumed in Egypt. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 540-545, 2010.

JOST, E. et al. Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 35-42, 2009.

KAIDAR-PERSON, O. et al. Nutritional deficiencies in morbidly obese patients: a new form of malnutrition? Part B: minerals. **Obesity Surgery**, v. 18, n. 8, p. 1028-1034, 2008.

KJELDAHL, J. New method for the determination of nitrogen in organic bodies. **Journal of Analytical Chemistry**, v. 22, p. 366-382, 1883.

LA FRANO, M. R. et al. Bioavailability of iron, zinc and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. **Nutrition Reviews**, v. 72, n. 5, p. 289-307, 2014.

LONDERO, P. M. G. **Parâmetros genéticos dos teores de proteína e de fibra alimentar associados ao rendimento de grãos em feijão**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

MARTÍNEZ-MANRIQUE, E. et al. Enzymatic changes in pectic polysaccharides related to the beneficial effect of soaking on bean cooking time. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 13, p.2394-2398, 2011.

MESQUITA, F. R. et al. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MIANO, A. C.; AUGUSTO, P. E. D. The Hydration of Grains: A Critical Review from Description of Phenomena to Process Improvements. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 2, p. 352-370 2018.

MOHAMMED, Y. S.; BASHIR, N.; MUSTAFA, M. W. Overuse of wood-based bioenergy in selected sub-Saharan Africa countries: Review of unconstructive challenges and suggestions. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 501-519, 2015.

NASAR, S. et al. Socioeconomic Evaluation of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivation in Providing Sustainable Livelihood to the Mountain Populations of Kashmir Himalayas. **Plants**, v. 12, n. 213, 2023.

OLIVEIRA, D. P. et al. Qualidade tecnológica de grãos de cultivares de feijão na safra das águas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1831-1838, 2012.

PEREIRA, H. S. et al. Culinary and nutritional quality of common bean lines with Carioca grain type and interaction with environments. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 159-166, 2017.

PEREIRA, H. S. et al. Indicação de cultivares de feijoeiro-comum baseada na avaliação conjunta de diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 571- 578, 2010.

PEREIRA, H. S. et al. Genetic diversity among common bean cultivars based on agronomic traits and molecular markers and application to recommendation of parent lines. **Euphytica**, v. 215, n. 38, 2019.

PERINA, E. F. et al. Technological quality of common bean grains obtained in different growing seasons. **Bragantia**, v. 73, n. 1, p. 14-22, 2014.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Harvest plus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 88-105, 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RAMALHO, M. A. P. et al. Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RAMALHO, M. A. P. et al. Alternatives in the selection of common bean plants with upright growth and carioca-type grains. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998.

RIBEIRO N. D. et al. Critério de seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 212-222, 2010.

RIOS, S. A. et al. Biofortificação: culturas enriquecidas com micronutriente pelo melhoramento genético. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 713-718, 2009.

RODRIGUES J. A. et al. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005.

ROOHANI, N. et al. Zinc and its importance for human health: An integrative review. **Journal of Research in Medical Sciences**, v. 18, n. 2, p. 144-157, 2013.

SALEH, S. M. et al. Prediction and adaptation of dry bean yield under climate change conditions. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 8, n. 2, p. 147-153, 2012.

SANTOS, G. G. et al. Evaluation of common bean morphological traits identifies grain thickness directly correlated with cooking time. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 1, p. 35-42, 2016.

SCHOENINGER, V. et al. Qualidade físico-química e tempo de cozimento de grãos de feijão novos e envelhecidos em condições de armazenamento refrigerado. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 55-65, 2013.

SCOTT, A. J; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SEFA-DEDEH, S.; STANLEY, D. The relationship of microstructure of cowpeas to water absorption and dehulling properties. **Cereal Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 379- 86, 1979.

SILVA, C. A. et al. Chemical composition as related to seed color of common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 132-137, 2012

TALUKDER, Z. I. et al. Genetic diversity and selection of genotypes to enhance Zn and Fe content in common bean. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 90, n. 1, p. 49-60, 2010.

TAVARES, T. C. De O. et al. Divergência Genética Entre Cultivares De Feijão Comum Cultivados No Estado Do Tocantins. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 76-82, 2018.

TEIXEIRA, R. K. S. et al. Implications of early selection for grain colour on iron and zinc content and productivity of common bean. **Plant Breeding**, v. 134, n. 2, p. 193-196, 2015.

WELCH, R. M. et al. Genetic selection for enhanced bioavailable levels of iron in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3576-3580, 2000.

WIESINGER, J. et al. R. The Fast Cooking and Enhanced Iron Bioavailability Properties of the Manteca Yellow Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Nutrients**, v. 10, n. 11, 1609, 2018.

WILLETT, W. et al. **Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems**. The Lancet. 2019.

WOOD, J. A. Evaluation of cooking time in pulses: a review. **Cereal Chemistry**, v. 94, n. 1, p. 32-48, 2016.

CAPÍTULO 1

TAMANHO MÍNIMO DE AMOSTRA PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DOS GRÃOS DE FEIJÃO

RESUMO

O aspecto visual do grão de feijão é muito importante para a sua comercialização. O consumidor leva em conta no momento da compra o tamanho e formato dos grãos, bem como a cor, o brilho e o tempo de cozimento dos grãos, que caracterizam os atributos da qualidade tecnológica. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar o tamanho de amostras para avaliar de maneira acurada e precisa a qualidade tecnológica de grãos de feijão mesoamericanos. Para tanto, foram avaliados 105 cultivares de feijão, recomendadas pelos programas de melhoramento de todo o Brasil e pertencentes ao Banco de Germoplasma de Feijão da Universidade Federal de Viçosa. Estas cultivares foram multiplicadas em três experimentos de campo conduzidos nas safras seca, inverno e águas de 2019. Após o beneficiamento destes grãos, estes foram avaliados quanto ao formato, grau de achatamento e tempo de cozimento. Para estas avaliações foram mensurados o comprimento, a largura e a espessura de 50 grãos, por meio de um paquímetro digital, e através dessas medidas foram determinados os coeficientes J e H, que caracterizam o formato e o grau de achatamento dos grãos. O tempo de cozimento, se deu com o auxílio do cozedor de Mattson, onde cada amostra foi composta por 25 grãos, e os grãos eram considerados cozidos quando as 13 primeiras hastes perfuravam os grãos, ou seja, 13 grãos de feijão da amostra estavam cozidos. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Genes e R Core Team. Observou-se que há variabilidade genética para os caracteres que determinam a qualidade tecnológica de grãos nas 105 cultivares de feijão recomendadas no Brasil nos últimos 60 anos. Houve interação cultivares x ambientes de natureza complexa para tempo de cozimento, indicando que este caráter deve ser avaliado nas diferentes safras. Com acurácia de 0,90, dez grãos podem ser utilizados na caracterização do tamanho e do grau de achatamento dos grãos de feijão, enquanto que o tempo de queda da 7ª haste (7 medidas) no cozedor de Mattson é suficiente para quantificar o tempo de cozimento.

1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente cultivado e consumido no Brasil, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma importante fonte alimentar para a população independente de sua classe social. A produção nacional de feijão foi de 2,50 milhões de toneladas na safra 2021/2022, em uma área cultivada de 1,60 milhões de hectares, com produtividade média de 1560,0 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Os grãos do *pool* gênico Mesoamericano são os preferidos pelos brasileiros, com os grupos comerciais carioca e preto correspondendo a 85% do total consumido no país (PEREIRA et al., 2019).

Na comercialização do feijão se destaca o aspecto visual dos grãos, que é um dos atributos da sua qualidade tecnológica, a qual envolve caracteres como o tamanho, formato, grau de achatamento, cor, brilho e tempo de cozimento dos grãos (RIBEIRO et al., 2021). Segundo a classificação de Puerta Romero (1961), o formato dos grãos do feijão pode ser definido por meio do coeficiente J (relação entre o comprimento e a largura dos grãos), enquanto o grau de achatamento é dado pelo coeficiente H (relação entre a espessura e a largura dos grãos). De acordo com Carbonell et al. (2010), grãos com formato elíptico, grau de achatamento semi-cheio e de tamanho médio a grande, com massa de 100 grãos entre 25 e 30 gramas, são os preferidos pelos consumidores. Além disso, é desejável que o tempo médio de cozimento dos grãos de feijão seja inferior a 25 minutos (RIBEIRO et al., 2020; STECKLING et al., 2017).

A maioria dos testes de tempo de cozimento dos grãos de feijão é realizada por meio do cozedor de Mattson, recomendado oficialmente pela legislação brasileira, o qual possui 25 hastes metálicas que ficam sobrepostas aos grãos e o perfuram quando estiverem cozidos (PROCTOR; WATTS, 1987). Nesta avaliação é anotado o tempo de queda de metade mais uma (treze hastes) das 25 hastes (RODRIGUES et al., 2005). A determinação do formato, do grau de achatamento e do tempo de cozimento dos grãos são itens exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) (BRASIL, 2006) para a inscrição e proteção de uma nova cultivar.

A preferência do consumidor norteia a seleção e o desenvolvimento de novas cultivares de feijão, que são predominantemente desenvolvidas por instituições públicas, as quais são pioneiras no melhoramento genético deste grão no Brasil desde a década de 1930. Os melhoristas do feijoeiro têm buscado desenvolver cultivares que além das características agrônomicas, como produtividade de grãos, arquitetura de plantas e resistência a doenças,

também apresentam elevado aspecto nutricional e tecnológico dos grãos (BEZERRA et al., 2021). Na plataforma de Registro Nacional de Cultivares (RNC) encontram-se 372 cultivares de feijão registradas (incluindo feijão-vagem) (RNC – MAPA, 2021). O Programa Feijão da Universidade Federal de Viçosa (UFV) conta com um acervo de 105 cultivares de feijão com grãos do tipo preto e carioca em seu banco de germoplasma, recomendadas no Brasil nos últimos 60 anos por 15 instituições de pesquisas com o feijão (SOUZA et al., 2020). Este acervo de material genético é uma amostra representativa do germoplasma de feijão para as pesquisas com a cultura, além de apresentar ampla variabilidade para caracteres de importância no melhoramento do feijoeiro (SOUZA et al., 2020).

As avaliações de aspectos de grãos são morosas e requerem atenção ininterrupta do pesquisador, além disso, a depender do número de genótipos avaliados, exigem mão de obra dedicada por um longo período. A análise de repetibilidade pode auxiliar os melhoristas de feijão na definição do número mínimo de grãos a serem utilizados para uma avaliação acurada das características tecnológicas dos grãos do feijoeiro com otimização de recursos humanos e financeiros. A repetibilidade, sob o conceito estatístico, pode ser entendida como a correlação entre as medidas em um mesmo indivíduo, cujas avaliações são repetidas no tempo ou no espaço (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Os coeficientes de repetibilidade podem ser estimados por meio dos métodos da análise de variância, dos componentes principais e análise estrutural (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). A repetibilidade tem sido utilizada em culturas perenes como a goiabeira (GHILEN et al., 2019), o palmito juçara (MARÇAL et al., 2016), a acácia negra (FLÔRES JÚNIOR, et al. 2018) e em espécies anuais como o tomate (ADEWALE; ADEBO, 2018), o pimentão (PIMENTA et al., 2016) e o morango (DIEL et al., 2020), com o objetivo de determinar o número de medidas necessárias para avaliações acuradas de caracteres importantes para essas culturas. Entretanto, no caso do feijão, em especial para caracteres relacionados à qualidade tecnológica dos grãos, essas informações ainda são escassas.

Assim, este trabalho tem por objetivo determinar o tamanho mínimo de amostras para avaliação acurada da qualidade tecnológica de grãos de feijão mesoamericanos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Cento e cinco (105) cultivares de feijão, recomendadas nos últimos 60 anos no Brasil pelos seus principais programas de melhoramento do feijoeiro e pertencentes ao Banco de Germoplasma de Feijão da Universidade Federal de Viçosa (BGF-UFV), foram utilizadas neste estudo. Estas cultivares foram multiplicadas utilizando três experimentos de campo conduzidos nas safras da seca, inverno e águas de 2019, na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, Minas Gerais (latitude: 20°49'44" S, longitude: 42°45'56" W, altitude: 713 m), sob o delineamento de blocos casualizados com três repetições e com parcelas de 2 linhas de 3 metros. Os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade da cultura (CARNEIRO; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2014).

Após o beneficiamento, aproximadamente três meses após a colheita, os grãos de cada cultivar, oriundos das diferentes safras, foram avaliados quanto ao formato, grau de achatamento e tempo de cozimento. Para estas avaliações tomaram-se aleatoriamente amostras de 100 grãos de cada uma das repetições de cada cultivar, em cada experimento de campo, com posterior junção destas em um mesmo recipiente.

Desta amostra final, de 300 grãos de cada experimento, foram mensurados o comprimento, a largura e a espessura de 50 grãos, com o auxílio de um paquímetro digital (1-150 mm, marca Kala®). Por meio dessas medidas foram determinados os coeficientes J (mm) ($J = \frac{\text{comprimento}}{\text{largura}}$) e H (mm) ($H = \frac{\text{espessura}}{\text{largura}}$) que caracterizam o formato e o grau de achatamento dos grãos, respectivamente. O coeficiente J classifica os grãos em esférico (1,16 a 1,42), elíptico (1,43 a 1,65), oblonga/reniforme curta (1,66 a 1,85), oblonga/reniforme média (1,86 a 2,00) ou oblonga/reniforme longa (> 2,00). O coeficiente H classifica os grãos em achatados (< 0,69), semi-cheios (0,70 a 0,79) e cheios (> 0,80) (PUERTA ROMERO, 1961).

O tempo de cozimento dos grãos foi determinado com o auxílio do cozedor de Mattson, o qual possui 25 hastes metálicas de 90 gramas e 1,0 mm de diâmetro da ponta da haste, seguindo a metodologia descrita por Rodrigues et al. (2005). Foram utilizados dois cozedores de Mattson (Cozedor 1 e 2), de modo que cada cozedor esteve sob uma chama diferente no fogão utilizado para o teste de cozimento. Sendo assim, do restante da amostra total de grãos de cada cultivar, a cada hora 25 grãos foram colocados em embebição com 50 ml de água destilada por oito horas, em temperatura ambiente (25 °C ± 3 °C). Decorrido este tempo, os grãos de cada amostra foram dispostos sob as hastes dos cozedores, que foram levados (cada um deles) para uma panela com capacidade de 4 litros, sem a tampa, a qual continha 2 litros de água destilada em ebulição. O cozimento dos grãos se deu em fogo médio, de forma que à medida que ocorria o cozimento, os grãos amoleciam e as hastes os perfuravam. O tempo de

queda de cada uma das 13 primeiras hastes foi anotado para cada um dos cozedores (Cozedor 1 e 2).

Os dados obtidos foram submetidos a análise individual de variância e, posteriormente, à análise conjunta de variância. Para as análises individuais de variância foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, conforme o modelo: $Y_{ik} = \mu + g_i + \varepsilon_{ik}$, em que, Y_{ik} = valor observado de cada característica no genótipo i (cultivar) na repetição k ; μ = média geral do experimento; g_i = efeito aleatório do genótipo i ($i=1, 2, \dots, 105$); e, ε_{ik} = erro experimental. Ressalta-se que cada medida realizada em cada grão foi considerada uma repetição, ou seja, 50 repetições para as variáveis comprimento, largura, espessura, coeficiente J e coeficiente H e 13 repetições para o tempo de cozimento, tanto para o cozedor 1 quanto para cozedor 2.

As análises conjuntas de variância foram realizadas conforme o modelo: $Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + ga_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} = valor observado de cada característica no genótipo i na safra j ; μ = média geral; g_i = efeito aleatório do genótipo i ($i=1, 2, \dots, 105$ cultivares); a_j = efeito aleatório da safra j ($j=1, 2$ e 3); ga_{ij} = efeito aleatório da interação do genótipo i com a safra j ; e ε_{ij} = erro experimental médio.

O quadrado médio da interação genótipo x ambiente (GxA) para pares de safras foi particionado nas frações simples e complexa conforme metodologia de Cruz e Castoldi (1991), adaptada de Robertson (1959), em que a fração complexa (C) da interação para um par de safras (1 e 2, por exemplo) é dada por: $C = \sqrt{(1 - r)^3 Q_1 Q_2}$, em que: r = coeficiente de correlação intraclasses, ou seja, correlação entre médias de genótipos (cultivares) nas safras 1 e 2; e, Q_1 e Q_2 os quadrados médios dos genótipos (cultivares) nas safras 1 e 2, respectivamente.

O coeficiente de repetibilidade (ρ) foi estimado para cada um dos caracteres que determinam a qualidade tecnológica dos grãos por meio do modelo de análise de variância, conforme o modelo é: $Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \varepsilon_{ij}$, sendo, Y_{ij} = valor observado no i -ésimo genótipo na j -ésima safra; μ = média geral; g_i = efeito aleatório do i -ésimo genótipo sob a influência do ambiente permanente; a_j = é o efeito fixo do ambiente temporário na j -ésima medição e ε_{ij} = efeito do ambiente temporário associado a i -ésima medição no i -ésimo genótipo.

O coeficiente de repetibilidade (ρ) foi estimado por: $\rho = \frac{\text{Cov}(Y_{ij}, Y_{ij'})}{\sqrt{V(Y_{ij}) V(Y_{ij'})}}$, onde Cov é a covariância e V a variância de Y_{ij} e $Y_{ij'}$, estimadas em cada safra a partir do mesmo modelo das análises individuais, considerando 50 medições para os caracteres relacionados ao tamanho e formato do grão e 13 para o tempo de cocção. Também estimou-se o coeficiente de

determinação (R^2) pela expressão: $R^2 = \frac{\eta\rho}{1+\rho(\eta-1)}$, sendo que: η = número de medições realizadas para cada característica; e ρ = estimativa do coeficiente de repetibilidade.

O número mínimo de medições (η_0) necessárias para predizer o valor real dos genótipos foi obtido com base na equação: $\eta_0 = \frac{R^2(1-\rho)}{(1-R^2)\rho}$, em que ρ = coeficiente de repetibilidade da característica e R^2 são valores pré-estabelecidos. Neste trabalho os valores de R^2 utilizados foram de 81, 90 e 95%, o que conforme Cruz e Regazzi (1997) correspondem, respectivamente, a valores de acurácia de 0,90, 0,94 e 0,97. A acurácia ($\hat{r}_{\hat{g}g}$) foi estimada por: $\hat{r}_{\hat{g}g} = \sqrt{R^2/100}$, em que R^2 é o coeficiente de determinação. Segundo Cruz et al. (2012), a acurácia é dada pela correlação entre o valor genotípico médio (\hat{g}), obtido a partir de n medidas, e o valor real do indivíduo (g) obtido de infinitas medidas.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares GENES (CRUZ, 2016) e R (R CORE TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo de genótipos (cultivares), nas três safras, sobre todos os caracteres mensurados (Tabela 1), indicando variabilidade entre as cultivares para estes caracteres. Na seleção de cultivares com qualidade tecnológica desejável, para uso como genitores em futuros cruzamentos em um programa de melhoramento, a variabilidade entre elas é premissa para o sucesso da escolha daquelas de maior potencial (BORÉM et al., 2017).

Variabilidade genética para caracteres de qualidade tecnológica dos grãos de feijão também foram relatadas por Santos et al. (2016) e Silva et al. (2019). Para os caracteres formato, grau de achatamento e seus caracteres determinantes, as estimativas dos coeficientes de variação experimental (CV) apresentaram valores entre 4,46 e 7,14% e para tempo de cozimento variaram de 10,31 a 11,81% (Tabela 1), indicando elevada precisão experimental (CV), conferindo confiabilidade em inferências posteriores. Corroborando com esses resultados, também foram observadas elevadas estimativas de acurácia ($\hat{r}_{\hat{g}g}$), com valores superiores a 0,90, que segundo Resende e Alves (2020) são classificadas como de alta magnitude. Ribeiro et al. (2019) relataram resultados semelhantes ao deste trabalho, no que se refere aos valores de CV e de $\hat{r}_{\hat{g}g}$ para o comprimento, largura, espessura, coeficiente J e H e tempo médio de cozimento de grãos de seis cultivares de feijão do tipo carioca.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância individual e conjunta contendo o quadrado médio dos tratamentos (QMT), média, coeficiente de variação (CV, %) e acurácia seletiva (AS) para as variáveis comprimento (CP, mm), largura (LG, mm), espessura (ES, mm), coeficiente J (J), coeficiente H (H), cozedor 1 (COZ 1, segundos) e cozedor 2 (COZ 2, segundos) de 105 cultivares de feijão avaliadas nas safras da seca, inverno e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

Variáveis	ANOVA											
	Safra da seca				Safra do inverno				Safra das águas			
	QMT	Média	CV	AS	QMT	Média	CV	AS	QMT	Média	CV	AS
CP	11,01**	10,18	4,46	0,99	12,87**	10,27	4,58	0,99	11,24**	9,79	5,49	0,99
LG	3,49**	6,48	4,55	0,99	3,64**	6,39	4,96	0,99	3,67**	5,95	5,35	0,99
ES	3,17**	4,87	6,28	0,99	3,28**	4,46	7,05	0,98	2,33*	4,54	6,9	0,98
J	0,29**	1,57	4,98	0,99	0,34**	1,61	5,16	0,99	0,32**	1,65	5,46	0,99
H	0,07**	0,75	6,36	0,98	0,08**	0,70	7,14	0,98	0,06*	0,76	6,63	0,98
COZ 1	274615,7**	20'38"	11,35	0,96	521217,5**	31'10"	11,81	0,95	245286,1**	25'00"	10,69	0,95
COZ 2	272718,8**	20'53"	10,53	0,97	523705,2**	31'21"	11,12	0,96	225008,1**	25'18"	10,31	0,94

FV ¹	CONJUNTA									
	GL	CP	LG	ES	J	H	GL	COZ 1	COZ 2	
G ²	104	30,16**	9,43**	6,65 ^{ns}	0,88**	0,18 ^{ns}	104	558366,14*	552511,43**	
A ³	2	337,22**	425,6**	251,48**	7,5**	6,33**	2	137451003,66**	135494862,00**	
G×A	208	2,48*	0,69**	1,06**	0,04**	0,02*	208	241376,62**	234460,30**	
Resíduo	15435	0,24	0,10	0,10	0,01	0,01	3780	31401,18	28541,15	
Média		10,08	6,27	4,62	1,61	0,74		25'36"	25'51"	
CV (%) ⁴		4,85	4,94	6,73	5,21	6,70		11,54	10,89	
CVg ⁵		0,20	0,06	0,04	0,01	0,00		13511,92	13435,14	
CVg/CVe ⁷		0,91	0,80	0,67	0,91	0,69		0,66	0,69	

** , *Significativo pelo teste F em nível de 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente; ^{ns}= não significativo. Valores de média para cozedor 1 e 2 estão em minutos (') e segundos (") para facilitar a visualização. ¹Fonte de variação; ²Genótipos; ³Ambiente; ⁴Coeficiente de variação experimental; ⁵Coeficiente de variação genético; ⁶Herdabilidade média; ⁷Razão entre coeficiente de variação genético e coeficiente de variação ambiental.

Com base nas análises conjuntas de variância houve efeito significativo de genótipos para a maioria dos caracteres, exceto para espessura do grão (ES) e coeficiente H (Tabela 1). Também houve efeito significativo de safras e da interação genótipo por safras (GxA) sobre todos os caracteres mensurados. Interação GxA significativa indica variação no comportamento das cultivares ao longo das safras, o que pode sinalizar para a necessidade de se avaliar estes caracteres nas diferentes safras de cultivo do feijoeiro, uma vez que a interação quando de natureza complexa traz dificuldades ao melhorista na identificação de genótipos superiores (CRUZ et al., 2012).

As médias dos coeficientes J (1,61) e H (0,74) classificam as cultivares avaliadas em grãos de formato elípticos e grau de achatamento semicheio (PUERTA ROMERO, 1961), que são os preferidos pelos consumidores (CARBONELL et al., 2010) (Tabela 1). O tempo de cozimento médio dos grãos de feijão nos dois cozedores (25min 36s para o Cozedor 1 e de 25min 51s para o cozedor 2) foram inferiores a 30 minutos, que é o recomendado pelo MAPA. De acordo com Santos et al. (2016), menor tempo de cozimento é desejável, uma vez que resulta em menor gasto de energia e tempo no preparo das refeições. Além disso, grãos com tempo de cozimento mais curto retêm mais nutrientes durante o processo de cozimento e têm mais ferro biodisponível do que aqueles que levam mais tempo para cozinhar (WIESINGER et al., 2016).

Na tabela 2 são apresentados os percentuais da parte complexa da interação GxA para os pares de safras. Observou-se que para os caracteres CP, LG e coeficiente J a interação GxA é de natureza simples em predominância. Já para os caracteres ES, coeficiente H e tempo de cocção nos cozedores 1 e 2, a interação GxA é de natureza predominantemente complexa, com os maiores percentuais para o tempo de cozimento. Nesse último caso, esses resultados corroboram que esses caracteres devem ser avaliados nas diferentes safras de cultivo do feijoeiro.

As estimativas do coeficiente de correlação de Spearman entre os mesmos caracteres avaliados em safras diferentes (correlação intraclasse) são apresentadas no Anexo 1. Maiores estimativas foram observadas para os caracteres relacionados ao tamanho e formato dos grãos, com valores variando entre 0,62 e 0,82, comparadas ao tempo de cocção que variaram entre 0,18 e 0,52. Para tempo de cocção, embora algumas estimativas sejam significativas pelo teste t, elas são consideradas de baixa magnitude. Novamente, estes resultados corroboram a necessidade de se avaliar o tempo de cocção nas diferentes safras de cultivo do feijoeiro.

Tabela 2 - Percentuais da parte complexa da interação entre os pares de ambientes das 105 cultivares de feijão para as variáveis comprimento (CP, mm), largura (LG, mm), espessura (ES, mm), coeficiente J (J), coeficiente H (H), cozedor 1 (COZ 1, segundos) e cozedor 2 (COZ 2, segundos) avaliadas nas safras da seca, inverno e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

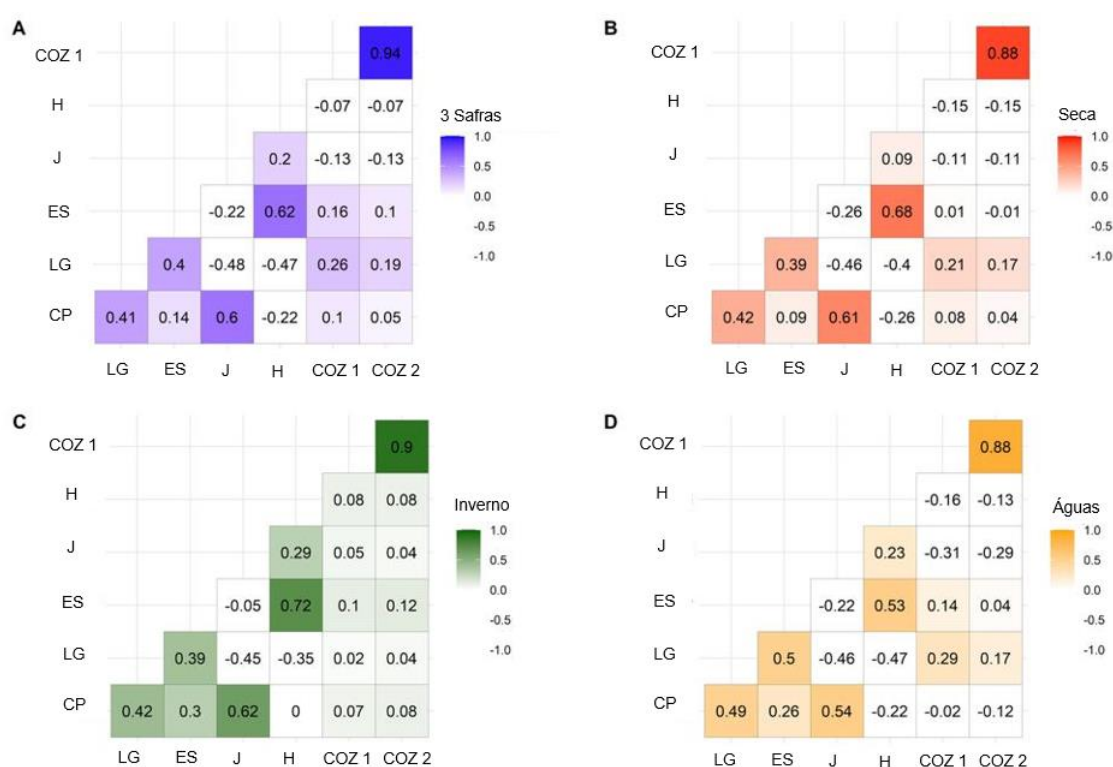
Porcentagem da parte complexa - Cruz e Castoldi (1991)							
Pares de Ambientes	Variáveis						
	CP	LG	ES	J	H	COZ 1	COZ 2
Seca x Inverno	47,78	46,74	61,06	31,19	47,21	85,56	84,82
Seca x Águas	42,59	42,50	53,62	34,00	50,60	88,02	86,24
Inverno x Águas	45,75	41,47	59,81	35,09	53,01	58,51	56,11

*Valores em cor cinza indicam interação de natureza complexa.

Considerando os pares de safras em que houve predominância da parte complexa da interação, observou-se para a característica ES que os pares envolvendo a safra do inverno (seca x inverno e inverno x águas) contribuíram mais para a interação GxA, enquanto para tempo de cozimento essa maior contribuição foi para os pares (seca x inverno e seca x águas) envolvendo a safra da seca (Tabela 2). Esses resultados indicam maior contribuição destas safras, inverno e seca, para a interação GxA em relação aos caracteres ES e tempo de cozimento, respectivamente.

Oliveira et al. (2005), utilizando a análise de fatores, concluíram que o efeito de safras foi mais pronunciado do que o de local para a interação genótipos x ambientes na avaliação de um conjunto de linhagens de feijoeiro quanto à produtividade de grãos. Melo et al. (2007), também avaliando linhagens de feijoeiro quanto à estabilidade de comportamento, observaram predominância da interação GxA de natureza complexa em relação aos caracteres reação à doenças, arquitetura de plantas e produtividade de grãos. Os autores relatam que as diferenças na incidência e severidade das doenças nos diferentes ambientes, em especial safras, é que mais contribuíram para a interação GxA. Segundo CRUZ et al. (2012), as causas genéticas da interação GxA podem ser atribuídas às variações fisiológicas, bioquímicas e adaptativas dos genótipos avaliados nos diferentes ambientes, resultantes da expressão diferencial dos genes envolvidos no controle dos caracteres.

Na Figura 1 são apresentadas as estimativas do coeficiente de correlação Pearson entre os caracteres avaliados, em cada uma das safras e na média das safras. As maiores estimativas de correlação foram entre o tempo de cocção das cultivares nos cozedores 1 e 2, tanto em cada safra como na média delas, cujos valores variaram entre 0,88 e 0,94. Estes resultados indicam não haver efeito de cozedor e, no caso, que também não houve diferenças entre as chamas do fogão que foram utilizadas na determinação do tempo de cozimento. Estimativas de correlação de média magnitude foram observadas entre os caracteres largura e índice H (0,62) e entre comprimento e coeficiente J (0,60). Isto se deve, principalmente, pois a largura e o comprimento estão envolvidos diretamente na determinação dos coeficientes H e J, respectivamente. Em geral, os caracteres relacionados ao tamanho e formato do grão não apresentaram estimativas significativas de correlação com o tempo de cozimento das cultivares. Já Santos et al. (2016), relataram estimativas de correlação significativas entre as variáveis espessura e grau de achatamento com o tempo de cozimento.



*Coeficiente de correlações acima de $|.21|$ é significativa ao nível de 5% de erro pelo teste t .

Figura 1 - Estimativa de correlação intraclassa entre as variáveis comprimento (CP, mm), largura (LG, mm), espessura (ES, mm), coeficiente J (J), coeficiente H (H), cozedor 1 (COZ 1, segundos) e cozedor 2 (COZ 2, segundos) nas três safras estudadas (A), na safra da seca de 2019 (B), inverno de 2019 (C) e águas de 2019 (D).

As estimativas dos coeficientes de repetibilidade (ρ) para os caracteres mensurados são apresentadas na tabela 3. Os valores de \hat{r} variaram entre 0,31 para a variável espessura dos grãos (safra das águas) a 0,53 para comprimento dos grãos (safra de inverno) e cozedor 2 (safra da seca). Segundo Cruz et al. (2012), do ponto de vista estatístico, o coeficiente de repetibilidade representa a correlação entre as medidas em um mesmo indivíduo (genótipo), cujas avaliações foram repetidas no tempo ou espaço. Do ponto de vista biométrico, a repetibilidade expressa a proporção das variações proporcionadas pelo genótipo e pelas alterações permanentes, atribuídas ao ambiente comum, relativas à variação total (fenotípica). Assim, quando as variações devido ao ambiente comum forem iguais a zero, a repetibilidade se iguala ao coeficiente de herdabilidade.

Tabela 3 - Estimativas do coeficiente de repetibilidade (ρ), coeficientes de determinação (R^2), acurácia seletiva (AS) e número de medições necessárias (η_0), para as variáveis comprimento (CP, mm), largura (LG, mm), espessura (ES, mm), coeficiente J (J), coeficiente H (H), cozedor 1 (COZ 1, segundos) e cozedor 2 (COZ 2, segundos) dos grupos comerciais carioca e preto para cada ambiente avaliado, seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

Safra da Seca									
Variáveis	ρ	R^2 (%)	AS	η_0 (80%)	AS	η_0 (90%)	AS	η_0 (95%)	AS
CP	0,51	98,13	0,99	4	0,89	9	0,95	18	0,97
LG	0,44	97,51	0,99	5	0,89	11	0,95	24	0,97
ES	0,40	97,05	0,99	6	0,89	14	0,95	29	0,97
J	0,48	97,91	0,99	4	0,89	10	0,95	20	0,97
H	0,39	96,94	0,98	6	0,89	14	0,95	30	0,97
COZ 1	0,50	92,81	0,96	4	0,89	9	0,95	19	0,97
COZ 2	0,53	93,61	0,97	4	0,89	8	0,95	17	0,97
Safra do Inverno									
Variáveis	ρ	R^2 (%)	AS	η_0 (80%)	AS	η_0 (90%)	AS	η_0 (95%)	AS
CP	0,53	98,28	0,99	3	0,89	8	0,95	17	0,97
LG	0,41	97,25	0,99	6	0,89	13	0,95	27	0,97
ES	0,39	97,00	0,98	6	0,89	14	0,95	29	0,97
J	0,49	97,99	0,99	4	0,89	9	0,95	19	0,97
H	0,37	96,76	0,98	7	0,89	15	0,95	32	0,97
COZ 1	0,43	90,64	0,95	5	0,89	12	0,95	26	0,97
COZ 2	0,46	91,65	0,96	5	0,89	11	0,95	23	0,97
Safra das Águas									

Variáveis	ρ	R^2 (%)	AS	η_0 (80%)	AS	η_0 (90%)	AS	η_0 (95%)	AS
CP	0,43	97,43	0,99	5	0,89	12	0,95	25	0,97
LG	0,41	97,24	0,99	6	0,89	13	0,95	27	0,97
ES	0,31	95,78	0,98	9	0,89	20	0,95	42	0,97
J	0,44	97,48	0,99	5	0,89	12	0,95	25	0,97
H	0,32	95,98	0,98	8	0,89	19	0,95	40	0,97
COZ 1	0,40	89,53	0,95	6	0,89	14	0,95	29	0,97
COZ 2	0,39	89,12	0,94	6	0,89	14	0,95	30	0,97

De acordo com a classificação de Resende (2002) todas as variáveis mensuradas apresentaram valores de repetibilidade considerados de média magnitude. Entretanto, as estimativas dos coeficientes de determinação (R^2) e de acurácia (r_{gg}) foram superiores a 89,12% e a 0,94 (Cozedor 2, safra das águas), respectivamente (Tabela 3), considerados de alta magnitude. Estes resultados indicam que o número de medidas realizadas pode ser reduzido mantendo-se níveis aceitáveis de R^2 e de acurácia para a avaliação dos caracteres em análise. De modo geral, os valores de R^2 mais altos foram observados para comprimento, largura, espessura, coeficiente J e H, comparados ao tempo de cozimento (Tabela 3). Estes resultados podem ser devido ao fato do uso de maior número de medidas para estes caracteres, 50 no caso, comparado ao tempo de cozimento em que foram realizadas 13 medidas.

Os valores de acurácia e do número mínimo de medições necessárias referentes aos valores de R^2 pré-estabelecidos em 80, 90 e 95% são apresentadas na tabela 3. Considerando R^2 de 90% e acurácia de 0,95, verificou-se que para comprimento, largura e espessura dos grãos, coeficiente J e H o número de medidas pode ser reduzido de 50 para 20 medidas. O coeficiente J, que determina o formato do grão, necessita de um menor número de grãos avaliados para se obter os mesmos coeficientes de determinação que o coeficiente H, que define o grau de achatamento dos grãos. Para tempo de cocção a utilização de 13 medidas, ou seja, o tempo de queda da 13ª haste apresentou acurácia de magnitude muito alta no processo de avaliação (0,95). Estes resultados indicam que a metodologia sugerida por Rodrigues et al. (2005), utilizada nesse estudo, que considera o tempo de cozimento dos grãos quando 50%+1 das hastes perfurem os grãos, ou seja, 13 grãos cozidos, é de acurácia muito alta.

Resende e Duarte (2007) classificam os valores de acurácia na discriminação genotípica em ensaios de VCU em baixa (0,10 a 0,40), moderada (0,50 a 0,65), alta (0,70 a 0,90) e de magnitude muito alta (0,95 a 0,99). Considerando o valor de acurácia de 0,90 (limite superior para acurácia de alta magnitude), o que equivale a um valor de R^2 de 81%, 10 medidas são suficientes para se avaliar os caracteres formato e grau de achatamento dos grãos (incluindo

seus caracteres determinantes) e, neste mesmo contexto, o tempo de queda da 7ª haste (7 medidas) é suficiente para quantificar o tempo de cozimento dos grãos de feijão. Estes resultados são de importância particular no melhoramento do feijoeiro, pois podem reduzir o tempo e recursos gastos na avaliação desses caracteres.

4 CONCLUSÃO

Há variabilidade genética para os caracteres que determinam a qualidade tecnológica de grãos nas 105 cultivares de feijão recomendadas nos últimos 60 anos no Brasil.

Houve interação cultivares x safras de natureza simples em predominância para comprimento, largura e coeficiente J e de natureza complexa para o tempo de cozimento.

A quantificação do tempo de cocção dos grãos de feijão deve ser realizada nas diferentes safras de cultivo.

Dez grãos podem ser utilizados na caracterização do tamanho e do grau de achatamento dos grãos de feijão, enquanto o tempo de queda da 7ª haste (7 medidas) no cozedor de Mattson é suficiente para quantificar o tempo de cozimento, com acurácia de 0,90.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e bolsas.

5 REFERÊNCIAS

ADEWALE, B. D.; ADEBO, U. G. Phenotypic identity, similarity and stability for selection of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars in South-western Nigeria. **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 264-269, 2018.

AMOURETTI, M. C. Cidades e Campos gregos. In FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. Eds. História da Alimentação. São Paulo, SP: Estação Liberdade. p.137-154. 1998.

BEZERRA, L. M. C., et al. The research, development, and innovation trajectory of the IAC Common Bean Breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. 2, e36872124, 2021.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. 7ª ed. Editora UFV: Viçosa. 2017. 543 p.

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. ANEXO IV. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), para a inscrição no registro nacional de cultivares (RNC)**. 2006. 7 p.

CARBONELL, S. A. et al. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2067-2073, 2010.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; STORCK, L. Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 30, n. 9, p. 2419-2424, 2009.

CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T.; BORÉM, A. **Feijão do Plantio à Colheita**. 1ª ed. Editora UFV: Viçosa. 2014. 384 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: Décimo segundo levantamento, setembro 2023**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 de outubro de 2023.

CRUZ, C. D. Genes Software—extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 1. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1, 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

DIEL, M. I. et al. Repeatability coefficients and number of measurements for evaluating traits in strawberry. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, e43357, 2020.

FLÔRES JÚNIOR, P. C. et al. Repeatability and genetic dissimilarity using biometric characteristics of black wattle seeds. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 2, p. 333-337, 2018.

GUILHEN, J. H. S. et al. Repeatability analysis of Guava fruit and leaf characteristics. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 2, p. 377-388, 2019.

MARÇAL, T. S. et al. Repeatability of biometric characteristics of Juçara Palm fruit. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 4, p. 890-898, 2016.

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

PEREIRA, H. S. et al. Genetic diversity among common bean cultivars based on agronomic traits and molecular markers and application to recommendation of parent lines. **Euphytica**, v. 215, n. 38, 2019.

PUERTA ROMERO, J. **Variedades de judias cultivadas en España**. Madrid: Ministério da Agricultura, 1961. 798 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

REGISTRO NACIONAL DE CULTIVARES – RNC. **Cultivares registradas no RNC**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Acesso em: 10 de maio de 2021. http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php.

RESENDE, M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no Melhoramento de Plantas Perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

RESENDE, M. D. V.; ALVES, R. S. Linear, generalized, hierarchical, bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 2, 2020.

RIBEIRO, N. D. et al. Padronização de metodologia para avaliação do tempo de cozimento dos grãos de feijão. **Bragantia**, v. 66, n. 2, 2007.

RIBEIRO, N. D. et al. Consumer preference and the technological, cooking and nutritional quality of carioca beans. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 651-664, 2019.

RIBEIRO, N. D.; KLÄSENER, G. R. Physical quality and mineral composition of new Mesoamerican bean lines developed for cultivation in Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 89, n. 66, 103479, 2020.

RIBEIRO, N. D. et al. Genetic diversity and selection of bean landraces and cultivars based on technological and nutritional traits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 96, 103721, 2021.

RIBEIRO, N. D. et al. Experimental precision of grain yield components and selection of superior common bean lines. **Euphytica**, v. 213, n. 290, 2017.

RODRIGUES J. A. et al. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005.

SABADOTI, V. D.; MIANO, A. C.; AUGUSTO, P. E. D. Automation of a Mattson Bean Cooker: A simple and a low-cost approach. **Journal of Food Processing and Preservation**, e14769, 2020.

SANTOS, G. G. et al. Evaluation of common bean morphological traits identifies grain thickness directly correlated with cooking time. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 1, p. 35-42, 2016.

SILVA, M. B. O. et al. Technological quality of grain of common bean genotypes of the black commercial class. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 1-8, 2019.

SOUZA, M. H. et al. Adaptability and stability analyses of plants using random regression models. **PLoS ONE**, v. 15, n. 12, e0233200, 2020.

STECKLING, S. M. et al. Genetic diversity and selection of common bean lines based on technological quality and biofortification. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.

WIESINGER, J. A. et al. Demonstrating a Nutritional Advantage to the Fast-Cooking Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 45, 8592-8603, 2016. adsasdfsdfasdfsdfasd

ANEXO 1 - Correlação de Spearman (r_s) avaliando as variáveis comprimento (cm), largura (cm), espessura (cm), coeficiente J, coeficiente H, cozedor 1 (segundos) e cozedor 2 (segundos) de 105 cultivares de feijão para cada ambiente avaliado, seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

	Comprimento		Largura		Espessura	
	Inverno	Águas	Inverno	Águas	Inverno	Águas
Seca	0,77**	0,82**	0,76**	0,8**	0,62**	0,64**
Inverno		0,78**		0,78**		0,63**
	Coeficiente J		Coeficiente H			
	Inverno	Águas	Inverno	Águas		
Seca	0,85**	0,82**	0,73**	0,71**		
Inverno		0,84**		0,66**		
	Cozedor 1		Cozedor 2			
	Inverno	Águas	Inverno	Águas		
Seca	0,18 ^{ns}	0,25*	0,22*	0,24*		
Inverno		0,52**		0,51**		

** , Significativo pelo teste t ao nível de 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente; ^{ns}= não significativo.

ANEXO 2 - Caracterização das cultivares conforme o coeficiente J (J), coeficiente H (H) e tempo de cozimento (TCOZ, minutos) para as três safras de cultivo no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

Cultivares	J ¹	H ²	TCOZ ³	Cultivares	J ¹	H ²	TCOZ ³
Pérola	EL	AC-SC	20-30'	IPR Quero-Quero	EL	SC CH	20-35'
BRS Requite	EL	AC-SC	20-30'	IPR Curió	EL	SC - CH	15- >35'
BRS Pontal	EL	AC-SC	20-35'	IPR Bem-te-vi	EL - O/RC	SC	20-30'
BRS Majestoso	EL	AC-SC	15-35'	IAC Milênio	EL	SC - CH	20-30'
BRSMG Pioneiro	EL	AC-SC	20-35'	Capixaba Precoce	EL - O/RC	AC	20-30'
BRS Cometa	EL - O/RC	SC	20-30'	Ouro Negro	O/RC	SC	20-35'
BRS Estilo	EL	AC-SC	20-35'	BRS Valente	EL	AC - SC	20-35'
BRS Notável	EL	SC	20-35'	BRS Campeiro	EL - O/RC	SC	20-30'
Rio doce	EL - O/RC	SC - CH	15-30'	BRS Grafite	EL	AC - SC	15-30'
Rudá	EL	SC - CH	20- >35'	BRS Supremo	EL	AC	20-30'
Aporé	O/RC	SC - CH	20-35'	BRS Esplendor	EL	AC - SC	20-35'
SCS Guará	EL	SC - CH	15-30'	BRS Expedito	EL	AC - SC	15-25'
VC15	EL - O/RC	SC - CH	15-30'	Diamante Negro	EL - O/RC	AC - SC	20-35'
FT bonito	EL	SC	15-35'	Onix	EL	AC - SC	20-30'
Carioca 1070	EL	AC - SC	15-35'	Xamego	EL	SC - CH	15-30'
Carioca 1030	EL - O/RC	SC	20- >35'	BR 6-Barriga verde	EL	SC	15-35'
Carioca 80	EL - O/RC	SC	20-35'	VP 33	O/RC-RM	SC	15-35'
IAC Carioca	EL - O/RC	SC - CH	15-35'	VP 22	O/RC	AC - SC	15-35'

IAC - Carioca Pyatã	EL	AC	25-35'	Milionário 1732	EL - O/RC	SC - CH	15-25'
IAC - Carioca Akytã	EL	AC - SH	20-35'	Rico 1735	O/RC	SC	15-35'
IAC Votuporanga	EL	AC - SH	20-35'	FT 120	EL	AC - SC	20-30'
IAC-Ybaté	EL	AC - SH	20-35'	Moruna	EL	AC - SC	15-30'
IAC-Apuã	EL - O/RC	AC - SH	20-35'	IAC-Una	EL	SC	20-30'
IAC Alvorada	EL	AC - SH	15-30'	Rio Tibagi	EL	SC	15-35'
IAC Formoso	EL - O/RC	SC	15-30'	IAPAR 8-Rio Negro	EL	SC - CH	15-30'
IAPAR 16	EL - O/RC	AC - SH	20- >35'	IAPAR 20	EL	SC	15-35'
IAPAR 31	EL	SC	15-35'	IAPAR 44	EL	SC	20-35'
IAPAR 57	EL - O/RC	SC	20-35'	IAPAR 65	EL	SC	15-30'
IPR Tangará	EL - O/RC	SC	15-35'	BR- IPA 10	EL	AC - SC	20-35'
IPR Tuiuiú	EL - O/RC	SC - CH	20- >35'	IRAÍ	EL	SC	20-30'
BR- IPA 11-Brígida	EL - O/RC	SC	20-30'	BR- Macanudo	EL	AC - SC	15-35'
BRSMG Madrepérola	EL - O/RC	SC	20- >35'	Preto Uberabinha	O/RC	AC - SC	15-35'
BRSMG Talismã	EL	SC	20-30'	BR-2 Grande Rio	EL	AC - SC	20-30'
IPR 139	EL - O/RC	SC	20-35'	BR-3 Ipanema	EL - O/RC	AC - SC	15-30'
IPR Eldorado	EL - O/RC	SC	15-30'	BR 1- Xodó	EL - O/RC	AC - SC	15-35'
IPR Campos Gerais	EL	SC - CH	20- >35'	Varre-Sai	EL	AC - SC	15-35'
IPR Saracura	EL - O/RC	SC - CH	15-35'	Rico 23	EL - O/RC	AC - SC	15-35'
IAPAR 81	EL - O/RC	SC	20-35'	IPR Uirapurú	EL	AC - SC	15- >35'
IPR Andorinha	EL	SC - CH	20-30'	IPR Gralha	EL - O/RC	SC - CH	20-35'
IPR Colibri	EL - O/RC	SC - CH	20-35'	IPR Graúna	EL - O/RC	AC - SC	20- >35'
IAC Imperador	EL	SC	20-35'	IPR Tiziu	EL - O/RC	AC - SC	20-30'
Porto Real	EL - O/RC	AC - SC	15-30'	Pampa	EL	SC	15-30'
IAC-Aruã	O/RC	SC - CH	15-30'	IAC Tunã	EL	AC - SC	20-35'
IAC Ayso	EL	SC	15- >35'	BRS Esteio	EL	AC - SC	20-35'
Rudá R	EL	SC	20-35'	Meia Noite	O/RM	SC	20-35'
BRS Horizonte	EL	AC - SC	20-35'	Minuano	O/RC	AC - SC	15- >35'
BRS Ametista	EL - O/RC	SC - CH	20-35'	BRS Agreste	EL	AC - SC	15-35'
IAPAR 80	EL	SC - CH	20-35'	Macotaço	EL	AC - SC	15-35'
Carioca MG	EL	AC - SH	20-30'	IAC- Diplomata	EL - O/RC	SC - CH	15-35'
Princesa	EL	SC - CH	15- >35'	IAC-Maravilha	EL	AC - CH	20-30'
IPR Siriri	EL - O/RC	AC - SH	20-35'	IPR Chopin	EL	SC	20- >35'
RP 1	EL - O/RC	SC - CH	15-35'	IPR Inhambu	EL - O/RC	SC - CH	20- >35'
VC 17	EL	AC - CH	15-30'				

¹Coefficiente J: Elíptico (EL), Oblonga/Reniforme curta (O/RC), Oblonga/Reniforme média (O/RM). ²Coefficiente H: cheio (CH), Semi-cheio (SC), Achatado (AC). ³TCOZ: menor do que 15 minutos (<15'), maior do que 35 minutos (>35').

CAPÍTULO 2

VARIABILIDADE DE GERMOPLASMA ELITE DE FEIJÃO QUANTO À CARACTERES AGRONÔMICOS, DE QUALIDADE NUTRICIONAL E TECNOLÓGICA DOS GRÃOS

RESUMO

Os melhoristas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) desenvolveram, nas últimas décadas, várias cultivares melhoradas em relação a um conjunto de caracteres de interesse tanto de produtores quanto de consumidores. Nos últimos anos, a qualidade nutricional tem ganhado a atenção destes melhoristas, visto o enorme desafio mundial com a segurança alimentar. Desenvolver novas cultivares de feijão com qualidade nutricional e tecnológica de grãos associadas às características agrônômicas de interesse pode contribuir para reduzir esta preocupação, garantindo maior segurança alimentar e nutricional sustentáveis. Assim, o objetivo com este trabalho foi quantificar a variabilidade genética de cultivares de feijão recomendadas no Brasil, nas últimas seis décadas, quanto à qualidade tecnológica e nutricional dos grãos e caracteres de importância agrônômica para a cultura e recomendar genitores visando melhorar essas características. Cento e cinco cultivares de feijão, foram multiplicadas em quatro safras na área experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Em seus grãos foram mensurados a concentração de minerais, teor de proteína bruta, produtividade de grãos, massa de 100 grãos e aspecto de grãos. Os dados foram submetidos às análises individuais e conjunta de variância e as médias agrupadas conforme o teste de Scott e Knott. Verificou-se efeito significativo de cultivares sobre todas as variáveis mensuradas, indicando variabilidade genética entre as cultivares avaliadas. Além disso, também houve efeito significativo da interação cultivares x ambientes para os caracteres que conferem qualidade nutricional e tecnológica aos grãos de feijão, bem como para os caracteres de importância agrônômica. Com base na análise de diversidade genética, oito grupos de dissimilaridade foram estabelecidos pelo método UPGMA. Os resultados baseados nas distâncias genótipo-ideótipo indicam que as cultivares avaliadas apresentam elevado potencial visando o desenvolvimento de novas variedades de feijão com excelência nutricional e caracteres agrônômicos.

1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais leguminosas consumidas no mundo, considerada excelente fonte de proteínas e de minerais (LOVATO et al., 2018). Em torno de 31 milhões de toneladas de grãos de feijão são produzidos por ano no mundo. As Américas têm participação de 32,40% na produção total, e o Brasil ocupa o terceiro lugar entre os maiores produtores de feijão, contribuindo com 10% da produção mundial anual (FAOSTAT, 2020; CONAB, 2019).

Os grãos de feijão do pool gênico mesoamericano são os preferidos pela população da América do Norte, América Central e região Sul da América do Sul, enquanto os do pool gênico andino são preferidos na África, Europa e parte da América do Sul (OLADZAD, 2019). Grãos mesoamericanos do tipo comercial carioca e preto são os mais consumidos pelos brasileiros, representando aproximadamente 65% e 20% da produção nacional, respectivamente (CONAB, 2023).

O feijão tem importância em diversas instituições de pesquisa seja pela sua qualidade nutricional, como teor de proteínas, como já é mundialmente conhecido, mas também pela concentração de micro e macrominerais em sua composição. Estudos mostram que as concentrações de minerais variam entre genótipos de mesmo tipo comercial de grãos, entre tipos comerciais, bem como entre pools gênicos e ambientes de cultivo (GOUVEIA et al., 2014; STECKLING et al., 2017).

Dentre os microminerais, o ferro e o zinco são considerados essenciais ao funcionamento das atividades metabólicas humanas e suas deficiências afetam mais de dois bilhões de pessoas no mundo (FAO, 2019). A deficiência desses micronutrientes podem causar tanto a desnutrição, bem como a denominada fome oculta (DELFINI et al., 2020; LÓPEZ - MORALES et al., 2020; SILVA et al., 2021). O ferro é um componente da hemoglobina do sangue com papel no transporte de oxigênio e sua deficiência pode levar a doenças como anemia, enquanto o zinco é um mineral essencial para aumentar a imunidade contra doenças e sua deficiência tem sido relacionada a diversos problemas de saúde (AYENI et al., 2018; VAN DER STRAETEN et al., 2020). A falta de cobre provoca a redução no crescimento e diminuição de células de defesa do sangue, pois ele atua na manutenção de glóbulos brancos (AL-FARTUSIE; MOHSSAN, 2017).

O aumento da concentração de minerais em um alimento consumido diariamente pela população é fundamental para solucionar problemas de desnutrição e fome oculta. A biofortificação consiste na iniciativa de intervenção em saúde pública pelos alimentos,

objetivando assim, adicionar nutrientes às variedades que têm preferência agronômica, bom consumo e alta produtividade de grãos. A biofortificação em vegetais pode ocorrer da forma tradicional, utilizando cruzamentos dirigidos, ou por biotecnologia (SINGH et al., 2016). Aliar a qualidade nutricional com a qualidade tecnológica e a produtividade de grãos do feijão vem chamando a atenção dos melhoristas do feijoeiro.

Nas últimas décadas, várias cultivares de feijão melhoradas, em relação a um conjunto de caracteres de interesse tanto dos produtores quanto dos consumidores, foram recomendadas no Brasil. Entretanto, estudos envolvendo a avaliação simultânea destas cultivares são escassos na literatura, especialmente no que se refere à qualidade nutricional e tecnológica de grãos. Assim, os objetivos com este trabalho foram quantificar a variabilidade genética de cultivares de feijão recomendadas no Brasil nos últimos 60 anos, bem como direcionar os cruzamentos entre aquelas com maior potencial, visando o desenvolvimento de populações segregantes para uso no melhoramento de caracteres agronômicos e de qualidade tecnológica e nutricional dos grãos do feijão, simultaneamente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Cento e cinco cultivares de feijão recomendadas nas últimas seis décadas no Brasil, 57 do grupo carioca (cor bege com estrias marrons) e 48 do grupo preto, foram avaliadas quanto a caracteres agronômicos (produtividade de grãos, peso de 100 grãos e aspecto comercial de grãos) e de qualidade tecnológica e nutricional dos grãos (concentração de ferro, zinco, cobre e teor de proteína bruta) em diferentes safras e anos de cultivo.

Os experimentos a campo (com as 105 cultivares de feijão) foram conduzidos na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, Minas Gerais (Latitude: 20°49'44" S, Longitude: 42°45'56" W, Altitude: 713 m), nas safras das águas de 2018, seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019. O clima da região é classificado como clima subtropical úmido (Cwa) segundo Köppen-Geiger (1928). O solo da área experimental é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico. Os quatro experimentos foram delineados em blocos casualizados com três repetições e parcelas de duas linhas de três metros, totalizando três m² de área útil. Os tratos culturais foram realizados conforme a necessidade da cultura (CARNEIRO; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2014).

A colheita dos experimentos se deu quando as plantas de feijão se encontravam no estádio R9, posteriormente foram levados ao galpão para secagem até uniformizar a umidade

para serem trilhados e beneficiados. A produtividade de grãos (PROD) foi obtida pela pesagem das duas linhas da parcela, e posteriormente convertida em kg ha^{-1} . As notas para o aspecto de grão (AG) se deu conforme a escala de classificação que varia de 1 a 5, onde 1 indica grãos de cor creme com listras marrons claras, fundo claro, sem halo amarelado, não achatado e com massa média de 100 grãos (M100G) entre 22 e 24 g, e 5 para grãos com cor creme a marrom, com estrias marrom-escuras, tegumento escuro, com halo amarelado, achatado e com massa média de 100 grãos menor que 22 g. Para grãos pretos, a nota 1 era representada por grãos com fundo preto, não achatado, sem halo amarelado e com massa de 100 grãos entre 22 e 24 g, e a nota 5 para grãos arroxeados, achatados, com halo amarelado e com massa de 100 grãos menores que 22 g (RAMALHO et al., 1998). A M100G (g) foi obtida a partir de 100 grãos retirados aleatoriamente de cada parcela e pesadas em balança de precisão.

Após esta etapa, amostras de 100 gramas de grãos foram obtidas de cada um dos quatro experimentos para a quantificação das concentrações de ferro, zinco, cobre e teor de proteína bruta. Na sequência, os grãos destas amostras foram moídos com o auxílio de um moinho de bolas (Marca Tecnal) na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

A determinação da concentração dos minerais ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) foram realizadas no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A limpeza dos tubos de digestão se deu em solução com ácido clorídrico (HCL) 20% e com água destilada e a secagem em estufa ($\pm 80^\circ\text{C}$). Após secos e identificados, nestes tubos foram adicionadas as amostras de farinha de feijão (grãos moídos) para a digestão, nos quais também foram adicionados 5 ml de solução nítrica-perclórica na proporção volumétrica 3:1, conforme o método descrito por Souza et al. (2012).

O término da digestão nítrica-perclórica foi indicado pela cor cristalino-transparente e pelo volume de aproximadamente 1 ml que cada tubo ainda continha. Já prontas, as amostras foram retiradas do bloco digestor e acrescidas de água destilada até que o volume do tubo atingisse a marca de 50 ml, e transferidas para um tubo Falcon de 50 ml, com posterior armazenamento em câmara fria ($\pm 2^\circ\text{C}$) até o momento da leitura dos minerais. A leitura dos minerais ferro, zinco e cobre se deram em espectrofotômetro de absorção atômica (marca Varian) nos comprimentos de onda de 248,30 nm, 213,90 nm e 324,8 nm, respectivamente.

A digestão sulfúrica foi utilizada para determinar o teor de proteína bruta, segundo a metodologia descrita por Johan Kjeldahl (1883). Para tanto, amostras de 0,2 g de feijão cru moído foram adicionadas em tubos de digestão com 0,7 g de uma mistura digestora. Posteriormente, adicionou-se a cada tubo 5 ml de ácido sulfúrico concentrado e, após esse procedimento, os tubos foram acondicionados no bloco digestor em uma temperatura de 250

°C durante 15 a 20 minutos. Decorrido esse período, a temperatura do bloco foi aumentada para 350 °C. O processo de digestão finalizou quando houve a mudança de coloração escura (preta) para verde-azulado e, então, os tubos foram retirados dos blocos digestores. Cada amostra contida nos tubos de digestão foi destilada no aparelho destilador de Kjeldahl e condicionada em um frasco de erlenmeyer, que já possuía 25 ml de indicador ácido bórico. Para o processo de destilação ocorrer foi adicionado 25 mL de hidróxido de sódio (NaOH) no tubo de digestão. A destilação se deu até atingir a marca de 50 mL na solução no erlenmeyer de coloração verde escuro, característica conferida pelo ácido bórico. Finalizada a digestão em destilador de Kjeldahl, as amostras foram tituladas com ácido sulfúrico 0,025M. O conteúdo de volume gasto de ácido sulfúrico (0,025M) foi usado para o cálculo de nitrogênio presente na amostra. Para a conversão da porcentagem de nitrogênio para proteína bruta utilizou-se o fator de conversão 6,25.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância individual e conjunta. Para as análises individuais de variância foi considerado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para as concentrações de minerais, ferro, zinco e cobre, e teor de proteína, e de blocos casualizados (DBC) para os caracteres agrônômicos, conforme os modelos a seguir: a) DIC - $Y_{ij} = \mu + g_i + \varepsilon_{ij}$ e b) DBC - $Y_{ij} = \mu + b_j + g_i + \varepsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} = valor observado da variável na cultivar i na repetição j ; μ = média geral do experimento; b_j = efeito de bloco j , g_i = efeito de genótipo i ($i=1, 2, \dots, 105$); e, ε_{ij} = erro experimental. Para as análises conjuntas foi utilizado o seguinte modelo: $Y_{ijk} = \mu + r/a_{jk} + g_i + a_j + ga_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, em que: Y_{ijk} = valor observado da variável no genótipo i no ambiente j ; μ = média geral; r/a_{jk} = efeito de repetição dentro de ambiente, g_i = efeito de genótipo i ($i=1, 2, \dots, 105$); a_j = efeito do ambiente j ($j=1, 2$ e 3); ga_{ij} = efeito da interação do genótipo i com o ambiente j ; e, ε_{ijk} = erro experimental.

O teste de agrupamento de médias Scott-Knott, a 5% de probabilidade, foi realizado para verificar quais cultivares obtiveram o melhor desempenho em cada ambiente e para cada variável estudada, uma vez que houve interação genótipos x ambientes significativa. Enquanto, o índice de seleção genótipo-ideótipo, foi utilizado para identificar quais cultivares apresentaram valores próximo ao ideótipo considerando o conjunto de caracteres avaliados.

A distância euclidiana média padronizada entre cada par de genótipo foi calculada para os 105 genótipos utilizando os valores de médias obtidos de cada genótipo nos ambientes avaliados, conforme a expressão: $Y_j = Y_j / \hat{\sigma}_j$, onde: Y_j é o valor genotípico da variável j e $\hat{\sigma}_j$ é o desvio padrão associado a j -ésima variável, então

$$d_{ii'} = \sqrt{1/n \sum_j (y_{ij} - y_{ij'})^2},$$

sendo que $d_{ii'}$ é a distância euclidiana média com base em dados padronizados, n é o número de características que estão sendo analisadas e y_{ij} é a observação do i -ésimo genótipo para a j -ésima característica. Para se determinar a matriz de distância entre os pares de genótipos e realizar a análise de diversidade, as distâncias foram padronizadas e posteriormente somadas (quatro matrizes somadas), visto a ocorrência de interação genótipo x ambiente de natureza complexa. Após a soma das matrizes, obteve-se uma matriz de distância $g \times g$, onde $g = 105$. Posteriormente, aplicou-se o método de agrupamento hierárquico da ligação média entre grupos (UPGMA), sendo, o número ótimo de grupos determinado pela metodologia proposta por Mojena (1977), e $k = 1,25$ foi adotado como regra de parada na definição do número de grupos, conforme sugerido por Milligan e Cooper (1985). A associação entre a matriz gráfica gerada pela metodologia UPGMA e a matriz de distância original foi obtida pelo coeficiente de correlação cofenética, e a significância deste coeficiente foi determinada pelo teste de Mantel, com 10.000 permutações.

As análises foram realizadas com o auxílio do software Genes (CRUZ, 2016) e R (R CORE TEAM, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de variação experimental nas análises individuais de variância (Tabela 1) variou de 2,42 para o mineral ferro (águas de 2018) a 19,46% para produtividade de grãos (águas de 2018), valores esses, menores do que os relatados por Moraes et al. (2016) em linhagens de feijão avaliadas para os caracteres concentração de ferro, zinco e cobre, e por Ribeiro et al. (2014) para a produtividade e massa de 100 grãos. De modo geral, a safra de inverno de 2019 apresentou valores de média menores para a maioria das variáveis, enquanto que para produtividade de grãos, a safra de inverno atingiu os maiores valores de média dentre as épocas avaliadas (Tabela 1). Resultados similares foram obtidos por Barili et al. (2014 e 2016) ao avaliarem cultivares de feijão nos municípios de Viçosa e Coimbra, em Minas Gerais, e por Terra et al. (2019) ao avaliarem cultivares de feijão em Jaboticabal, São Paulo.

Também com base nas análises de variância individuais (Tabela 1) foi constatado efeito significativo de cultivares sobre os caracteres concentração de ferro, zinco, proteína bruta, produtividade de grãos, massa de cem grãos e aspecto de grãos a 1% de probabilidade e, a 5%

de probabilidade, sobre a concentração de cobre. Estes resultados indicam elevada variabilidade para estes caracteres entre as cultivares recomendadas no Brasil nos últimos 60 anos. Desta forma, é possível selecionar genótipos com maior concentração de minerais (Fe, Zn e Cu), maior teor de proteína, com alta produtividade e massa de 100 grãos e com aspecto de grãos que atendem à preferência do consumidor para serem utilizados como genitores em programas de melhoramento, visando o melhoramento simultâneo desses caracteres. Steckling et al. (2017), ao avaliarem 14 linhagens de feijão carioca e preto, também observaram variabilidade para os microminerais ferro, zinco e cobre na safra de 2014/2015. De acordo com os resumos das análises conjuntas de variância, apresentados na tabela 2, houve interação genótipo x ambiente significativa para os minerais ferro, zinco, porcentagem de proteína bruta, produtividade de grãos, massa de 100 grãos e aspecto de grãos. Interação genótipo x ambiente significativa também foi relatada por Ribeiro et al. (2022), em Santa Maria – RS, para os minerais ferro, zinco e cobre, além de produtividades de grãos e massa de 100 grãos.

Os valores médios obtidos para a concentração dos microminerais Fe ($51,66 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS), Zn ($17,98 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS) e Cu ($6,54 \text{ mg kg}^{-1}$ de MS) e para a característica massa de 100 grãos (22,41 gramas) (Tabelas 1 e 2) foram inferiores aos obtidos por Ribeiro et al. (2022) avaliando 49 genótipos de feijão em três épocas de cultivo, duas na época da seca e uma nas águas. Os teores de proteína bruta obtidos neste trabalho (20,54%) se assemelham aos observados por Ribeiro et al. (2019) avaliando cinco marcas de feijões vendidas nos supermercados da cidade de Santa Maria - RS e são inferiores aos relatados por Freitas et al. (2022), avaliando 100 linhagens de feijão-caupi. Quando consideramos a massa de 100 grãos, o valor médio observado neste trabalho (22,41 g) se assemelha ao relatado por Barili et al. (2016), porém inferior aos relatados por outros pesquisadores (RIBEIRO et al., 2019; 2022). A média da nota de aspecto de grão (2,55) foi superior ao observado por Barili et al. (2016), indicando que as cultivares recém recomendadas estão se adequando ao padrão dos consumidores, uma vez que no trabalho de Barili et al. (2016) as cultivares avaliadas não incluiu as recomendadas nos últimos anos. Para a variável produtividade de grãos obteve-se valores superiores àqueles apresentados por Ribeiro et al. (2018; 2022) e Santos et al. (2022), e semelhantes aos reportados por Barili et al. (2015; 2016).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância individual, contendo o quadrado médio dos tratamentos (QMT), média e coeficiente de variação (CV, %), para as variáveis concentração de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas nas safras das águas de 2018, da seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

FV ¹	Águas de 2018			Seca de 2019			Inverno de 2019			Águas de 2019		
	QMT	Média	CV	QMT	Média	CV	QMT	Média	CV	QMT	Média	CV
Fe	33,16**	59,79	2,42	40,86**	51,60	4,14	39,96**	45,64	7,66	29,64**	49,62	3,94
Zn	7,53**	22,43	3,08	3,19**	17,35	5,12	5,38**	16,99	7,88	3,60**	15,14	3,96
Cu	1,87**	9,75	14,74	1,83**	6,74	10,50	1,82**	4,84	18,90	1,10*	4,84	8,48
PB	2,91**	21,70	3,07	3,59**	21,07	2,85	4,45**	18,45	7,87	4,53**	20,95	5,36
PROD	413587,53**	1705,14	19,46	815183,59**	3016,93	16,04	2257355,97**	3515,73	13,10			
P100G	15,03**	19,48	5,52	20,46**	25,86	3,98	21,65**	21,89	7,04			
AG	1,24**	2,52	11,01	1,41**	2,46	11,97	0,80**	2,68	12,20			

** = Significativo pelo teste F em nível de 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente; * = não significativo.

Tabela 2 - Valores de quadrado médio da análise conjunta evidenciando o efeito de safras de cultivo avaliados para as variáveis concentração de ferro (Fe, mg kg⁻¹ de MS), zinco (Zn, mg kg⁻¹ de MS), cobre (Cu, mg kg⁻¹ de MS), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G, g) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas nas safras das águas de 2018, da seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

FV ¹	GL	Fe	Zn	Cu	PB	GL	PROD	P100G	AG
Bl/A	-	-	-	-	-	6	2905273,25	3,69	0,22
BlxA	-	-	-	-	-	2	2261578,67	1,59	0,32
G	104	78,63**	11,76**	4,13**	8,33**	104	1695131,41**	45,77**	2,93**
A	3	7453,69**	2045,91**	1126,81**	432,09**	2	275511043,97**	3277,65**	3,87 ^{ns}
GxA	312	21,66**	2,64**	0,83 ^{ns}	2,38**	208	895497,84**	5,69**	0,26**
Resíduo	420	5,68	0,85	0,89	1,04	624	185472,63	1,53	0,09
Média		51,66	17,98	6,54	20,54		2745,94	22,41	2,55
CV (%)		4,61	5,14	14,44	4,97		15,68	5,52	11,77
CVg		5,85	6,49	9,72	4,65		14,92	9,89	21,99
CVg/CVe		92,77	92,73	78,37	87,48		89,06	96,65	96,92

** = Significativo pelo teste F em nível de 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente; * = não significativo. ¹Fonte de variação; ²Genótipos; ³Ambiente; ⁴Coefficiente de variação experimental; ⁵Coefficiente de variação genético; ⁶Herdabilidade média; ⁷Razão entre coeficiente de variação genético e coeficiente de variação ambiental.

Uma vez que houve interação GxA significativa para todos os caracteres avaliados, identificamos quais cultivares apresentam desempenho superior em cada ambiente. Conforme os dados apresentados na tabela 3 e Anexos 1, 2, 3 e 4 é possível verificar que para grãos de feijão do tipo carioca a concentração dos microminerais ferro, zinco e cobre variaram de 35,85 (IAC-Apuã, 2019) a 67,74 mg kg⁻¹ de MS (Princesa, águas 2018), de 25,81 (BRSMG Madrepérola, águas 2018) a 12,07 mg kg⁻¹ de MS (BRS Majestoso, águas 2019) e de 2,05 (IAPAR 31, águas 2019) a 11,15 mg kg⁻¹ de MS (IAC-Ybaté, águas 2018), respectivamente.

As cultivares de grão carioca variaram para proteína bruta de 14,97 (IPR Campos Gerais, águas 2019) a 25,72% (SCS Guará, águas de 2019). Enquanto que para as variáveis produtividade de grãos, massa de 100 grãos e aspecto de grãos a amplitude foi de 652,03 (IAPAR 16, águas de 2018) a 5142,83 kg ha⁻¹ (IPR Tangará, inverno de 2019), 14,58 (Carioca 1070, águas de 2018) a 34,01 gramas (IAC Alvorada, inverno de 2019), e nota de 1,50 (BRSMG Madrepérola, águas de 2018) a 4,67 (IAC Ayso, inverno de 2019), respectivamente (Tabela 3 e Anexos 1 e 3). A cultivar BRSMG Madrepérola apresentou excelente nota de aspecto de grãos, nos três ambientes em que foi realizada a avaliação, o que já era de se esperar devido ela ser considerada uma cultivar padrão. Além disso, essa cultivar possui a característica de escurecimento lento do tegumento com o armazenamento (CARNEIRO et al., 2012). Ela também esteve entre as cinco melhores cultivares para a concentração de ferro, zinco na safra das águas de 2018 e águas de 2019.

As cultivares com grãos do tipo preto tiveram variação de 30,53 (IPR Graúna, Inverno 2019) a 71,60 mg kg⁻¹ de MS (IAPAR 20, águas de 2018) para ferro, de 10,94 (IPR Graúna, inverno de 2019) a 28,41 mg kg⁻¹ de MS (BRS Supremo, águas de 2018) para zinco, de 3,43 (IPR Graúna, inverno de 2019) a 12,15 mg kg⁻¹ de MS (Onix, águas de 2018) para cobre, enquanto para proteína bruta as variações foram de 12,27 (IPR Graúna, inverno de 2019) a 23,66% (Capixaba precoce, seca de 2019). Ao se considerar as variáveis produtividade de grãos e massa de 100 grãos a amplitude para cultivares de grãos pretos foi de 892,58 (Minuano, águas de 2018) a 4792,52 kg ha⁻¹ (Milionário 1732, inverno de 2019), e 15,41 (Macotaço, águas de 2018) a 29,11 gramas (Ouro Negro, seca de 2019), respectivamente. Ao se considerar a variável aspecto de grãos a amplitude foi de 1,50 (Ouro Negro, seca e águas de 2019) à nota 3,40 (Meia noite, seca de 2019).

Entre as cultivares de feijão do tipo carioca, a Pérola e a BRS Madrepérola se destacam. Lançada pela Embrapa em 1994, Pérola é uma das cultivares mais plantadas no território brasileiro. Observou-se para esta cultivar elevados valores de produtividade e massa de 100 grãos, além de elevada qualidade culinária dos grãos (Tabela 3 e Anexos 1, 2, 3 e 4). Contudo,

ela apresenta suscetibilidade às principais raças do agente causal de antracnose e ferrugem nas regiões produtoras de feijão no estado de Minas Gerais (OLIVEIRA, 2012). A cultivar BRS Madrepérola apresentou massa de 100 grãos em torno de 25 gramas e nota de aspecto de grão de 1,5, características preferidas pelos consumidores, com tegumento de grãos claros e que se mantém por mais tempo em condições de armazenamento (CARBONELL et al., 2010; CARNEIRO et al., 2012).

A cultivar Ouro Negro, lançada em 1991 (ARAUJO et al., 1991) é utilizada como padrão para aspecto de grãos de feijão do tipo preto. Além disso, segundo Melo et al., (2006) apresenta resistência à algumas raças de *Colletotrichum lindemuthianum* (Antracnose), uma das principais doenças que ocorrem na cultura do feijão (NUNES et al., 2021), e *Uromyces appendiculatus* (Ferrugem). Enquanto a cultivar Meia noite, lançada a 30 anos, não apresenta padrão desejável para aspecto de grãos (notas superiores a 3), mas boa qualidade nutricional, obtendo as maiores concentrações de ferro, zinco e proteína bruta (Tabela 4). A cultivar IPR Graúna, lançada no mercado consumidor no ano de 2002, obteve o pior desempenho na safra do inverno de 2019 em relação a qualidade nutricional, concentração de minerais e proteína bruta (Tabela 4).

As estimativas de correlações entre caracteres nutricionais, tecnológicos e de componentes de produtividade podem nortear estratégias para o desenvolvimento de cultivares de feijão com alta concentração de minerais e com boas características agronômicas. Correlações de Pearson positivas foram verificadas entre os microminerais ferro e zinco ($r=0,548$), ferro e cobre ($r=0,661$), e zinco e cobre ($r=0,394$) (Tabela 4). A proteína bruta também teve correlação positiva com os minerais ferro, zinco e cobre, com valores de 0,404, 0,652 e 0,253, respectivamente. Correlações de média a alta magnitude foram verificadas por Steckling et al. (2017) entre os microminerais ferro e zinco ($r=0,641$) e ferro e cobre (0,729) ao estudar 14 linhagens de feijões dos ensaios de valor de cultivo e uso do Rio Grande do Sul. Estimativas de correlação descritas entre ferro e zinco em grãos de feijão variam de moderada (PEREIRA et al., 2014; MORAIS et al., 2016) a alta magnitude (HOSSAIN et al., 2013). Correlação negativa e significativa foi observada entre ferro e aspecto de grão ($r=-0,312$), indicando facilidade no melhoramento simultâneo destes caracteres.

Tabela 3 - Resumo do teste de agrupamento de médias Scott Knott, a 5% de probabilidade de erro, contendo as informações das 5 melhores cultivares ranqueadas em cada ambiente avaliado, para as variáveis concentração de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas nas safras das águas de 2018, da seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

ÁGUAS 2018													
CARIOCA													
Fe		Zn		Cu		PB		PROD		M100G		AG	
Princesa	67,7	IAC-Maravilha	25,9	IAC-Ybaté	11,2	IAC-Maravilha	24,4	IAC Votuporanga	2740,9	Pérola	25,3	BRSMG Madrepérola	1,5
BRS Majestoso	67,2	BRSMG Madrepérola	25,8	IPR 139	11,0	BRSMG Talismã	24,3	BRS Pontal	2420,4	IAC Formoso	24,6	IAC-Maravilha	1,8
BRSMG Madrepérola	66,9	IAPAR 57	25,6	Rio doce	10,9	BRS Horizonte	23,9	IAC-Ybaté	2414,3	BRS Ametista	24,0	IAC Alvorada	1,8
IPR Tangará	64,9	Porto Real	25,3	IPR Tangará	10,8	BRS Cometa	23,2	IAC-Apuã	2389,4	IAC-Apuã	24,0	BRS Pontal	2,1
IAC Formoso	64,0	IAPAR 80	25,0	IAC Milênio	10,8	IPR Curió	23,1	IAC Carioca	2315,8	IPR Tangará	24,0	Pérola	2,2
PRETO													
Fe		Zn		Cu		PB		PROD		M100G		AG	
IAPAR 20	71,6	BRS Supremo	28,4	Onix	12,2	IAPAR 8-Rio Negro	24,1	VP 33	2232,2	IAC Tunã	22,2	IAC Tunã	1,5
BRS Valente	71,4	Preto Uberabinha	27,1	IAPAR 8-Rio Negro	11,5	BRS Supremo	24,0	Milionário 1732	2214,3	Diamante Negro	21,8	BR 1- Xodó	1,5
BRS Supremo	69,5	Onix	26,4	IAPAR 44	11,4	Preto Uberabinha	23,9	IPR Tuiuiu	2184,9	VP 22	21,7	Diamante Negro	1,6
Meia Noite	66,4	Meia Noite	25,8	IAPAR 20	11,4	Meia Noite	23,2	Pampa	2157,2	IAC- Diplomata	21,4	VP 22	1,7
Rio Tibagi	66,1	BRS Expedito	25,7	BRS Expedito	11,3	Moruna	23,2	BR 1- Xodó	2136,3	IPR Uirapurú	20,8	IPR Inhambu	1,7
SECA 2019													
CARIOCA													
Fe		Zn		Cu		PB		PROD		M100G		AG	
Rudá	59,6	IAPAR 16	19,5	IAPAR 16	8,5	SCS Guará	25,7	IAC Formoso	3996,7	IAC Alvorada	34,0	IAC Alvorada	1,5
IAC Alvorada	58,9	Rio doce	19,4	Porto Real	8,3	IAC-Maravilha	24,5	BRS Estilo	3725,9	IAC Milênio	31,7	IAC Milênio	1,5
Rio doce	58,3	IAC - Carioca Akytá	18,8	IAC-Ybaté	8,3	Princesa	23,1	IPR Bem-te-vi	3597,9	IAC Formoso	31,4	BRSMG Madrepérola	1,5
Princesa	57,1	BRS Estilo	18,6	IAC Alvorada	8,1	BRSMG Talismã	23,1	IAC Carioca	3591,5	BRS Majestoso	30,0	BRS Estilo	2,0
BRS Notável	56,5	IAPAR 80	18,6	SCS Guará	7,9	IPR Colibri	22,3	IPR Campos Gerais	3585,2	BRS Ametista	29,8	Pérola	2,0
PRETO													
Fe		Zn		Cu		PB		PROD		M100G		AG	
IAPAR 8-Rio Negro	62,8	Rio Tibagi	20,6	Rio Tibagi	9,7	Capixaba Precoce	23,7	IPR Inhambu	4192,0	Ouro Negro	29,1	Ouro Negro	1,5
IPR Tiziu	59,9	FT 120	20,2	Onix	9,1	Meia Noite	23,6	IRÁÍ	4185,3	VP 22	28,9	VP 22	1,5
Rio Tibagi	59,7	Onix	20,0	IAPAR 20	8,9	FT 120	23,5	BRS Expedito	3939,6	Diamante Negro	28,7	IAC Tunã	1,5
BRS Expedito	59,4	BR-2 Grande Rio	20,0	IAPAR 44	8,4	BR 6-Barriga verde	23,3	BR 1- Xodó	3817,3	BRS Grafite	28,2	Diamante Negro	1,7

Diamante Negro	59,0	Meia Noite	19,7	IAPAR 8-Rio Negro	8,4	Xamego	23,0	IPR Gralha	3729,6	BRS Expedito	27,9	IPR Tiziu	1,7
INVERNO 2019													
CARIOCA													
Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G	AG							
SCS Guará	57,6	BRS Cometa	19,2	Rudá	7,7	IAC-Maravilha	22,2	IPR Tangará	5142,83	IAC Milênio	28,1	BRSMG Madrepérola	1,5
Rudá	52,6	IAC-Maravilha	19,0	Princesa	7,3	BRS Cometa	20,6	IPR Campos Gerais	4718,52	IAC Formoso	27,7	IPR Siriri	2,2
Porto Real	49,9	SCS Guará	18,8	IAC-Ybaté	6,0	BRSMG Talismã	20,4	Pérola	4638,49	IPR Tangará	27,0	BRSMG Talismã	2,3
Rudá R	49,5	IPR Saracura	18,7	Rio doce	5,8	SCS Guará	20,1	BRS Notável	4371,48	BRS Notável	26,8	IAC Milênio	2,3
BRSMG Pioneiro	49,5	Rudá	18,6	BRSMG Talismã	5,8	IAC Alvorada	19,8	BRS Ametista	4336,71	IPR Andorinha	26,3	IAC Formoso	2,3
PRETO													
Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G	AG							
BR-2 Grande Rio	57,6	BRS Supremo	21,1	BR-2 Grande Rio	6,9	Meia Noite	21,6	IPR Tuiuiú	5211,81	BRS Campeiro	25,9	Ouro Negro	1,5
Rico 1735	56,5	Macotaço	20,5	IAPAR 20	6,9	Xamego	21,3	Milionário 1732	4792,52	IAC Tun	25,4	IAC Tun	1,8
FT 120	54,7	Meia Noite	20,0	Rico 1735	6,8	FT 120	21,0	Rico 1735	4644,72	BRS Grafite	24,9	BRS Grafite	2,0
Meia Noite	53,5	BRS Valente	19,7	Rio Tibagi	6,6	Varre-Sai	20,6	BRS Campeiro	4619,37	IAC-Una	24,6	IAC-Una	2,0
Xamego	52,6	BR-2 Grande Rio	19,5	IAPAR 65	6,5	Milionário 1732	20,5	IPR Chopin	4619,34	Minuano	24,4	BRS Agreste	2,0
ÁGUAS 2019													
CARIOCA													
Fe	Zn	Cu	PB										
SCS Guará	57,7	Porto Real	18,4	BRSMG Talismã	5,6	IAC-Maravilha	24,5						
Porto Real	57,7	IAC-Maravilha	17,6	Porto Real	5,4	FT bonito	24,3						
Princesa	55,2	Carioca 80	17,4	Princesa	5,4	BRS Ametista	23,4						
Rudá R	52,9	IAPAR 57	17,1	IAPAR 80	5,4	IAPAR 57	23,1						
BRSMG Madrepérola	52,5	Carioca 1030	17,1	Rio doce	5,3	BRS Pontal	23,1						
PRETO													
Fe	Zn	Cu	PB										
Capixaba Precoce	53,8	IAPAR 8-Rio Negro	17,6	Rio Tibagi	6,9	Moruna	23,4						
BRS Valente	51,1	Onix	17,3	Capixaba Precoce	6,9	FT 120	23,2						
Ouro Negro	50,9	Preto Uberabinha	17,2	IPR Chopin	6,4	IAC Tun	23,1						
BRS Campeiro	47,0	IPR Uirapurú	17,1	IAPAR 44	6,2	Onix	22,9						
BRS Grafite	46,9	BR-2 Grande Rio	17,0	Milionário 1732	6,1	IAPAR 8-Rio Negro	22,7						

Houve estimativas de correlação significativas, mas de baixa magnitude entre as variáveis produtividade de grãos e massa de cem grãos ($r=0,266$). O mesmo foi observado por outros pesquisadores (ALVARES et al., 2016; RIBEIRO et al., 2017). Isto demonstra, que não basta apenas as cultivares terem alta massa de cem grãos para caracterizar sua produtividade. A variável produtividade de grãos apresentou correlação negativa e significativa com proteína bruta ($r=-0,467$), zinco ($-0,309$) e aspecto de grãos ($-0,319$), indicando certa dificuldade no melhoramento simultâneo destes caracteres.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) para os caracteres de concentração de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), proteína bruta (PB), produtividade de grãos (PROD), massa de cem grãos (M100G) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão para cada ambiente avaliado, águas de 2018, seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

	Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G
Zn	0,548 **	-				
Cu	0,661 **	0,394 **	-			
PB	0,404 **	0,652 **	0,253 **	-		
PROD	0,125 ns	-0,309 **	0,267 **	-0,467 **	-	
P100G	-0,185 ns	-0,392 **	-0,210 *	-0,186 ns	0,266 **	-
AG	-0,312 **	-0,071 ns	-0,264 **	-0,109 ns	-0,319 **	-0,111 ns

** , *Significativo pelo teste t ao nível de 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente; ns= não significativo.

A diversidade genética é pré-requisito determinante para obtenção de ganhos genéticos em programas de melhoramento genético vegetal. A diversidade genética auxilia na escolha de parentais que apresentem complementação gênica. Entretanto, não basta que os genitores sejam divergentes, eles também precisam apresentar médias de magnitude desejável para as características de interesse, evitando assim cruzamentos não promissores.

O agrupamento pelo método UPGMA permitiu a estratificação das 105 cultivares de feijão avaliados em 8 grupos diferentes (Tabela 5, Figura 1). O coeficiente de correlação cofenética do dendrograma foi de 0,97 (significativo a 1% de probabilidade pelo teste t) com distorção de apenas 2,5%, indicando que o dendrograma reflete a matriz de dissimilaridade genética de forma adequada. Os grupos 1, 2, 4 e 5 foram compostos por um único genótipo, IPR Tuiuiú, VC 15, Rudá R e Carioca 1030, respectivamente. Destas cultivares, todas são do tipo carioca, e a VC 15 é uma linhagem desenvolvida pelo programa feijão da UFV. O grupo 3 foi composto por nove cultivares de feijão, do tipo preto e carioca. Neste grupo encontram-se a cultivar Meia noite, a qual não apresenta bom aspecto de grãos com nota superior a 3, assim

como a IAPAR 16. Contudo, a cultivar Meia noite apresentou maiores concentrações de ferro, zinco e proteína bruta que os demais genótipos do grupo.

O grupo 6 foi composto pelas cultivares BR-3 Ipanema e o BRS Campeiro, desenvolvidos pelas instituições Pesagro e Embrapa, respectivamente. O grupo 7 formado por 22 cultivares e o grupo 8 por 68. No grupo 8 encontram-se as cultivares BRSMG Madrepérola e Ouro Negro, as quais são consideradas padrões para aspecto de grãos (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo do agrupamento com base no método de Mojena e valores genotípicos para cada grupo para concentração de ferro (Fe, mg kg⁻¹ de MS), zinco (Zn, mg kg⁻¹ de MS), cobre (Cu, mg kg⁻¹ de MS), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G, g) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão para cada ambiente avaliado, águas de 2018, seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

G ¹	Genótipo		Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G	AG	
1	IPR Tuiuiú		53,3	18,1	6,8	19,8	3705,1	23,2	2,1	
2	VC15		46,9	15,9	5,3	18,8	2995,4	24,0	2,4	
3	BRS Esplendor	IAPAR 81	MÁX.	57,9	20,6	7,2	22,8	3014,5	24,5	4,3
	Diamante Negro	Meia Noite								
	IAC Votuporanga	Princesa								
	IAPAR 16	IPR Curió								
	IPR Uirapurú		MÍN.	46,8	16,1	5,3	18,1	1941,4	20,2	1,8
			MÉD.	52,3	18,1	6,4	20,4	2503,6	22,4	2,9
4	Rudá R		55,0	18,0	6,2	20,9	2266,5	21,8	3,0	
5	Carioca 1030		47,4	18,0	5,4	20,3	2307,3	22,0	2,8	
6	BR-3_Ipanema	BRS Campeiro	MÁX.	50,8	18,7	6,7	21,6	3172,5	24,2	2,2
			MÍN.	48,6	16,9	6,4	20,5	2728,6	19,7	2,0
			MÉD.	49,7	17,8	6,5	21,1	2950,5	21,9	2,1
7	Capixaba Precoce	IPR Tangará	MÁX.	57,2	20,0	8,6	22,6	3458,4	27,8	3,8
	BRS Majestoso	IRAÍ								
	BRS Cometa	BRSMG Talismã								
	Rio doce	IPR Gralha								
		IPR Campos								
	Aporé	Gerais								
	VP 33	IAC Tunã								
	Rico 1735	BRS Esteio								
	IAC-Una	BRS Ametista								
	IAC-Ybaté	IPR Siriri								
Rio Tibagi	IPR Quero-Quero									
IAPAR 44	IAC Milênio	MÍN.	47,3	15,9	5,2	17,8	1896,4	19,3	1,6	
			MÉD.	52,0	17,6	6,7	20,4	2982,3	23,1	2,5
8	Ouro Negro	BR- IPA 10	MÁX.	57,2	20,0	8,6	22,6	3458,4	27,8	3,8
		BR- IPA 11-								
	Pérola	Brígida								
		BR-IPAGRO 1-								
	BRS Valente	Macanudo								
	BRS Grafite	Preto Uberabinha								
BRS Requite	BR-2 Grande Rio	MÍN.	47,3	15,9	5,2	17,8	1896,4	19,3	1,6	

BRS Pontal	BR 1- Xodó								
BRS Supremo	Varre-Sai								
	BRSMG								
BRSMG Pioneiro	Madrepérola								
BRS Expedito	Rico 23								
BRS Estilo	IPR 139								
BRS Notável	IPR Eldourado								
Rudá	IPR Graúna								
Onix	IPR Tiziu								
Xamego	IPR Saracura								
BR 6-Barriga verde	Pampa	MÁX.	58,5	20,9	8,2	23,9	3508,1	27,9	4,6
SCS Guará	IPR Andorinha	MÍN.	44,7	15,5	4,2	17,5	1681,3	18,2	1,5
VP 22	IPR Colibri	MÉD.	51,6	18,1	6,5	20,6	2690,5	22,2	2,5
Milionário 1732	IAC Imperador								
FT 120	Porto Real								
FT Bonito	Minuano								
Carioca 1070	IAC-Aruã								
Moruna	BRS Agreste								
Carioca 80	IAC Ayso								
IAC Carioca	Macotaço								
IAC - Carioca Pyatã	IAC- Diplomata								
IAC - Carioca Akytá	BRS Horizonte								
IAC-Apuã	IAC-Maravilha								
IAC Alvorada	IAPAR 80								
IAC Formoso	Carioca MG								
IAPAR 8-Rio Negro	IPR Chopin								
IAPAR 20	RP 1								
IAPAR 31	VC 17								
IAPAR 57	IPR Inhambu								
IAPAR 65	IPR Bem-te-vi								

¹Grupos formados pelo método de agrupamento UPGMA; *Valores genotípicos médios (MED), mínimos (MÍN) e máximos (MÁX) de cada característica dentro dos agrupamentos com mais de uma linhagem.

O índice genótipo-ideótipo foi utilizado para ranquear e identificar quais as cultivares que se destacam tanto para os caracteres nutricionais, agronômicos e tecnológicos de grãos considerados de maneira individual ou conjunta. Assim, buscou-se identificar genitores para serem cruzados em esquema dialelo parcial, considerando a seleção dos melhores de grãos do tipo carioca, grãos do tipo preto e também considerando os dois tipos de grãos conjuntamente (Tabela 6).

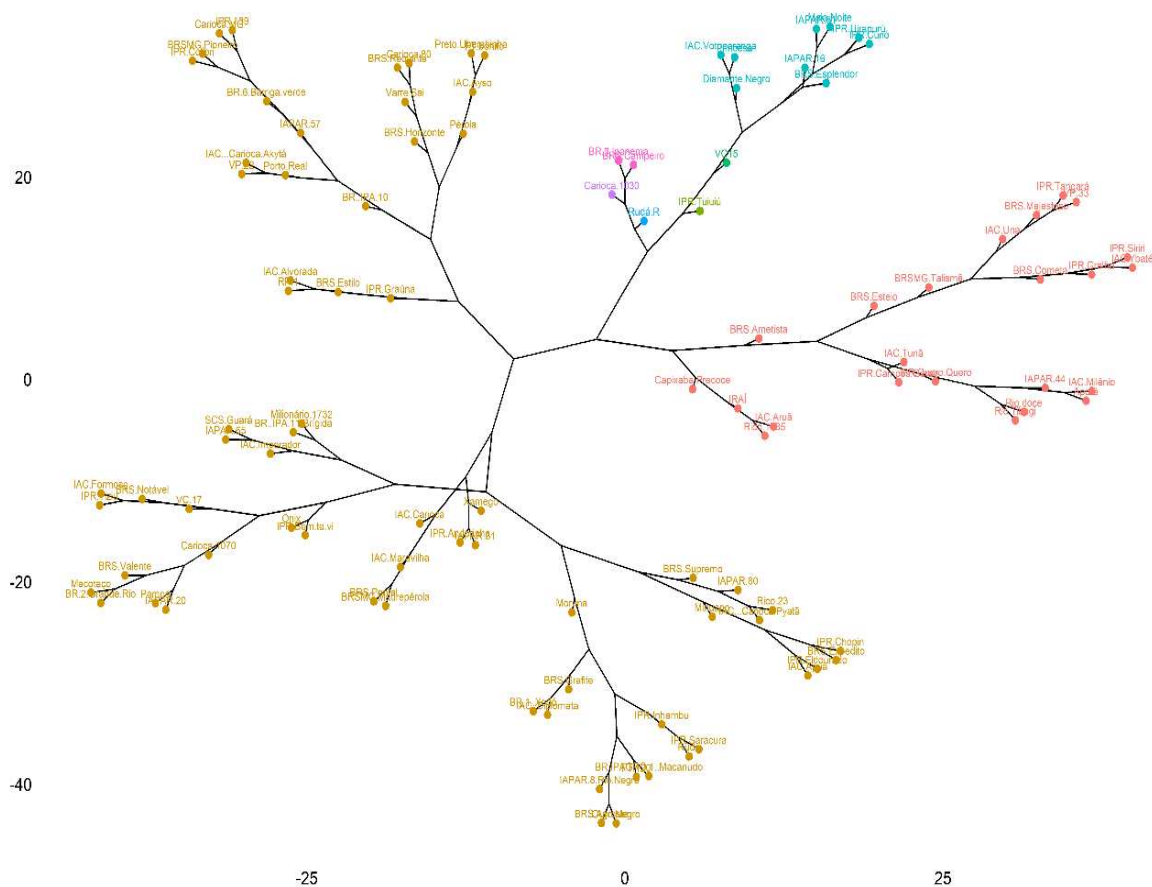


Figura 1- Árvore filogenética da diversidade genética calculado pelo método UPGMA a partir da distância euclidiana média padronizada dos valores genotípicos (cada cor representa um grupo).
 Legenda: *Correlação cofenética: 0,98 (probabilidade significativa de 1% pelo teste de Mantel com 10,000 simulações)

De acordo com a tabela 6, para grãos do tipo carioca o grupo de cultivares que apresentou melhor desempenho para concentração de microminerais e proteína bruta é composto por SCS Guará (2004), BRS Talismã (2002), Porto Real (1998), Rio doce (1987) e IAPAR 80 (1980), enquanto que para as variáveis produtividade de grãos, massa de 100 grãos e aspecto de grãos, as cultivares Pérola, IPR Campos Gerais, IPR 139, IPR Bem-te-vi e IAC Formoso, lançados nos anos de 1994, 2011, 2007, 2014 e 2011 respectivamente, é que se sobressaíram. O cruzamento entre cultivares destes dois grupos pode complementar a qualidade nutricional e tecnológica com a agrônômica. A cultivar Tuiuiú apresentou alta produtividade de grãos, cerca de 3,7 vezes a mais do que a média nacional, além de apresentar nota de aspecto de grãos inferiores a 2,5, o que configura padrão comercial de boa aceitação por parte dos consumidores. Ao se considerar todos os caracteres conjuntamente, o cruzamento envolvendo as cultivares SCS Guará, BRSMG Talismã (2002), Porto Real (1998), BRSMG Madrepérola (2012) e Rio Doce (1987) é promissor (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo do índice de seleção genótipo-ideótipo para grãos cariocas, pretos e considerando os dois tipos conjuntamente para as variáveis concentração de ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu), proteína bruta (PB), produtividade de grãos (PROD), massa de cem grãos (M100G), aspecto de grãos (AG), apenas para qualidade nutricional (FE+ZN+CU+PB), aspectos agrônômicos (PROD+M100G+AG) e para todos os caracteres juntos, das 105 cultivares de feijão avaliadas nas safras das águas de 2018, da seca de 2019, inverno de 2019 e águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

GRÃOS CARIOCA				
Fe	Zn	Cu	PB	Fe + Zn + Cu + PB
SCS Guará	Porto Real	Rudá	BRSMG Talismã	SCS Guará
Porto Real	IAPAR 57	Rio doce	SCS Guará	BRSMG Talismã
Rudá R	IAPAR 80	IAC-Ybaté	BRS Pontal	Porto Real
Rudá	IPR Saracura	SCS Guará	BRS Ametista	Rio doce
BRSMG Pioneiro	Rio doce	BRSMG Talismã	BRS Horizonte	IAPAR 80
PROD	M100G	AG	PROD + M100G+ AG	Todos os caracteres
IPR Campos Gerais	IPR Campos Gerais	BRSMG Madrepérola	Pérola	SCS Guará
IAC Carioca	Pérola	IAC Milênio	IPR Campos Gerais	BRSMG Talismã
IAC Formoso	RP 1	IAPAR 31	IPR 139	Porto Real
RP 1	IAC-Ybaté	Pérola	IPR Bem-te-vi	BRSMG Madrepérola
VC 17	IPR Tangará	IPR 139	IAC Formoso	Rio doce
GRÃOS PRETO				
Fe	Zn	Cu	PB	Fe + Zn + Cu + PB
BR-2 Grande Rio	Onix	Rio Tibagi	Meia Noite	BR-2 Grande Rio
Meia Noite	Meia Noite	IAPAR 20	FT 120	Meia Noite
Rio Tibagi	BR-2 Grande Rio	IAPAR 44	IAPAR 8-Rio Negro	Onix
IAC Ayso	Varre-Sai	Onix	Moruna	IAPAR 8-Rio Negro
Diamante Negro	BRS Expedito	BR-2 Grande Rio	Varre-Sai	BRS Expedito
PROD	M100G	AG	PROD + M100G+ AG	Todos os caracteres
IRAÍ	IAC Tunã	Ouro Negro	BRS Expedito	BRS Expedito
Pampa	BRS Agreste	IAC Tunã	IPR Tiziu	Onix
Milionário 1732	IAC- Diplomata	BRS Grafite	BRS Grafite	BR 1- Xodó
BRS Expedito	BRS Campeiro	BRS Expedito	BRS Agreste	BR-2 Grande Rio
IPR Chopin	BRS Grafite	Diamante Negro	IAC Tunã	Rio Tibagi

Para o desenvolvimento de novos genótipos de cor de tegumento preto que apresentem qualidade nutricional para concentração de ferro, zinco, cobre e proteína bruta, de acordo com a análise de distância genótipo-ideótipo (Tabela 6), deve-se utilizar como genitores BR-2 Grande Rio (1985), Meia Noite (1994), Onix (1992), IAPAR 8-Rio Negro (1983) e BRS Expedito (2007). A complementação de genes para características que conferem produtividade de grãos, maior massa de 100 grãos e qualidade tecnológica (aspecto de grão), pode ser obtida a partir do cruzamento entre as cultivares BRS Expedito (2007), IPR Tiziu (2006), BRS Grafite

(2003), BRS Agreste (2009) e IAC Tunã (2005). Caso a intenção seja obter cultivares que atendam todos os caracteres simultaneamente, recomenda-se o cruzamento das cultivares BRS Expedito (2007), Onix (1992), BR 1- Xodó (1985), BR-2 Grande Rio (1985) e Rio Tibagi (1971).

De modo geral, as cultivares das décadas passadas apresentaram melhor qualidade nutricional, quando comparadas às lançadas mais recentemente, as quais apresentaram melhor desempenho nos caracteres agronômicos como produtividades e massa de 100 grãos. As cultivares de grãos do tipo preto foram, em geral, superiores às do tipo carioca, muito embora, a preferência nacional dos consumidores é por grãos claros.

A utilização de cruzamentos em esquema de dialelo parcial, tendo os grupos estabelecidos com base em análises de diversidade genética e no índice de distância genótipo-ideótipo, é estratégia promissora para ser usada em programas de melhoramento de feijão, pois os alelos fixados para uma determinada característica em um grupo geralmente são diferentes daqueles fixados para a mesma característica no outro grupo, gerando complementaridade entre loci gênicos e, conseqüentemente, resultando na geração de segregados transgressivos superiores.

4 CONCLUSÃO

Há variabilidade para qualidade nutricional, tecnológica e produtividade de grãos das 105 cultivares de feijão lançadas nas últimas seis décadas no Brasil.

Há possibilidade de cruzamentos entre cultivares de feijão que podem ser usados em esquemas dialelos para obtenção de populações segregantes com potencial para o desenvolvimento de novas linhagens com boas características nutricionais, tecnológicas e agronômicas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e bolsas.

5 REFERÊNCIAS

AL-FARTUSIE, F.; MOHSSAN, S. N. Essential trace elements and their vital roles in human body. **Indian Journal of Advances in Chemical Science**, v. 5, n. 3, p. 127-136, 2017.

ALMEIDA, C. P. et al. Genome-wide association mapping reveals race-specific SNP markers associated with anthracnose resistance in carioca common beans. **PLoS ONE**, 16, n. 5, e0251745, 2021.

ALVARES, R. C. et al. Estimation of genetic parameters and selection of high-yielding, upright common bean lines with slow seed-coat darkening. **Genetics and Molecular Research**, v. 4, n. 15, p. 1-10, 2016.

AYENI, D. F. et al. Iron and zinc levels in *Vigna unguiculata* (L.) Walp under varying phosphorus and fixed nitrogen treatment conditions. **Food and Energy Security**, v. 7, n. 3, e00141, 2018.

ARAÚJO, G.A. de A.; VIEIRA, C.; SOUZA FILHO, B.F. de. **“Ouro Negro” nova variedade de feijão-preto para os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: Epamig, 1991. 2p. (Boletim técnico, 1).

BARILI, N. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade e a produtividade de grãos em cultivares de feijão preto recomendadas no Brasil nas últimas cinco décadas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p.1980-1986, 2015.

BARILI, N. M. et al. Genetic progress resulting from forty-three years of breeding of the carioca common bean in Brazil. **Genetic Molecular Research**, v. 15, n. 3, 2016.

CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 281-284, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: Décimo primeiro levantamento, agosto de 2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2018/19 - Décimo Segundo Levantamento**. Available online: . Acesso em: 2023.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4th Edition, Editora UFV: Viçosa, 2012. 514 p.

DELFINI, J. et al. Diversidade de conteúdo nutricional em sementes de germoplasma de feijoeiro-comum brasileiro. **PLoS ONE**, v. 15, e0239263, 2020.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Santo Antônio de Góias, 2005. Disponível em Acesso em 03 de abril de 2012.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 6 de julho de 2020.

FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. **Crops**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 20 de setembro de 2020.

FARIA, L. C. et al. Genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. **Field Crops Research**, v. 142, n. 3, p. 68-74, 2013.

GOMES, F. P. **O índice de variação, um substituto vantajoso do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1991. 4p. Circular técnica, 178.

HOSSAIN, K. G. et al. Interdependence of genotype and growing site on seed mineral compositions in common bean. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 12, n. 1, p. 11-20, 2013.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde, Gotha: Verlag Justus Perthes**. Wall-map 150cmx200cm. 1928.

LOVATO, F. et al. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal Food Technology**, v. 21, e2017068, 2018.

LÓPEZ-MORALES, D. et al. Impact of agronomic biofortification with zinc on the nutrient content, bioactive compounds, and antioxidant capacity of cowpea bean (*Vigna unguiculata* L. Walpers). **Agronomy**, v. 10, e1460, 2020.

MELO, L. C. et al. **BRS Estilo: cultivar de grão tipo comercial carioca, com arquitetura de planta ereta associada com alto potencial produtivo**. Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

MORAIS, N. M. et al. Selection of common bean land cultivars based on agronomic performance, cooking time, and mineral concentration. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1255-1266, 2016.

Nunes, M. P. B. A. et al. Relationship of *Colletotrichum lindemuthianum* races and resistance loci in the *Phaseolus vulgaris* L. genome. **Crop Science**, v. 61, n. 1, p. 3877-3893, 2021.

OLIVEIRA, D. G. et al. Genotypic gain with simultaneous selection of production, nutrition, and culinary traits in cowpea crosses and backcrosses using mixed models. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-11, 2017.

OLIVEIRA, D. S. V. et al. Adaptability and stability of the zinc density in cowpea genotypes through GGE-Biplot method. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 783-791, 2017.

GOUVEIA, C. S. S. et al. Nutritional and mineral variability in 52 accessions of common 12 bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) from Madeira Island. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, n. 1, p. 317-329, 2014.

PEREIRA, H. S. et al. Genetic variability for iron and zinc content in common bean lines and interaction with water availability. **Genetic and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 6773-6785, 2014.

RIBEIRO, N. D. et al. Avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais. **Científica**, v. 42, n. 2, p.178-186, 2014.

RIBEIRO, N. D. et al. Experimental precision of grain yield components and selection of superior common bean lines. **Euphytica**, v. 213, n. 290, p.1-11, 2017.

RIBEIRO, N. D. et al. Seleção de genótipos de feijoeiro com maiores concentrações de macro e microminerais nos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02757, 2022.

SILVA, V. M. et al. Agronomic biofortification of cowpea with zinc: variation in primary metabolism responses and grain nutritional quality among 29 diverse genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 378-387, 2021.

SINGH, U. et al. Biofortification: introduction, approaches, limitations, and challenges. In: SINGH, U. et al. **Biofortification of food crops**. Jobner: Springer, 2016. 492p.

STECKLING, S. M. et al. Genetic diversity and selection of common bean lines based on technological quality and biofortification. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.

TAVARES, T. C. O. et al. Divergência genética entre cultivares de feijão comum cultivados no estado do Tocantins. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 76-82, 2018.

TERRA, F. S. A. et al. Produtividade e qualidade dos grãos de cultivares de feijoeiro cultivado na safra das águas e de inverno. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 118, n. 2, p. 1-7, 2019.

OLIVEIRA, B. M. **Potencial de linhagens de feijão preto oriundas da população “Ouro Negro” x “Meia noite”**. 2012. 63 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VAN DER STRAETEN, D. et al. Multiplying the efficiency and impact of biofortification through metabolic engineering. **Nature communications**, v. 11, e5202, 2020.

ANEXO 1 – Valores médios dos caracteres concentração de ferro (Fe, mg kg⁻¹ de MS), zinco (Zn, mg kg⁻¹ de MS), cobre (Cu, mg kg⁻¹ de MS), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G, g) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas na safra das águas de 2018, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

	Cultivar	Tipo	Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G	AG
1	Capixaba Precoce	P	59,84e	22,78d	7,70a	21,46c	1612,75b	17,16e	2,33d
2	Ouro Negro	P	63,74c	22,43d	8,25a	22,57c	1396,20b	20,54c	1,75e
3	Pérola	C	58,14f	21,05e	9,90a	22,17c	1683,02b	25,27a	2,17d
4	BRS Valente	P	71,42a	22,74d	9,50a	21,74c	1843,45a	18,51d	2,42d
5	BRS Campeiro	P	57,42f	21,83d	9,25a	22,16c	2034,18a	19,80c	1,92e
6	BRS Grafite	P	51,24h	19,67f	10,00a	19,88e	1876,37a	20,64c	1,75e
7	BRS Requite	C	59,14e	20,78e	9,70a	21,70c	1676,25b	18,68d	2,67d
8	BRS Pontal	C	63,04c	20,58e	8,80a	22,50c	2420,38a	21,82c	2,08e
9	BRS Majestoso	C	67,24b	22,79d	9,50a	22,02c	1664,53b	22,44b	2,67d
10	BRS Supremo	P	69,50a	28,41a	9,60a	23,97a	1456,85b	19,44d	2,42d
11	BRSMG Pioneiro	C	63,39c	20,92e	10,65a	22,01c	1300,73b	18,31d	2,83c
12	BRS Esplendor	P	61,74d	24,48c	10,75a	22,62c	1216,98c	17,29e	2,17d
13	BRS Cometa	C	59,69e	22,55d	10,40a	23,18b	1152,87c	19,91c	2,67d
14	BRS Expedito	P	59,58e	25,70b	11,30a	22,77b	1800,93a	20,76c	1,83e
15	BRS Estilo	C	57,69f	21,46d	10,50a	21,10d	1665,58b	23,20b	2,17d
16	BRS Notável	C	63,79c	22,79d	9,65a	21,40c	1375,47b	21,50c	3,00c
17	Rio doce	C	61,34d	23,49c	10,85a	21,51c	1830,92a	18,37d	3,00c
18	Rudá	C	60,09e	20,79e	9,85a	19,77e	1660,83b	18,86d	3,00c
19	Diamante Negro	P	64,35c	23,56c	10,95a	22,48c	1665,02b	21,79c	1,58e
20	Onix	P	57,79f	26,45b	12,15a	22,66c	1705,62b	18,46d	1,92e
21	Aporé	C	60,19e	21,08e	8,35a	21,35d	1991,73a	21,40c	3,67b
22	Xamego	P	59,24e	22,49d	9,80a	20,23e	2117,13a	16,76e	2,00e
23	BR 6-Barriga verde	P	61,69d	20,90e	9,70a	21,60c	2065,77a	18,74d	2,08e
24	SCS Guará	C	60,29e	22,77d	10,20a	22,10c	1622,55b	19,65d	2,42d
25	VP 33	P	64,04c	22,81d	9,00a	21,96c	2232,17a	17,90d	3,00c
26	VC15	C	54,14g	19,79f	8,20a	19,66e	2113,47a	20,15c	2,50d
27	VP 22	P	63,04c	22,91d	8,85a	21,96c	1353,47b	21,70c	1,67e
28	Milionário 1732	P	57,64f	21,28e	9,35a	20,89d	2214,28a	16,01f	2,33d
29	Rico 1735	P	56,59f	21,63d	9,60a	21,09d	1821,33a	16,40f	2,50d
30	FT 120	P	58,99e	22,36d	9,70a	21,90c	1650,23b	17,01e	2,17d
31	FT bonito	C	58,14f	22,58d	9,30a	22,42c	1177,42c	18,78d	2,67d
32	Carioca 1070	C	52,29h	22,55d	7,65a	22,94b	790,23c	14,58f	3,67b
33	Carioca 1030	C	59,50e	22,64d	8,20a	22,11c	1395,85b	18,04d	2,67d
34	Moruna	P	62,92c	25,45b	9,40a	23,18b	1221,63c	18,67d	2,50d
35	Carioca 80	C	56,94f	22,93d	8,35a	22,62c	1438,80b	17,40e	2,92c
36	IAC Carioca	C	54,14g	19,49f	9,10a	19,82e	2315,83a	18,98d	2,75c
37	IAC-Una	P	60,12e	23,01d	8,85a	22,75b	1599,45b	18,40d	1,83e
38	IAC - Carioca Pyatã	C	58,04f	24,86b	8,05a	21,88c	1643,82b	20,74c	2,67d
39	IAC - Carioca Akytã	C	57,14f	22,12d	8,25a	21,51c	1782,53a	18,15d	2,92c
40	IAC Votuporanga	C	54,39g	19,17f	8,45a	18,47e	2740,87a	22,80b	3,08c
41	IAC-Ybaté	C	56,84f	23,21c	11,15a	20,59d	2414,32a	23,77a	3,08c
42	IAC-Apuã	C	53,39h	18,60f	10,35a	20,18e	2389,35a	24,04a	2,75c
43	IAC Alvorada	C	61,97d	22,49d	10,70a	21,81c	1539,02b	22,13b	1,83e
44	IAC Formoso	C	63,99c	20,69e	10,30a	22,82b	2007,88a	24,59a	2,25d
45	Rio Tibagi	P	66,14b	25,57b	11,15a	22,03c	1892,22a	16,99e	2,00e
46	IAPAR 8-Rio Negro	P	59,59e	25,21b	11,45a	24,14a	1329,40b	16,40f	2,00e
47	IAPAR 16	C	58,84e	21,31e	10,45a	20,53d	652,03c	18,03d	4,50a
48	IAPAR 20	P	71,60a	21,14e	11,35a	21,10d	1918,13a	16,36f	2,33d
49	IAPAR 44	P	60,14e	21,91d	11,35a	21,71c	1553,73b	16,37f	2,50d
50	IAPAR 31	C	55,09g	20,19e	7,30a	21,19d	1444,85b	17,43e	4,50a

51	IAPAR 57	C	51,88h	25,63b	8,85a	22,91b	942,72c	19,34d	3,83b
52	IAPAR 65	P	61,34d	24,62c	10,75a	20,53d	1930,18a	17,58e	1,92e
53	IPR Tangará	C	64,94c	23,39c	10,80a	21,45c	1592,50b	24,01a	2,33d
54	IPR Tuiuiú	P	57,19f	22,66d	9,90a	20,13e	2184,90a	20,56c	1,92e
55	BR- IPA 10	P	63,59c	25,20b	10,45a	21,44c	1700,95b	16,38f	2,17d
56	BR- IPA 11-Brígida	C	57,94f	21,56d	10,55a	20,01e	2210,63a	20,28c	3,00c
57	IRAÍ	P	60,99d	19,97f	10,45a	19,12e	2071,22a	19,56d	1,83e
	BR-IPAGRO 1-								
58	Macanudo	P	58,28f	23,61c	11,05a	21,44c	1332,20b	17,16e	3,08c
59	Preto Uberabinha	P	62,50d	27,10a	10,13a	23,91a	1152,48c	15,81f	2,33d
60	BR-2 Grande Rio	P	64,79c	25,04b	10,95a	21,60c	1356,08b	17,53e	2,50d
61	BR-3 Ipanema	P	59,62e	23,59c	10,45a	23,17b	1945,77a	17,64e	2,00e
62	BR 1- Xodó	P	63,44c	23,66c	9,90a	21,90c	2136,32a	19,22d	1,50e
63	Varre-Sai	P	60,59d	25,33b	9,10a	23,12b	1537,17b	17,07e	2,25d
	BRSMG								
64	Madrepérola	C	66,87b	25,81b	9,95a	22,06c	1357,82b	19,49d	1,50e
65	BRSMG Talismã	C	61,39d	22,07d	10,25a	24,34a	1654,93b	19,08d	2,67d
66	Rico 23	P	52,99h	20,31e	9,50a	20,59d	1541,15b	17,74e	2,33d
67	IPR 139	C	57,42f	21,32e	10,95a	21,86c	1856,60a	22,37b	2,33d
68	IPR Uirapurú	P	51,99h	18,91f	8,45a	19,82e	1932,77a	20,77c	2,00e
69	IPR Gralha	P	57,49f	21,53d	9,85a	20,68d	1602,85b	18,58d	1,92e
70	IPR Eldorado	C	59,68e	22,50d	9,75a	22,37c	1281,10b	20,07c	3,25c
71	IPR Graúna	P	61,24d	23,47c	10,50a	22,49c	1440,02b	18,53d	2,17d
72	IPR Tiziu	P	59,99e	21,65d	10,00a	22,42c	1846,65a	20,41c	1,83e
73	IPR Campos Gerais	C	60,97d	20,63e	9,95a	20,02e	2071,32a	22,07b	2,33d
74	IPR Saracura	C	56,42f	24,58c	8,05a	22,85b	1272,22b	18,33d	2,58d
75	IAPAR 81	C	58,67e	21,21e	9,90a	20,49d	1789,17a	21,36c	2,42d
76	Pampa	P	62,32d	22,52d	10,75a	19,93e	2157,20a	19,37d	1,92e
77	IAC Tunã	P	62,04d	21,68d	10,15a	22,12c	1404,68b	22,24b	1,50e
78	IPR Andorinha	C	58,47e	23,01d	9,25a	22,58c	1080,60c	19,19d	3,17c
79	IPR Colibri	C	55,89g	21,85d	8,38a	21,85c	853,62c	18,66d	3,17c
80	IAC Imperador	C	56,44f	23,21c	9,30a	22,26c	1303,85b	16,10f	2,67d
81	BRS Esteio	P	59,24e	22,25d	9,90a	20,38d	2044,38a	19,64d	1,75e
82	Meia Noite	P	66,44b	25,80b	10,05a	23,19b	1358,58b	18,52d	3,33c
83	Porto Real	C	63,47c	25,27b	8,95a	22,21c	1216,30c	20,20c	2,42d
84	Mínuano	P	57,39f	22,41d	9,40a	22,17c	892,58c	17,65e	2,25d
85	IAC-Aruã	C	55,27g	20,21e	9,60a	20,48d	1424,68b	18,36d	3,92b
86	BRS Agreste	P	60,14e	21,31e	10,30a	20,13e	1947,77a	20,31c	1,92e
87	IAC Ayso	C	59,87e	23,07d	9,05a	22,01c	1551,07b	18,03d	4,50a
88	Macotaço	P	63,19c	21,21e	9,20a	22,01c	1018,35c	15,41f	3,17c
89	Rudá R	C	62,94c	22,39d	9,85a	22,16c	1421,35b	18,15d	2,92c
90	IAC- Diplomata	P	58,82e	20,17e	9,70a	22,96b	1343,93b	21,41c	2,00e
91	BRS Horizonte	C	56,49f	22,26d	9,55a	23,86a	1464,17b	21,03c	2,92c
92	IAC-Maravilha	C	58,50e	25,89b	9,70a	24,36a	1346,02b	21,03c	1,75e
93	BRS Ametista	C	57,44f	22,39d	10,40a	22,87b	1617,12b	24,04a	2,17d
94	IAPAR 80	C	61,74d	25,03b	9,45a	22,48c	1660,25b	21,28c	3,50c
95	Carioca MG	C	52,59h	20,42e	10,10a	19,66e	2097,50a	18,28d	3,42c
96	Princesa	C	67,74b	21,73d	8,55a	21,71c	1947,75a	17,70e	3,25c
97	IPR Siriri	C	55,14g	20,83e	7,80a	20,03e	2194,25a	19,95c	2,58d
98	IPR Chopin	P	60,79d	19,56f	10,30a	21,00d	2071,78a	19,04d	2,33d
99	RP 1	C	56,19f	18,79f	8,60a	19,57e	1997,30a	23,01b	2,50d
100	VC 17	C	62,17d	20,80e	9,40a	21,09d	1797,57a	22,13b	3,00c
101	IPR Quero-Quero	C	58,67e	20,86e	10,80a	20,48d	1878,22a	20,02c	3,00c
102	IPR Inhambu	P	54,34g	20,98e	10,70a	21,24d	1851,62a	19,95c	1,67e
103	IPR Curió	C	52,59h	23,33c	9,40a	23,11b	817,68c	17,62e	3,00c
104	IPR Bem-te-vi	C	61,37d	21,06e	10,30a	21,04d	1849,67a	20,99c	2,50d
105	IAC Milênio	C	60,52d	21,07e	10,80a	22,42c	1696,22b	23,50a	2,33d

ANEXO 2 – Valores médios dos caracteres concentração de ferro (Fe, mg kg⁻¹ de MS), zinco (Zn, mg kg⁻¹ de MS), cobre (Cu, mg kg⁻¹ de MS), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G, g) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas na safra das seca de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

	Cultivar	Tipo	Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G	AG
1	Capixaba Precoce	P	50,43c	18,57b	6,70c	23,66c	2112,90c	23,02g	2,17e
2	Ouro Negro	P	49,33c	16,27c	5,95c	19,49f	2711,39b	29,11c	1,50f
3	Pérola	C	42,33e	14,72c	6,20c	18,96f	3294,24a	28,66c	2,00e
4	BRS Valente	P	48,78c	17,40c	6,65c	21,52d	2850,42b	24,16f	2,17e
5	BRS Campeiro	P	44,43e	15,07c	6,45c	22,01d	2863,83b	26,96d	1,83e
6	BRS Grafite	P	50,58c	16,84c	7,10b	22,77c	3221,08a	28,18c	1,83e
7	BRS Requite	C	50,18c	16,34c	6,40c	21,13e	2540,80b	24,38f	2,83d
8	BRS Pontal	C	50,91c	18,13b	6,30c	22,31d	2907,30b	28,81c	2,17e
9	BRS Majestoso	C	51,18c	16,16c	6,00c	21,34d	3141,43a	29,97c	2,50d
10	BRS Supremo	P	52,93b	17,23c	5,25c	21,97d	3509,86a	25,16f	2,17e
11	BRSMG Pioneiro	C	53,58b	16,21c	6,40c	18,97f	3246,77a	23,35g	3,33c
12	BRS Esplendor	P	58,68a	19,51a	6,80c	20,74e	3456,77a	22,43g	2,50d
13	BRS Cometa	C	51,53c	17,92b	6,40c	21,12e	2759,32b	27,48d	2,67d
14	BRS Expedito	P	59,43a	19,48a	7,40b	21,41d	3939,60a	27,86d	1,83e
15	BRS Estilo	C	51,08c	18,65b	6,85b	20,02f	3725,92a	29,55c	2,00e
16	BRS Notável	C	56,53a	18,39b	7,65b	21,47d	2816,12b	27,75d	3,17c
17	Rio doce	C	58,27a	19,36a	7,70b	21,25d	3488,14a	24,17f	3,33c
18	Rudá	C	59,58a	18,19b	7,35b	19,78f	3404,73a	22,22h	3,33c
19	Diamante Negro	P	58,98a	17,66b	6,50c	19,85f	2948,32b	28,67c	1,67f
20	Onix	P	53,73b	20,02a	9,10a	21,68d	3150,08a	23,54f	2,33d
21	Aporé	C	45,23e	17,28c	5,41c	21,27d	2244,35c	26,68d	4,17b
22	Xamego	P	56,93a	18,88a	7,95a	22,95c	3342,13a	21,52h	2,50d
23	BR 6-Barriga verde	P	53,11b	17,16c	6,45c	23,31c	2655,97b	25,91e	2,17e
24	SCS Guará	C	55,33b	17,91b	7,85a	25,72a	2877,15b	28,41c	2,33d
25	VP 33	P	49,28c	17,13c	6,10c	21,90d	3259,43a	26,05e	2,50d
26	VC15	C	44,93e	15,74c	5,90c	20,54e	3002,34a	28,59c	2,00e
27	VP 22	P	47,78d	15,73c	6,30c	19,83f	3709,62a	28,86c	1,50f
28	Milionário 1732	P	48,83c	16,81c	6,60c	22,14d	3517,63a	21,21h	2,33d
29	Rico 1735	P	49,10c	17,20c	6,30c	21,72d	3245,34a	22,59g	2,00e
30	FT 120	P	57,73a	20,22a	7,45b	23,54c	2191,48c	20,46h	2,33d
31	FT bonito	C	54,11b	16,89c	5,95c	21,03e	2927,19b	28,48c	2,17e
32	Carioca 1070	C	46,53d	16,05c	6,35c	20,62e	2104,39c	24,74f	3,00c
33	Carioca 1030	C	42,68e	16,41c	5,00c	19,91f	3182,77a	26,48e	2,67d
34	Moruna	P	55,21b	18,31b	7,15b	21,88d	2667,81b	27,25d	1,83e
35	Carioca 80	C	46,13d	15,76c	5,25c	19,52f	3320,44a	25,53e	2,67d
36	IAC Carioca	C	47,28d	15,46c	5,90c	19,26f	3591,46a	23,14g	3,17c
37	IAC-Una	P	53,51b	16,50c	5,45c	20,11e	3299,46a	27,06d	2,00e
38	IAC - Carioca Pyatã	C	44,23e	16,46c	5,40c	18,84f	2782,18b	27,39d	2,67d
39	IAC - Carioca Akytá	C	48,43c	18,76b	6,35c	20,11e	3199,56a	24,36f	2,83d
40	IAC Votuporanga	C	47,16d	15,85c	5,10c	18,09f	2933,33b	28,11c	3,67c
41	IAC-Ybaté	C	51,68c	17,84b	8,30a	20,89e	2877,81b	27,86d	3,50c
42	IAC-Apuã	C	45,93d	16,28c	6,15c	19,12f	3400,44a	29,03c	3,33c
43	IAC Alvorada	C	58,88a	18,08b	8,05a	21,76d	3227,66a	34,01a	1,50f
44	IAC Formoso	C	52,83b	17,84b	6,95b	19,95f	3996,72a	31,36b	2,17e
45	Rio Tibagi	P	59,73a	20,55a	9,68a	21,36d	3199,81a	22,10h	2,17e
46	IAPAR 8-Rio Negro	P	62,81a	19,45a	8,35a	22,72c	3093,32a	21,66h	2,00e
47	IAPAR 16	C	52,18b	19,46a	8,50a	20,84e	1789,70c	25,90e	4,50a
48	IAPAR 20	P	56,38b	17,65b	8,90a	20,28e	3320,12a	22,13h	2,17e
49	IAPAR 44	P	52,94b	17,25c	8,40a	21,18d	2991,40a	21,73h	2,50d
50	IAPAR 31	C	44,68e	16,98c	5,00c	20,49e	2243,15c	24,22f	4,50a
51	IAPAR 57	C	44,48e	18,40b	5,65c	21,46d	2065,45c	27,47d	4,00b

52	IAPAR 65	P	55,83b	19,04a	8,15a	20,89e	3127,99a	21,81h	2,33d
53	IPR Tangará	C	51,38c	18,23b	7,10b	20,60e	3129,73a	28,29c	2,33d
54	IPR Tuiuiu	P	56,93a	17,57b	7,10b	20,26e	3718,46a	25,78e	2,17e
55	BR- IPA 10	P	57,08a	18,91a	7,25b	22,03d	2896,65b	23,78f	2,00e
56	BR- IPA 11-Brígida	C	51,88c	17,32c	6,70c	20,32e	3210,17a	24,94f	3,33c
57	IRAÍ	P	53,26b	16,79c	7,20b	22,09d	4185,32a	25,13f	2,00e
58	BR-IPAGRO 1- Macanudo	P	48,13c	17,63b	7,50b	21,76d	2445,83c	23,32g	2,33d
59	Preto Uberabinha	P	56,98a	17,25c	6,40c	21,13e	3419,94a	22,53g	2,33d
60	BR-2 Grande Rio	P	55,93b	19,99a	7,50b	22,55c	2588,13b	22,85g	2,33d
61	BR-3 Ipanema	P	50,73c	17,96b	6,15c	22,66c	2888,74b	22,88g	2,17e
62	BR 1- Xodó	P	55,58b	18,10b	7,05b	21,88d	3817,30a	25,62e	2,00e
63	Varre-Sai	P	51,93c	18,96a	7,05b	22,21d	2852,51b	23,00g	2,17e
64	BRSMG Madrepérola	C	49,78c	17,47b	7,05b	21,82d	2442,71c	28,11c	1,50f
65	BRSMG Talismã	C	51,91c	16,72c	6,65c	23,12c	2397,64c	27,54d	2,00e
66	Rico 23	P	56,08b	15,09c	6,00c	21,53d	3164,41a	22,00h	2,00e
67	IPR 139	C	51,18c	16,75c	7,00b	21,54d	3304,74a	28,75c	2,00e
68	IPR Uirapurú	P	47,93c	14,83c	4,90c	19,18f	3014,06a	27,21d	2,00e
69	IPR Gralha	P	47,18d	16,39c	5,20c	19,99f	3729,58a	25,68e	1,83e
70	IPR Eldourado	C	54,53b	17,38c	5,65c	20,66e	2741,66b	26,97d	3,17c
71	IPR Graúna	P	55,43b	18,01b	7,50b	21,04e	3360,85a	27,33d	1,83e
72	IPR Tiziu	P	59,94a	16,64c	8,10a	18,56f	3659,68a	27,09d	1,67f
73	IPR Campos Gerais	C	55,80b	17,70b	7,35b	18,75f	3585,22a	26,33e	2,67d
74	IPR Saracura	C	47,43d	17,98b	5,85c	19,12f	2910,38b	27,30d	2,00e
75	IAPAR 81	C	49,83c	17,75b	7,80b	20,83e	3054,88a	28,50c	2,00e
76	Pampa	P	54,58b	18,40b	7,25b	20,91e	3718,32a	24,30f	2,00e
77	IAC Tunã	P	53,03b	15,98c	7,00b	20,92e	3010,14a	27,49d	1,50f
78	IPR Andorinha	C	42,38e	16,28c	6,65c	20,16e	2612,38b	27,63d	2,83d
79	IPR Colibri	C	48,28c	17,73b	7,65b	22,32d	1506,29c	25,03f	3,50c
80	IAC Imperador	C	47,51d	16,95c	7,30b	20,39e	2403,13c	26,72d	2,00e
81	BRS Esteio	P	48,08c	16,32c	5,45c	20,46e	3006,08a	26,44e	2,00e
82	Meia Noite	P	55,38b	19,72a	6,65c	23,62c	2925,85b	23,90f	3,50c
83	Porto Real	C	51,38c	18,00b	8,30a	20,55e	2993,93a	25,68e	2,00e
84	Minuano	P	47,38d	17,72b	6,10c	20,79e	2730,84b	25,18f	2,17e
85	IAC-Aruã	C	51,03c	16,49c	7,05b	21,49d	2651,19b	22,89g	2,00e
86	BRS Agreste	P	47,73d	17,94b	6,70c	22,78c	3273,03a	25,56e	2,17e
87	IAC Ayso	C	43,08e	16,57c	5,90c	20,91e	2447,05c	24,36f	4,50a
88	Macotaço	P	56,28b	18,27b	8,00a	21,69d	1898,18c	21,29h	2,50d
89	Rudá R	C	54,48b	16,59c	5,55c	20,69e	2514,42b	25,67e	3,33c
90	IAC- Diplomata	P	51,58c	16,10c	5,75c	22,78c	3008,86a	25,61e	2,00e
91	BRS Horizonte	C	48,78c	16,90c	6,65c	21,59d	2982,95a	27,69d	2,00e
92	IAC-Maravilha	C	48,58c	17,89b	6,70c	24,48b	2808,40b	26,86d	2,00e
93	BRS Ametista	C	52,88b	17,05c	7,30b	22,21d	2877,32b	29,80c	2,83d
94	IAPAR 80	C	52,93b	18,62b	6,70c	21,60d	3094,06a	27,49d	3,83b
95	Carioca MG	C	43,88e	15,87c	6,90b	19,52f	3134,36a	24,49f	3,67c
96	Princesa	C	57,06a	17,95b	7,35b	23,12c	1708,57c	22,17h	2,50d
97	IPR Siriri	C	47,08d	17,44b	5,75c	21,04e	2365,27c	23,01g	2,33d
98	IPR Chopin	P	51,13c	15,72c	7,05b	19,40f	3485,72a	24,53f	2,50d
99	RP 1	C	50,68c	15,57c	6,15c	21,19d	3498,29a	28,17c	2,83d
100	VC 17	C	51,48c	16,48c	7,10b	19,78f	3074,15a	28,12c	2,67d
101	IPR Quero-Quero	C	55,48b	16,01c	6,35c	19,94f	3396,54a	26,64d	2,67d
102	IPR Inhambu	P	51,53c	17,10c	6,25c	19,75f	4192,02a	24,84f	2,00e
103	IPR Curió	C	48,18c	15,74c	5,35c	19,62f	2317,22c	26,69d	2,50d
104	IPR Bem-te-vi	C	54,33b	16,14c	6,75c	20,06e	3597,89a	27,32d	2,33d
105	IAC Milênio	C	50,38c	15,93c	6,85b	20,77e	3550,14a	31,68b	1,50f

ANEXO 3 – Valores médios dos caracteres concentração de ferro (Fe, mg kg⁻¹ de MS), zinco (Zn, mg kg⁻¹ de MS), cobre (Cu, mg kg⁻¹ de MS), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G, g) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas na safra de inverno de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

	Cultivar	Tipo	Fe	Zn	Cu	PB	PROD	M100G	AG
1	Capixaba Precoce	P	49,90a	19,01a	5,10a	20,06a	3550,98a	22,35b	2,33d
2	Ouro Negro	P	50,80a	18,19a	4,75b	17,45a	3620,59a	24,22b	1,50e
3	Pérola	C	47,78a	16,01b	5,20a	17,48a	4638,49a	24,69a	2,50d
4	BRS Valente	P	44,95b	19,70a	4,65b	19,19a	1597,00a	17,86d	2,83c
5	BRS Campeiro	P	45,60b	16,76b	4,75b	18,43a	4619,37a	25,86a	2,33d
6	BRS Grafite	P	49,28a	15,60b	4,75b	17,14a	3700,95a	24,86a	2,00e
7	BRS Requite	C	44,30b	16,67b	5,00b	19,54a	3326,18a	19,45d	3,00c
8	BRS Pontal	C	45,30b	18,04a	4,05b	18,67a	3978,83a	24,29b	3,00c
9	BRS Majestoso	C	46,50b	17,20a	4,60b	18,01a	3887,72a	24,61a	2,83c
10	BRS Supremo	P	47,80a	21,11a	6,00a	19,53a	2609,45a	20,07c	2,50d
11	BRSMG Pioneiro	C	49,45a	15,98b	4,85b	18,05a	3571,88a	21,10c	3,00c
12	BRS Esplendor	P	47,95a	17,71a	6,35a	18,64a	4369,82a	20,99c	2,33d
13	BRS Cometa	C	45,30b	19,15a	5,00b	20,59a	1776,87a	20,02c	3,33c
14	BRS Expedito	P	51,52a	18,07a	5,85a	19,86a	4340,29a	23,00b	2,00e
15	BRS Estilo	C	41,90b	16,77b	4,75b	18,59a	3451,63a	23,28b	2,83c
16	BRS Notável	C	45,75b	16,55b	5,10a	18,22a	4371,48a	26,77a	3,33c
17	Rio doce	C	45,95b	17,25a	5,80a	19,30a	3754,57a	20,24c	3,33c
18	Rudá	C	52,55a	18,63a	7,65a	17,88a	3819,64a	17,65d	3,00c
19	Diamante Negro	P	49,00a	17,23a	4,60b	18,33a	2842,92a	21,68c	2,17e
20	Onix	P	45,70b	18,90a	5,55a	18,78a	3307,24a	20,20c	2,50d
21	Aporé	C	45,05b	16,71b	4,00b	19,44a	4150,18a	23,93b	3,50b
22	Xamego	P	52,60a	17,97a	6,00a	21,35a	4201,54a	18,94d	2,33d
23	BR 6-Barriga verde	P	48,05a	16,16b	4,45b	18,22a	3345,58a	21,78c	2,33d
24	SCS Guará	C	57,55a	18,78a	5,40a	20,11a	2828,41a	23,62b	2,50d
25	VP 33	P	50,05a	17,63a	3,90b	20,07a	3793,69a	20,60c	3,17c
26	VC15	C	44,95b	14,81b	3,15b	17,22a	3870,34a	23,32b	2,67d
27	VP 22	P	43,55b	16,54b	4,25b	19,75a	1862,90a	21,78c	2,67d
28	Milionário 1732	P	48,90a	18,03a	5,75a	20,54a	4792,52a	20,44c	2,50d
29	Rico 1735	P	56,45a	18,69a	6,75a	19,57a	4644,72a	20,59c	2,33d
30	FT 120	P	54,70a	18,51a	5,85a	21,01a	2379,72a	18,49d	2,50d
31	FT bonito	C	44,60b	15,72b	3,60b	16,68a	3315,49a	22,81b	2,67d
32	Carioca 1070	C	38,55b	17,06a	3,15b	19,55a	2149,30a	17,73d	3,00c
33	Carioca 1030	C	41,13b	15,82b	3,65b	17,99a	2343,19a	21,61c	3,00c
34	Moruna	P	50,35a	18,85a	4,70b	20,05a	2401,17a	18,59d	2,33d
35	Carioca 80	C	42,65b	17,70a	4,10b	18,64a	3006,71a	19,96c	2,83c
36	IAC Carioca	C	43,70b	16,23b	4,60b	17,33a	3655,47a	19,08d	2,83c
37	IAC-Una	P	39,30b	14,84b	3,80b	17,50a	3228,52a	24,64a	2,00e
38	IAC - Carioca Pyatã	C	40,05b	16,46b	3,40b	16,73a	2149,08a	20,95c	3,33c
39	IAC - Carioca Akytá	C	45,20b	18,32a	4,85b	18,61a	2888,53a	21,14c	2,50d
40	IAC Votuporanga	C	40,80b	15,75b	3,60b	16,52a	2801,26a	21,51c	3,67b
41	IAC-Ybaté	C	41,70b	16,39b	5,95a	17,67a	4255,30a	22,51b	3,50b
42	IAC-Apuã	C	35,85b	14,61b	3,75b	17,65a	1562,64a	22,53b	3,83b
43	IAC Alvorada	C	42,10b	17,42a	4,40b	19,79a	1693,04a	24,47a	3,17c
44	IAC Formoso	C	44,20b	15,73b	4,00b	17,92a	3905,12a	27,71a	2,33d
45	Rio Tibagi	P	46,25b	17,06a	6,55a	17,54a	4552,32a	18,71d	2,33d
46	IAPAR 8-Rio Negro	P	46,65b	16,02b	5,60a	19,23a	2987,80a	17,83d	2,17e
47	IAPAR 16	C	43,60b	15,77b	4,85b	17,39a	3351,15a	25,39a	3,83b
48	IAPAR 20	P	44,80b	17,42a	6,90a	17,91a	4619,15a	19,15d	2,67d
49	IAPAR 44	P	44,20b	15,72b	5,44a	18,61a	4350,71a	20,93c	2,83c

50	IAPAR 31	C	43,20b	16,77b	2,55b	18,09a	2458,97a	18,67d	4,00b
51	IAPAR 57	C	48,04a	17,25a	4,68b	18,12a	3768,84a	24,55a	3,17c
52	IAPAR 65	P	48,40a	18,57a	6,45a	17,54a	4398,98a	18,51d	2,50d
53	IPR Tangará	C	45,98b	16,26b	5,20a	17,95a	5142,83a	27,03a	2,50d
54	IPR Tuiuiu	P	51,13a	18,08a	6,05a	18,10a	5211,81a	23,12b	2,17e
55	BR- IPA 10	P	44,60b	18,57a	5,45a	19,48a	2463,51a	17,66d	2,83c
56	BR- IPA 11-Brígida	C	47,35a	16,29b	5,25a	19,07a	3146,12a	22,22b	2,83c
57	IRAÍ	P	50,60a	16,50b	5,65a	19,20a	4072,59a	21,43c	2,33d
58	BR-IPAGRO 1- Macanudo	P	44,25b	17,03a	4,60b	17,67a	4196,37a	20,50c	2,33d
59	Preto Uberabinha	P	46,45b	19,17a	6,10a	19,62a	1981,44a	16,17d	2,83c
60	BR-2 Grande Rio	P	57,55a	19,52a	6,90a	20,48a	3426,59a	21,55c	2,17e
61	BR-3 Ipanema	P	44,95b	18,21a	5,10a	19,31a	2574,68a	18,52d	2,33d
62	BR 1- Xodó	P	48,00a	17,83a	4,70b	18,56a	3326,42a	21,49c	2,17e
63	Varre-Sai	P	44,35b	19,47a	5,25a	20,59a	2147,41a	18,18d	2,50d
64	BRSMG Madrepérola	C	45,60b	17,72a	4,90b	18,05a	3773,98a	24,87a	1,50e
65	BRSMG Talismã	C	48,20a	17,12a	5,80a	20,38a	4079,05a	25,47a	2,33d
66	Rico 23	P	40,45b	16,69b	4,65b	19,25a	1150,14a	16,53d	3,00c
67	IPR 139	C	45,40b	14,11b	4,50b	17,84a	4085,20a	25,68a	2,50d
68	IPR Uirapurú	P	42,10b	16,28b	3,60b	18,12a	2583,19a	18,36d	2,50d
69	IPR Gralha	P	47,25a	16,46b	5,35a	16,33a	4262,09a	21,48c	2,33d
70	IPR Eldourado	C	48,60a	17,68a	4,90b	18,98a	4004,46a	25,08a	2,50d
71	IPR Graúna	P	30,53b	10,94b	3,43b	12,27a	3704,44a	22,37b	2,17e
72	IPR Tiziu	P	45,20b	14,78b	4,30b	17,52a	4551,09a	21,93c	2,17e
73	IPR Campos Gerais	C	45,55b	14,79b	4,30b	14,97a	4718,52a	24,84a	2,83c
74	IPR Saracura	C	41,00b	18,66a	2,65b	18,53a	3294,12a	22,70b	2,67d
75	IAPAR 81	C	44,60b	16,12b	4,75b	18,26a	3719,79a	23,71b	2,67d
76	Pampa	P	48,40a	17,32a	5,90a	18,97a	3953,12a	18,93d	2,33d
77	IAC Tunã	P	42,75b	15,28b	4,00b	18,08a	4284,69a	25,39a	1,83e
78	IPR Andorinha	C	38,30b	16,01b	4,00b	17,97a	4333,90a	26,29a	2,67d
79	IPR Colibri	C	40,20b	17,06a	4,25b	18,03a	3489,09a	24,66a	3,00c
80	IAC Imperador	C	40,60b	17,72a	4,95b	18,56a	3358,21a	20,61c	2,50d
81	BRS Esteio	P	43,05b	15,49b	3,80b	16,92a	3644,08a	20,79c	2,50d
82	Meia Noite	P	53,45a	19,96a	4,95b	21,55a	2628,51a	20,17c	3,00c
83	Porto Real	C	49,85a	18,50a	5,15a	18,01a	4144,45a	23,29b	2,83c
84	Minuano	P	43,55b	17,26a	3,80b	16,02a	4521,68a	24,42a	2,50d
85	IAC-Aruã	C	43,80b	16,98a	4,30b	19,22a	1183,04a	17,72d	3,33c
86	BRS Agreste	P	44,25b	16,00b	4,60b	18,47a	3965,34a	23,69b	2,00e
87	IAC Ayso	C	45,05b	18,41a	5,25a	17,88a	3506,11a	20,61c	4,67a
88	Macotaço	P	48,95a	20,51a	5,80a	18,81a	3498,68a	19,95c	2,50d
89	Rudá R	C	49,45a	17,50a	5,15a	18,86a	2863,68a	21,48c	2,83c
90	IAC- Diplomata	P	49,05a	17,36a	5,25a	18,79a	3979,77a	22,34b	2,00e
91	BRS Horizonte	C	41,35b	16,08b	5,10a	18,76a	2296,78a	23,28b	3,00c
92	IAC-Maravilha	C	45,05b	18,97a	4,50b	22,20a	1234,81a	18,17d	2,67d
93	BRS Ametista	C	43,25b	15,95b	4,95b	18,32a	4336,71a	25,82a	2,67d
94	IAPAR 80	C	47,80a	17,92a	4,50b	18,85a	2879,56a	20,83c	3,33c
95	Carioca MG	C	43,90b	16,09b	5,10a	18,63a	3642,88a	18,70d	3,83b
96	Princesa	C	44,00b	17,48a	7,30a	18,09a	2167,93a	21,95c	3,17c
97	IPR Siriri	C	44,00b	16,45b	3,55b	18,37a	3050,77a	20,29c	2,17e
98	IPR Chopin	P	48,78a	18,30a	4,20b	16,82a	4619,34a	22,66b	2,17e
99	RP 1	C	44,95b	16,03b	4,40b	18,70a	4080,61a	24,60a	2,67d
100	VC 17	C	43,60b	15,38b	4,75b	18,01a	4197,34a	26,14a	2,67d
101	IPR Quero-Quero	C	44,55b	15,54b	4,40b	17,62a	4258,08a	24,19b	2,83c
102	IPR Inhambu	P	44,90b	14,98b	3,80b	16,77a	3506,22a	20,77c	2,17e
103	IPR Curió	C	39,70b	15,51b	4,65b	17,65a	3657,76a	22,35b	2,67d
104	IPR Bem-te-vi	C	43,65b	14,73b	4,20b	17,39a	3705,34a	23,98b	2,33d

105 IAC Milênio C 46,55b 14,44b 5,20a 19,47a 3749,92a 28,10a 2,33d

ANEXO 4 – Valores médios dos caracteres concentração de ferro (FE, mg kg⁻¹ de MS), zinco (ZN, mg kg⁻¹ de MS), cobre (CU, mg kg⁻¹ de MS), proteína bruta (PB, %), produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de cem grãos (M100G, g) e aspecto de grãos (AG) de 105 cultivares de feijão avaliadas na safra das águas de 2019, no município de Coimbra, Minas Gerais, Brasil

	Cultivar	Tipo	Fe	Zn	Cu	PB
1	Capixaba Precoce	P	53,79b	15,82b	6,85a	20,59b
2	Ouro Negro	P	50,94b	14,86c	4,35d	21,44a
3	Pérola	C	50,69b	15,42b	5,25c	22,89a
4	BRS Valente	P	51,09b	15,39b	5,50b	21,02a
5	BRS Campeiro	P	47,04c	14,05c	5,00c	19,26b
6	BRS Grafite	P	46,89c	16,19b	5,75b	21,03a
7	BRS Requite	C	49,54c	14,28c	5,15c	21,02a
8	BRS Pontal	C	49,54c	15,57b	4,55c	23,09a
9	BRS Majestoso	C	45,04d	12,07e	4,35d	19,27b
10	BRS Supremo	P	50,04b	16,85a	4,40d	21,28a
11	BRSMG Pioneiro	C	49,34c	13,57d	4,20d	20,33b
12	BRS Esplendor	P	49,99b	15,58b	4,95c	21,50a
13	BRS Cometa	C	48,04c	15,91b	4,95c	22,13a
14	BRS Expedito	P	50,49b	16,72a	5,40c	21,55a
15	BRS Estilo	C	48,79c	14,64c	3,85d	21,02a
16	BRS Notável	C	49,49c	14,66c	4,10d	21,70a
17	Rio doce	C	52,14b	16,47a	5,25c	20,37b
18	Rudá	C	49,44c	14,68c	5,05c	19,69b
19	Diamante Negro	P	53,19b	14,53c	5,25c	20,80a
20	Onix	P	52,64b	17,25a	5,55b	22,88a
21	Aporé	C	45,24d	12,99d	3,80d	17,50c
22	Xamego	P	50,39b	16,39a	5,35c	20,38b
23	BR 6-Barriga verde	P	50,89b	14,54c	5,50b	21,07a
24	SCS Guará	C	57,69a	15,82b	5,25c	21,50a
25	VP 33	P	48,44c	16,02b	5,00c	20,68b
26	VC15	C	43,44d	13,44d	3,85d	17,64c
27	VP 22	P	45,29d	15,49b	4,80c	19,75b
28	Milionário 1732	P	48,44c	15,12b	6,10a	20,28b
29	Rico 1735	P	55,64a	13,43d	5,50b	19,03c
30	FT 120	P	53,64b	16,52a	4,95c	23,15a
31	FT bonito	C	45,69d	14,98c	4,35d	24,34a
32	Carioca 1070	C	44,04d	15,41b	3,85d	20,59b
33	Carioca 1030	C	46,44c	17,08a	4,90c	21,36a
34	Moruna	P	51,01b	14,99c	5,25c	23,38a
35	Carioca 80	C	52,24b	17,42a	5,00c	22,77a
36	IAC Carioca	C	44,19d	12,53e	4,20d	19,04c
37	IAC-Una	P	48,24c	15,61b	4,60c	21,50a
38	IAC - Carioca Pyatã	C	46,94c	14,85c	3,35d	20,14b
39	IAC - Carioca Akytá	C	46,14c	15,26b	4,05d	21,10a
40	IAC Votuporanga	C	44,99d	13,50d	4,00d	19,46b
41	IAC-Ybaté	C	47,14c	13,67d	4,65c	19,51b
42	IAC-Apuã	C	43,44d	12,62e	3,65d	20,12b
43	IAC Alvorada	C	52,19b	15,42b	5,05c	22,02a
44	IAC Formoso	C	48,24c	13,25d	3,95d	20,44b
45	Rio Tibagi	P	56,84a	16,62a	6,85a	19,79b
46	IAPAR 8-Rio Negro	P	50,49b	17,64a	5,50b	22,67a
47	IAPAR 16	C	48,74c	14,47c	3,65d	20,33b
48	IAPAR 20	P	51,24b	16,98a	5,75b	22,14a

49	IAPAR 44	P	48,99c	15,00c	6,15a	19,68b
50	IAPAR 31	C	42,74d	13,20d	2,05e	20,84a
51	IAPAR 57	C	48,04c	17,13a	4,65c	23,10a
52	IAPAR 65	P	53,59b	15,98b	4,95c	19,82b
53	IPR Tangará	C	49,09c	15,13b	4,65c	20,91a
54	IPR Tuiuiú	P	47,84c	13,97c	4,25d	20,66b
55	BR- IPA 10	P	53,19b	16,35a	5,25c	21,03a
56	BR- IPA 11-Brígida	C	50,09b	15,44b	5,20c	21,23a
57	IRAÍ	P	48,49c	14,37c	4,90c	22,25a
58	BR-IPAGRO 1- Macanudo	P	48,94c	16,37a	5,55b	19,99b
59	Preto Uberabinha	P	56,14a	17,19a	5,75b	21,71a
60	BR-2 Grande Rio	P	55,79a	17,02a	6,00b	20,33b
61	BR-3 Ipanema	P	48,04c	14,89c	5,00c	21,44a
62	BR 1- Xodó	P	53,09b	15,26b	5,85b	22,19a
63	Varre-Sai	P	48,39c	16,85a	4,75c	22,36a
64	BRSMG Madrepérola	C	52,49b	16,57a	4,85c	22,19a
65	BRSMG Talismã	C	52,24b	14,92c	5,60b	22,67a
66	Rico 23	P	43,64d	14,29c	5,15c	22,13a
67	IPR 139	C	51,29b	13,39d	5,00c	18,09c
68	IPR Uirapurú	P	59,49a	17,07a	5,05c	20,80a
69	IPR Gralha	P	50,59b	14,56c	4,55c	21,48a
70	IPR Eldourado	C	46,69c	14,91c	4,90c	19,98b
71	IPR Graúna	P	50,94b	14,22c	5,30c	19,86b
72	IPR Tiziu	P	59,24a	14,88c	4,70c	21,13a
73	IPR Campos Gerais	C	48,54c	13,21d	4,80c	17,35c
74	IPR Saracura	C	44,79d	15,78b	2,55e	21,65a
75	IAPAR 81	C	46,84c	15,33b	4,85c	21,16a
76	Pampa	P	50,94b	12,83e	4,80c	19,80b
77	IAC Tunã	P	49,44c	14,64c	4,60c	23,14a
78	IPR Andorinha	C	40,39d	12,63e	4,25d	17,71c
79	IPR Colibri	C	41,49d	13,79d	3,80d	20,55b
80	IAC Imperador	C	43,64d	15,10b	4,80c	21,28a
81	BRS Esteio	P	54,14b	13,84d	4,25d	18,61c
82	Meia Noite	P	56,39a	16,84a	5,15c	22,67a
83	Porto Real	C	57,69a	18,42a	5,40c	22,84a
84	Minuano	P	48,04c	15,54b	4,75c	18,22c
85	IAC-Aruã	C	51,09b	14,83c	4,70c	21,39a
86	BRS Agreste	P	49,14c	13,63d	4,75c	20,02b
87	IAC Ayso	C	49,39c	15,50b	4,80c	22,30a
88	Macotoço	P	55,89a	14,72c	4,65c	22,30a
89	Rudá R	C	52,94b	15,38b	4,25d	21,82a
90	IAC- Diplomata	P	50,39b	13,37d	5,10c	22,45a
91	BRS Horizonte	C	43,24d	14,01c	4,10d	22,63a
92	IAC-Maravilha	C	51,89b	17,59a	4,85c	24,54a
93	BRS Ametista	C	51,14b	15,37b	4,90c	23,35a
94	IAPAR 80	C	50,09b	16,03b	5,35c	22,49a
95	Carioca MG	C	48,09c	15,18b	4,95c	22,33a
96	Princesa	C	55,24a	16,76a	5,35c	21,44a
97	IPR Siriri	C	43,04d	14,09c	3,70d	18,30c
98	IPR Chopin	P	47,79c	15,22b	6,35a	21,60a
99	RP 1	C	52,29b	16,51a	5,15c	19,74b
100	VC 17	C	48,79c	15,25b	5,15c	19,19b
101	IPR Quero-Quero	C	48,89c	15,05c	4,75c	20,26b
102	IPR Inhambu	P	45,09d	13,98c	4,65c	18,69c
103	IPR Curió	C	50,44b	15,57b	4,55c	21,32a
104	IPR Bem-te-vi	C	50,39b	15,69b	4,60c	19,58b
105	IAC Milênio	C	47,99c	12,15e	4,90c	18,64c

ANEXO 5 – Relação das cultivares de grãos carioca e preto recomendadas pelos principais programas de melhoramento do Brasil, ano de lançamento e instituição de pesquisa de origem.

CULTIVAR	ANO	INSTITUIÇÃO	CULTIVAR	ANO	INSTITUIÇÃO
CULTIVARES GRÃO CARIOCA					
Carioca 1030	1970	IAC	IPR Saracura	2004	IAPAR
Carioca 80	1980	IAC	IPR Colibri	2004	IAPAR
IAC Ayso	1980	IAC	BRS Majestoso	2004	UFLA
IAPAR 80	1980	IAPAR	IAC Votuporanga	2005	IAC
Carioca MG	1982	UFLA	IAC-Ybaté	2005	IAC
IAPAR 16	1986	IAPAR	IAC-Apuã	2005	IAC
IAC Carioca	1987	IAC	BRSMG Pioneiro	2005	UFV
Rio doce	1987	INCAPER	BRS Cometa	2006	EMBRAPA
Carioca 1070	1989	IAC	IPR Eldorado	2006	IAPAR
IAPAR 31	1991	IAPAR	IPR Siriri	2006	IAPAR
Aporé	1992	EMBRAPA	IAC Alvorada	2007	IAC
FT bonito	1992	FT - SEMENTES	IPR 139	2007	IAPAR
IAPAR 57	1992	IAPAR	IPR Tangará	2008	IAPAR
IAC-Maravilha	1993	IAC	BRS Estilo	2009	EMBRAPA
Pérola	1994	EMBRAPA	BRS Notável	2011	EMBRAPA
Rudá	1994	EMBRAPA	BRS Ametista	2011	EMBRAPA
IAC - Carioca Pyatã	1994	IAC	IAC Formoso	2011	IAC
BR- IPA 11-Brígida	1994	IPA	IPR Campos Gerais	2011	IAPAR
Rudá R	1995	UFV	BRSMG Madrepérola	2012	UFV
IAC - Carioca Akytá	1996	IAC	Dama	2013	AG. TERRA ALTA
Princesa	1997	EMBRAPA	IAC Imperador	2013	IAC
IAPAR 81	1997	IAPAR	IAC Milênio	2013	IAC
Porto Real	1998	FT - SEMENTES	IPR Andorinha	2013	IAPAR
IAC- Carioca Aruã	1998	IAC	IPR Curió	2013	IAPAR
BRSMG Talismã	2002	UFLA	VC15	2013	UFV
BRS Requite	2003	EMBRAPA	VC 17	2013	UFV
BRS Pontal	2004	EMBRAPA	IPR Quero-Quero	2014	IAPAR
BRS Horizonte	2004	EMBRAPA	IPR Bem-te-vi	2014	IAPAR
SCS Guará	2004	EPAGRI			
CULTIVARES GRÃO PRETO					
Rico 23	1959	UFV	IAPAR 65	1993	IAPAR
Rio Tibagi	1971	FEPAGRO	Xamego	1993	PESAGRO
IAC Moruna	1978	IAC	Meia Noite	1994	EPAMIG/UFV
Capixaba Precoce	1980	INCAPER	IAC-Una	1994	IAC
IRAÍ	1981	IPAGRO	IPR Uirapurú	2000	IAPAR
Rio Negro	1983	IAPAR	BRS Valente	2001	EMBRAPA
Milionário 1732	1983	UFV/EPAMIG	IPR Graúna	2002	IAPAR
Rico 1735	1983	UFV/EPAMIG	BRS Campeiro	2003	EMBRAPA
BR-2 Grande Rio	1985	PESAGRO	BRS Grafite	2003	EMBRAPA
BR-3 Ipanema	1985	PESAGRO	BRS Supremo	2004	EMBRAPA
BR 1- Xodó	1985	PESAGRO	IPR Chopin	2004	IAPAR
FT 120	1986	FT - SEMENTES	IAC Tunã	2005	IAC
IAPAR 20	1987	IAPAR	BRS Esplendor	2006	EMBRAPA
Pampa	1989	EMBRAPA	IPR Tiziu	2006	IAPAR
Macanudo	1989	IPAGRO	BRS Expedito	2007	EMBRAPA
Barriga verde	1990	EMPASC	IAC- Diplomata	2007	IAC
IAPAR 44	1990	IAPAR	IPR Galha	2007	IAPAR
Preto Uberabinha	1990	IPEACO	BRS Agreste	2009	EMBRAPA
Diamante Negro	1991	EMBRAPA	IPR Tuiuiu	2010	IAPAR

Minuano	1991	EMBRAPA	BRS Esteio	2012	EMBRAPA
Macotaço	1991	EMBRAPA	VP 33	2013	UFV
Varre-Sai	1991	PESAGRO	VP 22	2013	UFV
Onix	1992	EMBRAPA/EMGOPA	IPR Inhambu	2015	IAPAR
BR- IPA 10	1992	IPA	BRS FP403	2017	EMBRAPA
Ouro Negro	1992	UFV/EPAMIG			
