

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

SABRINA COLODETTE ALTOÉ

**CARACTERIZAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS DE FEJJOEIRO
CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: MORFOLOGIA,
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE**

**ALEGRE
2022**

SABRINA COLODETTE ALTOÉ

**CARACTERIZAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS DE FEJJOEIROS
CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: MORFOLOGIA,
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia, na linha de pesquisa em Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcia Flores da Silva Ferreira

Coorientadores: Prof. Dr. Adésio Ferreira
Dr^a. Sheila Cristina Prucoli Posse

ALEGRE
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

SABRINA COLODETTE ALTOÉ

**CARACTERIZAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS DE FEIJOEIROS
CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: MORFOLOGIA,
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE.**

Tese apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Agronomia, na área de concentração em Produção de Plantas Cultivadas e Nativas, pela Comissão Examinadora:

Dr^a. Marcia Flores da Silva Ferreira

Centro de Ciência Agrárias e Engenharias - UFES
Orientadora

Dr. Adésio Ferreira

Centro de Ciência Agrárias e Engenharias - UFES
Coorientador

Dr^a. Sheila Cristina Prucoli Posse

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER
Coorientadora

Dr. José Carlos Lopes

Centro de Ciência Agrárias e Engenharias - UFES
Membro Interno

Dr^a. Ana Paula Candido Gabriel Berilli

Instituto Federal do Espírito Santo – IFES
Membro Externo

Alegre, 26 de agosto de 2022

A minha família.

DEDICO

*“Fé na vida, fé no homem, fé no que virá
Nós podemos tudo, nós podemos mais
Vamos lá fazer o que será”*

(ErasmO Carlos)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me sustentado até aqui e, perante tantas dificuldades, ter sido meu principal instrumento de forças para seguir.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade.

À minha família, que acompanhou minha trajetória de perto e sempre esteve ao meu lado. Agradeço pelas orações diárias, pelas palavras de incentivo e força. Cada detalhe de apoio jamais será esquecido.

À minha cãopanhia Malu, por proporcionar mais amor, alegria e leveza aos meus dias.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa e aos órgãos de fomento que contribuíram para realização desta pesquisa: FAPES e CNPq.

À Prof^a. Dr^a. Marcia Flores da Silva Ferreira, pela orientação, confiança e compreensão.

Ao Prof. Dr. Adésio Ferreira, pela orientação, desafios e paciência.

Ao Dr. José Henrique Soler Guilhen e Dr^a. Sheila Cristina Prucoli Posse, por todo auxílio e apoio para que este trabalho ocorresse.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) e aos técnicos responsáveis, por todo apoio e disponibilidade quando foi preciso, sendo fundamental todo o suporte concedido.

Ao Laboratório de Genética e Melhoramento Vegetal e Biometria e a todos que ajudaram na execução deste trabalho, nas coletas, no plantio, avaliações em campo, em laboratório e nas análises dos dados.

Aos membros da banca de defesa, pela disponibilidade e valiosa contribuição.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SABRINA COLODETTE ALTOÉ, filha de Tino Facini Altoé e Maria da Penha Colodette Altoé, nasceu em Venda Nova do Imigrante, estado do Espírito Santo, no dia 31 de dezembro de 1991.

Em 2010, ingressou-se na Universidade Federal do Espírito Santo, no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, em Alegre-ES, graduando-se em Agronomia, em 2015.

Em março de 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, na Linha de Pesquisa Biotecnologia, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil, obtendo o título de mestre em Produção Vegetal, em 2018.

Em 2018, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na Linha de Pesquisa de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil, com obtenção do título de Doutora em Agronomia em 26 de agosto de 2022.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
Referências	16
CAPÍTULO I	18
RECURSOS GENÉTICOS DE FEJJOEIROS (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	18
CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
Referências	72
CAPÍTULO 2	77
INTERAÇÃO GENÓTIPO POR AMBIENTE E ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PRODUTIVIDADE EM FEJJOEIRO POR MODELOS DE FATOR ANALÍTICO E GGE-BIPLLOT....	77
RESUMO	78
1. INTRODUÇÃO.....	79
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	81
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
4. CONCLUSÃO.....	104
5. Referências	106
CAPÍTULO 3	111
EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE SOBRE OS TEORES DE MINERAIS DE GRÃOS DE FEJJOEIROS.....	111
RESUMO	112
1. INTRODUÇÃO.....	113
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	116
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
4. CONCLUSÃO.....	149
5. Referências	150

ALTOÉ, Sabrina Colodette, Universidade Federal do Espírito Santo, agosto de 2022. CARACTERIZAÇÃO DE RECURSOS GENÉTICOS DE FEIJOEIROS CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO: MORFOLOGIA, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcia Flores da Silva Ferreira. Coorientadores: Dr^a. Sheila Cristina Prucoli Posse e Prof. Dr. Adésio Ferreira.

RESUMO GERAL

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas agrícolas de maior importância socioeconômica e nutricional do mundo. Faz parte da alimentação diária de milhares de pessoas em diversos países e sua riqueza nutricional é amplamente reconhecida. No Brasil, o seu cultivo é disseminado em todas as regiões, nas mais diversas condições edafoclimáticas e a partir de uma grande variabilidade genética, característica da espécie. A partir de pesquisas agrônômicas referente ao melhoramento genético da espécie, é possível conhecer a adaptação da cultura a diferentes ambientes. Um banco de germoplasma contendo 248 genótipos de feijoeiro cultivados no estado do Espírito Santo foi criado pelo programa de melhoramento de feijoeiro do Centro de Ciências Agrárias e Engenharia da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES), sendo fonte de recursos genéticos e informações essenciais que contribuem para os avanços nos trabalhos de melhoramento genético para cultura do feijoeiro no estado. Os principais objetivos deste estudo foram (i) Organizar as informações sobre os estudos dos recursos genéticos de feijoeiros disponíveis no banco de germoplasma do CCAUE/UFES; (ii) estudar a adaptabilidade e estabilidade de 35 genótipos agronomicamente e geneticamente divergentes; (iii) bem como avaliar a interação genótipos por ambiente (G x A) quanto às variáveis produtividade e à qualidade nutricional dos grãos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e zinco (Zn). Experimentos foram instalados nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020, em duas safras anuais (da seca e das águas), em cinco locais: Mimoso do Sul - ES e Pacotuba/Cachoeiro de Itapemirim – ES; Venda Nova do Imigrante – ES; Linhares – ES e Sooretama – ES. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com três repetições, cada repetição com quatro parcelas compostas de dez plantas. Para a variável produtividade, a avaliação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foram obtidos por modelos de fator analítico e GGE-Biplot e para as variáveis de qualidade nutricional dos grãos pelos métodos: Eberhart & Russell, Lin & Binns e Annicchiarico. Recursos genéticos mostram diversidade genética e agrônômica, como diversidade de tamanhos, formas, cores e composição mineral dos feijoeiros disponíveis no banco de germoplasma do CCAUE/UFES. A análise de regressão latente obtida por modelos de fator analítico identificou os genótipos INC_62, INC_67 e INC_90 como mais responsivos ao ambiente Seca ano 2019 Venda Nova do Imigrante (S2019VN) para produtividade. Os genótipos INC_106 e UFES_173 mostraram estabilidade produtiva nos ambientes testados. A análise de GGE-biplot mostrou genótipos de alto rendimento (INC_62, INC_106, INC_90) para produtividade de grãos e indicou o genótipo INC_106 como mais responsivo e o genótipo INC_90 como o mais próximo do ideal em termos de produtividade e estabilidade produtiva. Houve diferenças significativas ($p < 0,05$) para

todas as variáveis nutricionais, tendo como destaque na maioria dos ambientes testados os genótipos crioulos. O ambiente Cachoeiro, ano 2020, safra das águas foi mais favorável para quatro das sete variáveis nutricionais (P, K, Ca e Fe). Os genótipos INC-60, INC-61 e Rio Tibagi apresentaram alto teor de K, N e P, respectivamente, em todos os ambientes testados e ampla adaptabilidade e estabilidade (WiG), sendo recomendáveis quando se almeja maiores teores desses minerais nos grãos. Os genótipos UFES-10, UFES-95, INC-23, INC-90 e Goytacazes apresentaram melhor desempenho em ambientes favoráveis para os teores de N, P, K, Mg e Zn, respectivamente, quando considerado todas as metodologias de adaptabilidade e estabilidade utilizadas neste trabalho.

Palavras-chave: feijoeiro comum; interação genótipo x ambiente; produtividade; composição mineral.

ALTOÉ, Sabrina Colodette, Universidade Federal do Espírito Santo, August de 2022. CHARACTERIZATION OF BEAN GENETIC RESOURCES CULTIVATED IN THE STATE OF ESPÍRITO SANTO: MORPHOLOGY, ADAPTABILITY AND STABILITY. Advisor: Prof^ª. Dr^ª. Marcia Flores da Silva Ferreira. Advisors: Dr^ª. Sheila Cristina Prucoli Posse e Prof. Dr. Adésio Ferreira.

GENERAL ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important socioeconomic and nutritional crops in the world. It is part of the daily diet of thousands of people in different countries and its nutritional richness is widely recognized. In Brazil, its cultivation is widespread in all regions, in the most diverse edaphoclimatic conditions and from a great genetic variability, characteristic of the species. From agronomic research related to the genetic improvement of the species, it is possible to learn about the adaptation of the crop to different environments. A germplasm bank containing 248 common bean genotypes cultivated in the state of Espírito Santo was created by the common bean breeding program of the Center for Agricultural Sciences and Engineering of the Federal University of Espírito Santo (CCAUE/UFES), being a source of genetic resources and essential information that contribute to advances in genetic improvement work for common bean crops in the state. The main objectives of this study were (i) To organize the information about the studies on the genetic resources of bean plants available in the CCAUE/UFES germplasm bank; (ii) study the adaptability and stability of 35 agronomically and genetically divergent genotypes; (iii) as well as to evaluate the interaction genotypes by environment (G x E) regarding the variables productivity and nutritional quality of the grains: nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and zinc (Zn). Experiments were installed in the agricultural years 2018/2019 and 2019/2020 in two annual harvests (dry and rainy) and in five locations: Mimoso do Sul - ES and Pacotuba/Cachoeiro de Itapemirim - ES; Venda Nova do Imigrante – ES; Linhares – ES and Sooretama – ES. The experimental design adopted was in randomized blocks, with three replications, each repetition with four plots composed of ten plants. For the yield variable, the evaluation of the adaptability and stability parameters of the genotypes were obtained by analytical factor models and GGE-Biplot and for the nutritional quality variables of the grains by the methods: Eberhart & Russell, Lin & Binns and Annicchiarico. Genetic resources show genetic and agronomic diversity, such as the diversity of sizes, shapes, colors and mineral composition of common bean

plants available in the CCAE/UFES germplasm bank. The latent regression analysis obtained by factor analytic models identified the INC_62, INC_67 and INC_90 genotypes as more responsive to the Seca year 2019 Venda Nova do Imigrante (S2019VN) environment for productivity. Genotypes INC_106 and UFES_173 showed productive stability in the tested environments. The GGE-biplot analysis showed high yielding genotypes (INC_62, INC_106, INC_90) for grain yield and indicated the INC_106 genotype as the most responsive and the INC_90 genotype as the closest to the ideal in terms of yield and yield stability. There were significant differences ($p < 0.05$) for all nutritional variables, with creole genotypes standing out in most environments tested. The Cachoeiro year 2020 water harvest environment was more favorable for four of the seven nutritional variables (P, K, Ca and Fe). The INC-60, INC-61 and Rio Tibagi genotypes showed high content of K, N and P, respectively, in all tested environments and wide adaptability and stability (WiG), being recommended when aiming for higher levels of these minerals in the grains. The UFES-10, UFES-95, INC-23, INC-90 and Goytacazes genotypes performed better in favorable environments for N, P, K, Mg and Zn contents, respectively, when considering all adaptability and stability methodologies used in this work.

Keywords: common bean; genotype x environment interaction; productivity; mineral composition.

INTRODUÇÃO GERAL

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie presente na alimentação diária de milhares de pessoas, sendo importante fonte de aminoácidos (RIBEIRO et al., 2010), fibras alimentares (LONDERO et al., 2009), zinco, potássio, ferro, cálcio, cobre (PEDROSA et al., 2015; JOST et al., 2009; RIBEIRO et al., 2012), nutrientes essenciais para auxiliarem no combate à desnutrição e na prevenção de diversas doenças (PETRY et al. 2015; BLAIR et al. 2016). A produção mundial está estimada em 27,9 milhões de toneladas de grãos de feijão, sendo o Brasil um dos principais produtores, com aproximadamente 11% da produção mundial (FAO, 2022).

O cultivo do feijoeiro é realizado nas mais diversas condições ambientais (locais, épocas ou anos), o que pode interferir positiva ou negativamente no desenvolvimento e produção da cultura. Também a qualidade nutricional das sementes dessa leguminosa está sujeita a fatores ambientais (ARAÚJO et al., 2003; FERNANDES et al., 2016). Possivelmente, a interação genótipo por ambiente assume um papel importante na expressão dessa espécie, promovendo diferenças significativas no desempenho dos genótipos quando estes são cultivados em diferentes ambientes, causando inconsistência na resposta desses frente à variação ambiental (CRUZ et al., 2012; RAMALHO et al., 2008; LIN E BINNS, 1988).

Para que melhoristas tenham eficiência nos trabalhos de melhoramento genético do feijoeiro, mais especificamente na fase de seleção e recomendação de genótipos, é essencial considerarem questões relacionadas à interação genótipos por ambientes (CHAVES, 2001). Torna-se útil e complementar o conhecimento das estimativas de adaptabilidade e estabilidade, por tornarem possível a identificação de genótipos de comportamentos compatíveis às variações ambientais. Analisar genótipos em um maior número possível de ambientes e utilizar métodos que classifiquem genótipos de acordo com sua adaptabilidade e estabilidade são alternativas para amenizar a interferência da interação genótipo por ambiente (ARAÚJO, 2008).

Além disso, durante o processo de melhoramento genético do feijoeiro, deve-se elevar a concentração de nutrientes nas sementes visando à biofortificação, condição essencial para proporcionar alimentação mais balanceada a milhares de pessoas (BOUIS et al., 2011). Há grande diversidade para características como produtividade e teores de minerais nas sementes (PEREIRA et al., 2014), possibilitando identificar

genótipos superiores para o desenvolvimento de linhagens de feijoeiro mais produtivos e biofortificados (MARTINS et al., 2016; RIBEIRO, 2010; ROSA et al., 2010).

No Estado do Espírito Santo (ES), o feijoeiro é cultivado em quase todas as regiões, principalmente por pequenos agricultores, nas mais variadas condições edafoclimáticas. A maioria dos agricultores fazem uso de genótipos crioulos, os quais preservam os recursos genéticos¹ contidos nas sementes. Um genótipo crioulo possui uma identidade distinta que não passou por algum tipo de melhoramento genético, sendo adaptada ao local de cultivo e com manejo totalmente desenvolvido por comunidades tradicionais (MERCER et al., 2012), por isso, explorar genótipos crioulos é uma forma de proteger os recursos genéticos para que a diversidade da cultura possa ser conversada.

Tendo em vista o estudo de recursos genéticos e garantir a segurança alimentar, foi criado pelo Programa de Melhoramento de Feijoeiro do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES), um banco de germoplasma com 248 genótipos de feijoeiros cultivados no Estado do Espírito Santo. Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram organizar os estudos dos recursos genéticos dos 248 genótipos de feijoeiros do CCAUE/UFES, bem como avaliar a interação genótipos por ambientes de 35 genótipos considerados divergentes – a partir dos estudos dos recursos genéticos, baseados em diferentes métodos estatísticos de análise da adaptabilidade e estabilidade fenotípica com base em características de produtividade e qualidade nutricional dos grãos (N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn), identificar material potencial, recomendar genótipos com adaptabilidade ampla e específica, de acordo com os ambientes avaliados.

¹ Os recursos genéticos são a base biológica da agricultura, compreendendo a variabilidade genética entre e dentro das espécies, constituindo elementos essenciais ao melhoramento genético (BRAMMER et al., 2021).

Referências

- ARAÚJO, R.; MIGLIORANZA, É.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; GONÇALVES-VIDIGAL, C.; MODA-CIRINO, V. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains. **Cropps Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, p. 269-274, 2003.
- ARAÚJO, M. F. C. Teste estatístico para contribuição de genótipos e ambientes na matriz de interação GE. **Dissertação de Mestrado** ESALQ/USP, Piracicaba, 113p. 2008.
- BOUIS H.E.; HOTZ C.; MCCLAFFERTY B.; MEENAKSHI J. V.; PFEIFFER W.H. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and nutrition bulletin**. v. 32, p. 3-40, 2011.
- BLAIR M. W.; CORTÉS A. J.; THIS D. Identification of an ERECTA gene and its drought adaptation associations with wild and cultivates common bean. **Plant Science**, v. 242, p. 250-259, 2016.
- BRAMMER, S. P.; PAZ, L. A.; CECCON, C. C.; KIIHL T. A. M. **A interação da biotecnologia com os recursos genéticos.**: Embrapa Trigo, Passo Fundo. 2021, 34 p. (Documento 196).
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S. de; VALADARES-INGLIS, M.C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento – plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 673-713, 2001.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: Ed. UFV, v. 1, p. 514, 2012.
- FERNANDES, S. B.; ABREU, A. F.; RAMALHO, M. A. Genotype x environment interaction and its implication in identification of common bean populations with high calcium content. **Genetics and molecular research**. v.15, n. 2, 2016.
- JOST, E.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; CERUTTI, T.; ROSA, D. P. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 31-37, 2009.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivars x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n.1, p.193-198, 1988.
- LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; MAZIERO, S. M.; CERUTTI, T.; POERSCH, N. L. Genética dos teores de fibra insolúvel e solúvel em grãos de feijão. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 150-155, 2009.
- MARTINS, S. M.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C.; SOUZA, T. S. P. O.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S. Genetic parameters and breeding strategies for high levels of iron and

zinc in *Phaseolus vulgaris* L, **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 15, p. 1-14, 2016.

MERCER, K.; PERALES, H. R.; WAINWRIGHT, J. D. Climate change and the transgenic adaptation strategy: Smallholder livelihoods, climate justice, and maize landraces in Mexico. **Global Environmental Change**, v.22, p, 495–504, 2012.

PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; BURBANO, C.; MUZQUIZ, M.; CABELLOS, B; OLMEDILLA-ALONSO, B.; ASENSIO-VEGAS, C. Effects of industrial canning on the proximate composition, bioactive compounds contents and nutritional profile of two Spanish common dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 166, p. 68-75, 2015.

PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v, 3, p, 32-42, 2014.

PETRY N.; BOY E.; WIRTH J.P.; HURRELL R.F. Review: The Potential of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. **Nutrients**, v. 7, p. 1144–1173, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4.ed. Lavras: Ed. UFLA, 461 p. 2008.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, sup.1, p, 1367-1376, 2010.

RIBEIRO, N. D; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E. Composição de aminoácidos de geração precoces de feijão obtidas a partir de cruzamentos com parental de alto teor de metionina. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 57-61, 2010.

RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; PRIGOL, M.; NOGUEIRA, C. W.; ROSA, D. P.; POSSOBOM, M. T. D. F. Mineral concentrations in the embryo and seed coat of common bean cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 89-95, 2012.

ROSA, S. S.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; REINIGER, L. R. S.; ROSA, D. P; CERUTTI, T.; POSSOBOM, M. T. D. F. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, v. 175, n. 2, p. 207-213, 2010.

CAPÍTULO I

RECURSOS GENÉTICOS DE FEIJOEIROS (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO¹

¹ Capítulo de livro a ser publicado

RECURSO GENÉTICO DE FEIJOEIROS (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADOS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

1. Aspectos gerais da cultura do feijoeiro

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa da família Fabaceae, subfamília Faboideae e gênero *Phaseolus* (OECD, 2016; SIDDIQ; UEBERSAX, 2013). O gênero *Phaseolus* possui cerca de setenta espécies, das quais apenas cinco são cultivadas (*Phaseolus vulgaris*, *P. coccineus*, *P. dumosus*, *P. acutifolius* e *P. lunatus*) (BITOCCHI et al., 2017). *Phaseolus vulgaris* é a espécie de leguminosa com maior distribuição e consumo do gênero, representando mais de 90% da cultura cultivada no mundo (CELMELI et al., 2018). Espécie anual, predominantemente autógama, com taxas de fertilização cruzada de aproximadamente 3% (RAMALHO; ABREU, 1998), genoma diplóide contendo 11 cromossomos ($2n = 2x = 22$) e tamanho estimado de ~587 Mbp (SCHMUTZ et al., 2014).

O feijoeiro é uma das culturas mais antigas das Américas (BROUGHTON et al., 2003; MCCLEAN et al., 2004), possuindo dois grandes pools (grupos) genéticos estabelecidos, sendo eles o mesoamericano e o andino (BITOCCHI et al., 2012), grupos de genes silvestre geograficamente isolados e geneticamente diferenciados que divergiram de uma população selvagem ancestral comum há mais de 100.000 anos (MAMIDI et al., 2013; KOINANGE; GEPTS, 1992).

Estudos relatam que o pool gênico mesoamericano tem como centro de origem a região norte do México à Colômbia, com predominância de genótipos de grãos pequenos (< 25g/peso de 100 sementes) e com padrões de faseolinas (principais proteínas de armazenamento das sementes do feijoeiro) tipos S e B. Já o pool gênico andino, a região sul do Peru ao noroeste da Argentina, com predominância de genótipos de grãos grandes (> 40g/peso de 100 sementes) (KWAK; GEPTS, 2009) e faseolinas do tipo T, C, H e A (GEPTS et al. 1986). O feijoeiro foi domesticado a partir de cada um desses pools gênicos (RENDON et al., 2017) e disperso por todo o mundo a partir desses dois centros de origem.

O grão do feijoeiro está presente na dieta básica de uma grande parte da população, particularmente em países da África e da América Latina. É amplamente reconhecido pela sua riqueza nutricional, destacando-se como excelente fonte de proteína e fibras (LONDERO et al., 2008), minerais, principalmente ferro, zinco e

cálcio (ROSA et al., 2010; PEDROSA et al., 2015; JOST et al., 2009), essenciais para auxiliarem no combate à desnutrição e na prevenção de diversas doenças (PETRY et al. 2015; BLAIR et al. 2016).

No Brasil, o grão dessa leguminosa é muito apreciado pela população e tem posição de destaque na alimentação (MAPA, 2013), sendo relevante fonte de proteínas, vitaminas e ferro (PLANS et al., 2013). O consumo interno é em torno de 2.850 milhões de toneladas (CONAB, 2022) e a preferência pelo tipo de grão pode variar de acordo com a história e a cultura de cada região do país. O feijão carioca é o que predomina entre os brasileiros e corresponde a 85% de todo o consumo nacional.

A maior parte da produção de feijoeiro ocorre na América Latina, África e algumas partes da Ásia, as quais também são as regiões com as maiores taxas de consumo de feijão per capita (MCDERMOTT; WYATT, 2017). Os três maiores produtores mundiais de feijão são Mianmar, Índia e Brasil (FAOSTAT, 2022). No Brasil, o feijoeiro é um dos produtos agrícolas de maior importância econômica e social, considerando o grande número de pessoas envolvidas na cultura. No país, a produção da safra total (classe cores, preto e caupi) 2021/2022 foi estimada em 2,9 milhões de toneladas, sendo 2,3 milhões de toneladas referente aos feijões classe cores e preto (CONAB, 2022).

O cultivo do feijoeiro no Brasil é realizado em todos os estados em três safras anuais: das águas, da seca e de outono-inverno, durante todo ano em diferentes condições edafoclimáticas, por pequenos, médios e grandes produtores, sob diferentes sistemas de cultivo e níveis tecnológicos (BARILI et al., 2011). Os principais produtores nacionais dessa leguminosa são Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e São Paulo. O Paraná é o maior produtor de feijão do Brasil, com participação de 18,2% em nível nacional. Entre os quase 3 milhões de toneladas produzidas dos grãos em 2019, 563,3 mil foram cultivadas em propriedades paranaenses (IBGE, 2020).

De acordo com a Confederação Nacional de Agricultores Familiares e Empreendedores Familiares Rurais (CONAFER), 70% da produção de feijão no Brasil é oriundo da agricultura familiar. Agricultores familiares utilizam tradicionalmente genótipos crioulos, os quais não foram melhorados por meio de um programa de melhoramento formal (LOUETTE et al., 1997) e são adaptados as condições regionais específicas, como resultado da seleção natural combinada com a pressão de seleção humana sobre o meio ambiente local, com ampla diversidade genética (STELLA et

al., 2004), podendo apresentar tempos de maturação diferentes, sementes com diferentes tamanhos, formas e cores (PEREIRA et al., 2019).

A diversidade presente em genótipos crioulos de feijoeiro tem sido frequentemente demonstrada em estudos realizados em diferentes regiões do Brasil e do mundo (EMYGDIO et al., 2003; PIERGIOVANNI e LIOI, 2010; PERSEGUINI et al., 2016; CARVALHO et al., 2020). A maior diversidade de feijoeiro favorece maior possibilidade de identificação e incorporação de genes potenciais em programas de melhoramento genético. Desse modo, o uso de genótipos crioulos é uma forma de proteger os recursos genéticos para que a diversidade da cultura possa ser conversada.

A preocupação com a conservação da diversidade dos recursos genéticos deve ser unanimidade, visando à preservação das diferentes espécies (SCHEEREN et al., 2011; COSTA et al., 2012). Existem diferentes maneiras de conservação, dentre elas: *in situ* e *ex situ*. Na primeira forma, a conservação da espécie é realizada em seu local de origem, como em suas comunidades naturais, reservas biológicas, reservas genéticas (URIO, 2013). Já na segunda forma, *ex situ*, a conservação é realizada fora do local de origem, a fim de manter a variabilidade genética, podendo ser, por exemplo, coleção de trabalho, criopreservação e genômica (VALOIS, 1998; LOPES; MELLO, 2005). No caso do feijoeiro, a conservação é feita pelo armazenamento de sementes, mantendo seu potencial, capacidade de vigor e poder germinativo.

A conservação de forma *ex situ* é a mais comum para a maioria dos estudos de diversidade genética, contemplando bancos de germoplasma em programas de melhoramento genético, possibilitando conhecer a estrutura e a variabilidade genética de materiais, bem como analisar sua similaridade, visando à identificação de grupos heteróticos para serem utilizados em futuros cruzamentos (CARVALHO et al., 2013; PENA et al., 2016; ELOI et al., 2012). São em bancos de germoplasma que muitos programas de melhoramento genético exploram os recursos genéticos existentes em busca de diversidade genética, a fim de selecionar genótipos potenciais para características de interesse e que se adaptem as diferentes condições edafoclimáticas (MATOS et al., 2013; SANTOS et al., 2014).

Com objetivo de formar um banco de germoplasma de feijoeiros cultivados no estado do ES, foram realizadas coletas de genótipos em diferentes regiões do estado, buscando representar o máximo as diferentes condições edafoclimáticas. O estado apresenta um relevo em sua maior parte montanhoso, tendo sido povoado com trabalho de meeiros, parceiros e arrendatários e de pequenos proprietários. Portanto, grande

parte dos genótipos de feijão, são cultivados no ES em propriedades de agricultura familiar de pequeno porte, presentes em quase todas as regiões (INCAPER, 2016).

O relevo produziu uma grande diversidade de ambientes com grande variabilidade das condições climáticas, o que permitiu que várias gerações de agricultores selecionassem variedades tradicionais de feijão comum ao longo dos séculos resultando em alta variabilidade (FIORI, 2020). Isso se deve às diferenças genéticas inerentes entre os acessos e variações nos regimes de luz, temperatura e umidade que causaram desempenho diversificado do germoplasma de feijão (OKII et al., 2014). Essas variedades apresentam características específicas bem adaptadas às condições ambientais locais, muitas vezes caracterizadas por propriedades nutricionais superiores e/ou sabores particulares muito apreciados pelos consumidores (PIERGIOVANNI; LIOI, 2010).

Os recursos genéticos conservados nas propriedades desses agricultores são de grande importância, tanto para os agricultores como para os melhoristas, uma vez que constituem a matéria prima necessária para responder às mudanças climáticas, pragas e doenças (GOVINDARA et al., 2015; DYER, 2014). Nesse contexto, os distintos tipos comerciais e não comerciais de feijoeiro e a variedade de regiões de cultivo no estado do ES, torna relevante o conhecimento a priori dos recursos genéticos locais disponíveis para identificação de genótipos que apresentem características morfoagronômicas e genéticas de interesse ao melhoramento.

2. Banco de Germoplasma de feijoeiros cultivados no estado do Espírito Santo

No CCAE/UFES, o programa de melhoramento de feijoeiro iniciou-se em parceria com o INCAPER. O programa tem como objetivo o desenvolvimento de cultivares específicos para as regiões do estado do ES. Sendo assim, buscam melhorar a espécie e disponibilizar cultivares de feijoeiro mais produtivas e tolerantes a estresses bióticos e abióticos, visando a sua recomendação para todas as regiões de cultivo do estado.

Com isso foi criado um banco de germoplasma no CCAE/UFES com genótipos de feijoeiro (*Phaseolus* spp.) cultivados no estado, incluindo crioulos e linhagens de cruzamentos diversos. A partir desses genótipos, vários trabalhos, como relatórios, dissertações, teses, artigos e demais publicações científicas, foram realizados pelo grupo de pesquisa do CCAE/UFES desde 2016, visando à caracterização da

diversidade de feijoeiros cultivados no estado do Espírito Santo, como multiplicação, caracterização morfológica, agrônômica, genotípica e armazenamento de dados.

Nesse contexto, o banco de germoplasma passa a ser fonte de recursos genéticos para o programa de melhoramento do feijoeiro. A organização desses estudos dos recursos genéticos é muito importante para contribuir com a conservação da variabilidade genética da espécie no estado, pensando no futuro e uso eficiente dos genótipos disponíveis, os quais podem proporcionar, por exemplo, adaptabilidade, estabilidade, possibilitando desenvolver e registrar novas cultivares que serão recomendadas para cultivo de acordo com as condições ambientais de cada região do estado.

2. Coleta do material vegetal para formação do banco de germoplasma

A coleção de trabalho do CCAE/UFES, grupo de pesquisa Biometria e Melhoramento Genético de Plantas, foi composta por 355 genótipos de *Phaseolus* spp.. Foram obtidos a partir de coletas em diferentes regiões do estado do ES, entre os anos de 2016 e 2017 (Figura 1). Desses, 46 foram genótipos comerciais cedidos pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e 47 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Os demais (262) foram coletados em propriedades rurais, mercados locais e feiras públicas por meio de visitas técnicas dos membros do grupo de pesquisa da UFES e INCAPER.

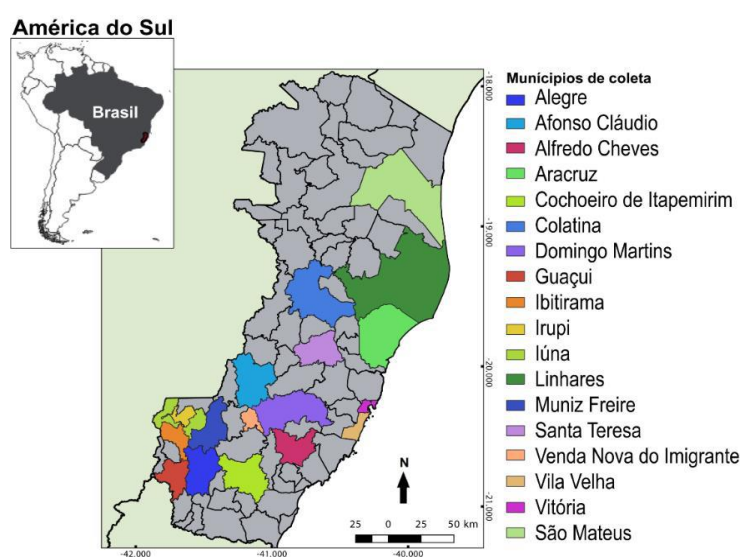


Figura 1 – Municípios do estado do Espírito Santo onde foram coletadas amostras do acesso de feijão, cultivados por produtores locais. A legenda colorida indica as cidades de coleta no mapa.

2.1. Estudos dos Recursos Genéticos de feijoeiros cultivados no estado do ES

2.1.1 Caracterização da diversidade genética de feijão por Marcadores Moleculares

✓ Caracterização de 185 genótipos de feijoeiro com 13 SSRs

Do total de genótipos iniciais, foram separados 185 selecionados com base em: 1) espécie *P. vulgaris* L.; 2) viabilidade das sementes; e 3) representatividade dos principais tipos comerciais (preto, vermelho e carioca). Nesses genótipos tem-se 25 cultivares comerciais e 160 acessos crioulos (Tabela 1). Foi realizado estudo de diversidade genética com 13 marcadores microssatélites SSRs (*Simple Sequence Repeats*) (CARVALHO et al., 2020).

Tabela 1. Identificação (ID) dos 185 genótipos de feijoeiro avaliados com 13 SSRs

ID	Nome	Região de origem	Grupo comercial	Origem
1	Palhacinho	Vila Velha-ES	Outro	Crioulo
2	Manteiga vermelho	Vila Velha-ES	Vermelho	Crioulo
3	Manteiga bege claro	Vitória-ES	Jalo	Crioulo
4	Preto	Vitória-ES	Preto	Crioulo
5	Branco	Vitória-ES	Branco	Crioulo
8	Vagem riscada	Acaraí-ES	Preto	Crioulo
9	Vermelho	Celina-ES	Vermelho	Crioulo
10	Vagem riscada	Muniz Freire-ES	Preto	Crioulo
11	Vagem riscada	Muniz Freire-ES	Preto	Crioulo
12	Bico de ouro	Muniz Freire-ES	Vermelho	Crioulo
13	Enxofre	-	Outro	Crioulo
14	Amendoim	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo
15	Mata-mulher	Muniz Freire-ES	Vermelho	Crioulo
17	Vermelho	Cachoeiro-ES	Vermelho	Crioulo
19	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
20	CNFC 15625	-	Carioca	Linhagem
21	CNFC 15462	-	Carioca	Linhagem
22	BRS Pérola	-	Carioca	Cultivar
23	BRS Notável	-	Carioca	Cultivar
24	BRS Estilo	-	Carioca	Cultivar
25	IPR Colibri	-	Carioca	Cultivar
26	Feijão Verde	Alegre-ES	Outro	Crioulo
27	Carioca	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
28	BRS Campeiro	-	Preto	Cultivar
29	Capixaba Precoce	-	Preto	Cultivar
30	BRS Esplendor	-	Preto	Cultivar
31	Preto	Alegre-ES	Preto	Crioulo
32	CNFP 15304	-	Preto	Linhagem
32	Preto	--	Preto	Crioulo
34	Fava Tico Tico	Alegre-ES	Outro	Crioulo

35	Olho de Pombo	Alegre-ES	Outro	Crioulo
36	Mauá	-	Outro	Crioulo
37	Nego Doido	Alegre-ES	Preto	Crioulo
38	Terrinha	-	Marrom	Crioulo
39	Terrinha	Guaçuí-ES	Marrom	Crioulo
40	Amendoim Preto	Guaçuí-ES	Preto	Crioulo
41	Manteiga Amerelo	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo
42	Amendoim	-	Outro	Crioulo
43	Amendoim	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo
44	Boreal	-	Rajada	Crioulo
46	Isaías	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo
47	Bico de Ouro	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
48	Botina	Alegre-ES	Preto	Crioulo
49	Preto	Alegre-ES	Preto	Crioulo
50	Preto	Alegre-ES	Preto	Crioulo
51	Pontal	-	Carioca	Comercial
52	Riscado Preto	Iúna-ES	Preto	Crioulo
53	Verde	Domingos Martins	Verde	Crioulo
54	Palhacinho	-	Outro	Crioulo
55	Oito e Nove	Guaçuí-ES	Preto	Crioulo
59	Feijão Fafa	-	Branco	Crioulo
60	Feijão	-	Vermelho	Crioulo
61	Roxinho	-	Vermelho	Crioulo
62	Vermelhinho	-	Vermelho	Crioulo
63	Bolinha	-	Vermelho	Crioulo
64	Vermelho Escuro	-	Vermelho	Crioulo
65	Vidro	-	Outro	Crioulo
66	Biodinâmica	-	Carioca	Crioulo
68	Verde	-	Outro	Crioulo
69	Preto	-	Preto	Crioulo
70	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
71	Feijão	-	Vermelho	Crioulo
72	Feijão	-	Vermelho	Crioulo
73	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
74	Preto Vidro	-	Preto	Crioulo
75	Fava	-	Branco	Crioulo
76	Manteigão	-	Jalo	Crioulo
77	Bola Cheia	-	Carioca	Crioulo
78	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
79	Carioca Preto e Branco	-	Outro	Crioulo
81	Verde Cristo Rei	-	Outro	Crioulo
82	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
83	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
84	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
85	Mamoninho	-	Outro	Crioulo
86	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
87	Macuquinho	Alegre-ES	Outro	Crioulo
88	Bico de Ouro	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
89	IPR Uirapuru	-	Preto	Crioulo
90	CNFP 15310	-	Preto	Linhagem
91	CNFP 15290	-	Preto	Linhagem
92	Vagem Riscada	Alegre-ES	Preto	Crioulo

93	CNFC 15475	-	Carioca	Linhagem
95	Vagem Riscado	-	Preto	Crioulo
97	Vage Riscado	Guaçuí-ES	Preto	Crioulo
98	Bico de Ouro	Guaçuí-ES	Vermelho	Crioulo
99	Manteiga	Alegre-ES	Outro	Crioulo
102	Preto 60 dias	Ibitirama-ES	Preto	Crioulo
103	Trepador	Ibitirama-ES	Preto	Crioulo
104	Preto	Domingos Martins	Preto	Crioulo
105	Carioca	Domingos Martins	Carioca	Crioulo
106	Gargaú	Guaçuí-ES	Marrom	Crioulo
107	Preto	Guaçuí-ES	Preto	Crioulo
108	Vermelho	Domingos Martins-	Vermelho	Crioulo
109	Verde	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo
110	Branco	-	Branco	Crioulo
111	Verde	Santa Angélica-ES	Outro	Crioulo
112	Marrom	Santa Angélica-ES	Outro	Crioulo
113	Vermelho	Santa Angélica-ES	Vermelho	Crioulo
114	Verde	-	Outro	Crioulo
115	Bico de Ouro	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
117	Ouro Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
118	Preto	Venda Nova-ES	Preto	Crioulo
119	Branco	-	Branco	Crioulo
120	Bico de Ouro	Guaçuí-ES	Vermelho	Crioulo
121	Vinho	Irupi-ES	Vermelho	Crioulo
122	Carioca Comercial	Irupi-ES	Carioca	Crioulo
123	Campo Salis Verde	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo
124	Preto Gigante	Domingos Martins	Preto	Crioulo
125	Preto	Domingos Martins	Preto	Crioulo
126	Terrinha	Irupi-ES	Marrom	Crioulo
127	Vermelho	Domingos Martins	Vermelho	Crioulo
128	Bico de Ouro	Irupi-ES	Vermelho	Crioulo
129	Rim de Paca	Guaçuí-ES	Vermelho	Crioulo
130	Carioca	Venda Nova-ES	Carioca	Crioulo
131	Galinha	Guaçuí-ES	Marrom	Crioulo
132	Vermelho	Santa Tereza-ES	Vermelho Grande	Crioulo
133	Amarelo	Santa Tereza-ES	Bolinha	Crioulo
134	Preto	Santa Tereza-ES	Preto	Crioulo
135	Bege	Santa Tereza-ES	Jalo	Crioulo
137	Cometa	-	Carioca	Cultivar
138	Tico Tico	-	Rajado	Crioulo
139	Preto Determinado	-	Preto	Crioulo
140	BRS Estilo	-	Carioca	Cultivar
141	Vermelho Ouro	-	Vermelho	Crioulo
142	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
145	Palhacinho	-	Outro	Crioulo
146	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
147	Feijão Cavalo	-	Vermelho Grande	Crioulo
148	Vermelho	-	Vermelho	Crioulo
149	Feijão	-	Vermelho	Crioulo
150	BRS Notável	-	Carioca	Cultivar
151	Feijão Pioneiro	-	Vermelho	Crioulo
152	Baitão Mamoninha	-	Outro	Crioulo

153	Branco Pombinha	-	Outro	Crioulo
154	Preto AF	-	Preto	Crioulo
155	Vermelho Antigo	-	Vermelho	Crioulo
156	Quadrado	-	Vermelho	Crioulo
157	Vermelho Tradicional	-	Vermelho	Crioulo
158	Roxinho	-	Vermelho	Crioulo
159	Biquinho de Ouro	-	Marrom	Crioulo
160	Cavalo Marrom	-	Vermelho	Crioulo
161	Macaquinho	Alegre-ES	Outro	Crioulo
168	Carioca Vermelho	Alegre-ES	Outro	Crioulo
170	Feijão	Alegre-ES	Carioca	Crioulo
171	Amendoim	Alegre-ES	Rajado	Crioulo
172	Vagem Riscada	Alegre-ES	Preto	Crioulo
173	Preto	Alegre-ES	Preto	Crioulo
174	Vermelho	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
175	Carioca	-	Carioca	Crioulo
176	Serrano	-	Preto	Cultivar
177	CNFP 15302	-	Preto	Linhagem
178	CNFC 15502	-	Carioca	Linhagem
179	Rosinha	-	Roxo	Crioulo
180	Serrano	-	Preto	Cultivar
181	Feijão	-	Preto	Crioulo
182	Feijão	-	Preto	Crioulo
184	Feijão	-	Preto	Crioulo
185	Feijão	-	Carioca	Crioulo
186	Iraí	-	Carioca	Crioulo
187	Terrinha	Alegre-ES	Marrom	Crioulo
189	BRS Notável	-	Carioca	Cultivar
190	BRS Pontal	-	Carioca	Cultivar
191	BRS Pérola	-	Carioca	Cultivar
192	BRS Ametista	-	Carioca	Cultivar
193	BRS Estilo	-	Carioca	Cultivar
194	BRS Agreste	-	Mulatinho	Cultivar
195	Carioca Comum	Alegre-ES	Carioca	Crioulo
196	Manteigão	Alegre-ES	Jalo	Crioulo
197	Mulatinho	Alegre-ES	Marrom	Crioulo
198	Mulato	Alegre-ES	Marrom	Crioulo
199	Preto 90 dias	Alegre-ES	Preto	Crioulo
200	Preto	Alegre-ES	Preto	Crioulo
201	Preto Jalo	Alegre-ES	Preto	Crioulo
202	Carioca Pintadinho	-	Outro	Crioulo
203	Carioca Preto	Alegre-ES	Varioca	Crioulo
204	Corujinha	Alegre-ES	Rajado	Crioulo
205	Rosinha Carioca	Alegre-ES	Outro	Crioulo
206	Mulato Manteigão	Alegre-ES	Jalo	Crioulo
207	Amendoim	Alegre-ES	Vermelho Grande	Crioulo
208	Vermelho 1	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
209	Vermelho 2	Alegre-ES	Vermelho	Crioulo
213	Vermelho	Alegre-ES	Vermelho Grande	Crioulo
214	Preto	Alegre-ES	Preto	Crioulo
215	Carioca Riscado	Guaçuí-ES	Outro	Crioulo

Foi gerado um dendrograma UPGMA que revelou a formação de 10 grupos. Nove desses grupos foram formados com poucos genótipos, variando de um a cinco, sendo esses compostos por genótipos crioulos. O décimo grupo foi formado por 165 genótipos, incluindo todos os comerciais e pode ser subdividido em 38 subgrupos, variando de um a 28 genótipos por grupo (Figura 2). Os SSRs utilizados não detectaram dissimilaridade entre os acessos 28-BRS campeiro e o 30-BRS Esplendor, ambos grãos de cor preto e desenvolvidos pelo mesmo programa de melhoramento.

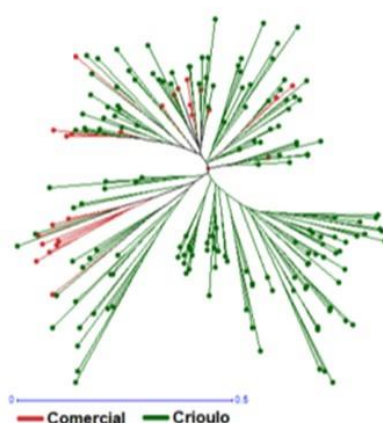


Figura 2. Dendrograma *neighbor joining* usando a distância de coincidência simples representando os feijões comerciais (vermelho) e os acessos crioulos (verde).

A análise de agrupamento molecular com 13 marcadores SSR foi eficiente para avaliar a diversidade genética entre os genótipos. Os genótipos comerciais ficaram distribuídos entre os feijões crioulos, o que permitiu concluir que os feijões crioulos cultivados no estado do Espírito Santo conservam tanto diversidade quanto similaridade com feijões comerciais, sendo assim um aspecto importante do ponto de vista do melhoramento, uma vez que feijões crioulos podem já possuir características de interesse.

Considerando a distribuição dos acessos nos grupos formados pelo agrupamento UPGMA, foram selecionados 50 acessos para caracterização em condições de campo com base em 12 características morfoagronômicas. Os resultados para essas características estão apresentados no tópico 2.3.

✓ **Genotipagem de 265 genótipos de feijoeiro com 23 marcadores SSRs e 251 SNPs**

Posteriormente, houve incremento na coleção de feijão com outros genótipos coletados no estado, sendo 206 crioulos, coletados em todas as regiões do estado do

Espírito Santo (figura 1) e 59 linhagens comerciais fornecidas pela Embrapa Arroz e Feijão e pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), totalizando 265 genótipos.

O estudo classificou os genótipos em dois grupos (figura 3). Das 59 cultivares comerciais, 47 foram derivadas do Banco de Germoplasma Ativo da Embrapa Arroz e Feijão, das quais 8 pertencem ao pool gênico andino e 39 ao mesoamericano. Considerando o resultado $K=2$ em *STRUCTURE*, as 8 cultivares controle do pool gênico andino foram alocadas em um dos grupos e as 39 mesoamericanas no outro. Esses grupos foram considerados como correspondentes aos pools gênicos andino (AND) e mesoamericano (MES). No entanto, notou-se que 16 acessos seguintes ocuparam grupos divergentes em relação aos resultados dos SNPs e SSRs, o que requerem mais estudos para uma classificação exata no grupo mesoamericano ou andino, sendo retirados do estudo, ficando 249 genótipos.

Considerando os dois conjuntos de marcadores (SSRs e SNPs) e os 249 acessos restantes, os grupos formados foram compostos por genótipos com padrões típicos de sementes. O grupo AND foi formado por oito cultivares testemunhas representativas do grupo andino, além de 49 acessos crioulos, enquanto o MES por 46 cultivares comerciais representativas do grupo mesoamericano e 146 acessos crioulos.

Os gráficos de barras obtidos via *STRUCTURE* também forneceram informações sobre o nível de mistura nas amostras estudadas (figura 3). Assumiu-se que os coeficientes posteriores abaixo de 0,80 podem indicar hibridismo. Considerando os marcadores SSR, foram detectados dois híbridos (feijão rajado-302 e Preto vidro 74). Com os marcadores SNP, foram identificados três híbridos (Branco-235, Feijão rajado-302 e Feijão fradinho-248).



Figura 3. Estrutura da população inferida em 249 genótipos de feijoeiro com base em marcadores moleculares. Cada grupo é representado por uma cor e cada indivíduo por uma barra vertical. Linhas de duas cores representam genótipos com mistura (CARVALHO et al., 2020).

Os 249 genótipos foram avaliados quanto à distância genética por matriz de dissimilaridade de emparelhamento simples. As matrizes de distâncias foram usadas para a construção de clusters pelo método *neighbor-joining* (NJ) (figura 4).

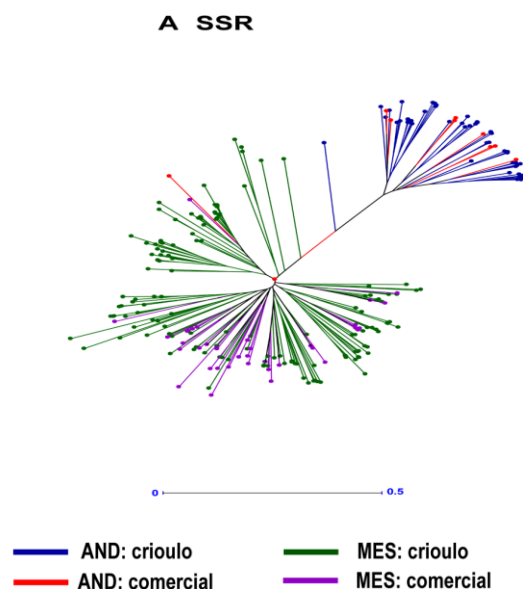


Figura 4. Dendrograma de junção de vizinhos baseado em uma matriz de dissimilaridade de emparelhamento simples para 249 genótipos representados em grupos definidos por ESTRUTURA com K=2 para os conjuntos de marcadores.

O estudo revelou dois grandes grupos principais, correspondentes aos grupos AND (ramificação azul) e MES (ramificação vermelha). O grupo AND foi formado por 53 acessos de grãos grandes e médios e dois de grãos pequenos. No grupo MES, a maioria dos acessos apresenta grãos de tamanho pequeno (49), médio (139) e grande (6).

O cluster NJ, realizado com base nos 23 SSRs e 251 SNPs concatenados, foi dividido em subgrupos para melhor compreensão da organização genotípica dos acessos (Figura 5). O grupo AND foi subdividido em quatro grupos (Grupo I, II, III e IV). O grupo I foi formado pelos acessos mais divergentes, dos quais cinco comerciais e nove crioulos. O Grupo II foi formado por quatro genótipos comerciais e nove acessos crioulos, dos quais seis possuem grãos grandes da cor verde. O grupo III foi formado apenas por feijões crioulos, dentre os quais ficaram alocados os cinco feijões da coloração branco e vermelho, cujos nomes vernaculares foram designados como palhacinho pelos agricultores. O grupo IV foi formado por dois genótipos comerciais e 15 feijões crioulos. Dos acessos crioulos, seis são do tipo comercial jalo, e seis são

do tipo vermelho grande escuro. Também ficaram alocados neste grupo dois acessos do tipo bolinha e três rajados.

O Grupo MES foi subdividido em 13 grupos (Grupo VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI e XVII). No Grupo VI ficaram alocados os acessos mais divergentes, sendo quatro comerciais e 13 crioulos. O Grupo VI foi formado por 2 cultivares comerciais e 12 crioulos. O grupo VII foi formado por sete acessos dos quais seis são do tipo comercial carioca. O grupo VIII foi formado por três acessos comerciais e oito crioulos. O grupo IX foi formado por sete acessos, dos quais seis são do tipo comercial carioca. O grupo X foi formado por oito acessos, dos quais dois são comerciais e seis crioulos. O grupo XI foi formado por 18 acessos, dos quais 13 são comerciais, sendo quatro do IAPAR, oito da Embrapa e um do IAC. Esse grupo também foi formado por 13 acessos carioca. O grupo XII foi formado por oito acessos (sete são crioulos e um comercial), dos quais seis são vermelhos. O grupo XIII foi formado por 11 acessos, dos quais cinco são comerciais (quatro da Embrapa e um do Incaper) e seis crioulos. Além disso, dez feijões são do tipo preto. O grupo XIV foi formado por 17 acessos, dos quais 16 são do tipo preto e quatro são comerciais, sendo dois do IAPAR e dois da Embrapa. O grupo XV foi formado por 15 acessos, dos quais seis são comerciais (quatro da Embrapa e dois do TAA) e nove crioulos. Considerando o tipo, cinco são pretos e nove carioca. O grupo XVI foi formado por 16 acessos, dos quais um comercial e 15 crioulos, sendo 13 preto. O XVII foi formado por 41 acessos, dos quais um comercial da UFV. Considerando o tipo, 36 são vermelho (Figura 6).

O estudo revelou genótipos comerciais de diferentes programas de melhoramento que ficaram distribuídos entre genótipos crioulos, ou seja, existe variabilidade nos feijões estudados, bem como proximidade com os genótipos comerciais que já passaram por programas de melhoramento. A figura 6 demonstra os principais tipos de feijão, considerando a cor e a morfologia encontrada nos dois grupos, AND e MES.

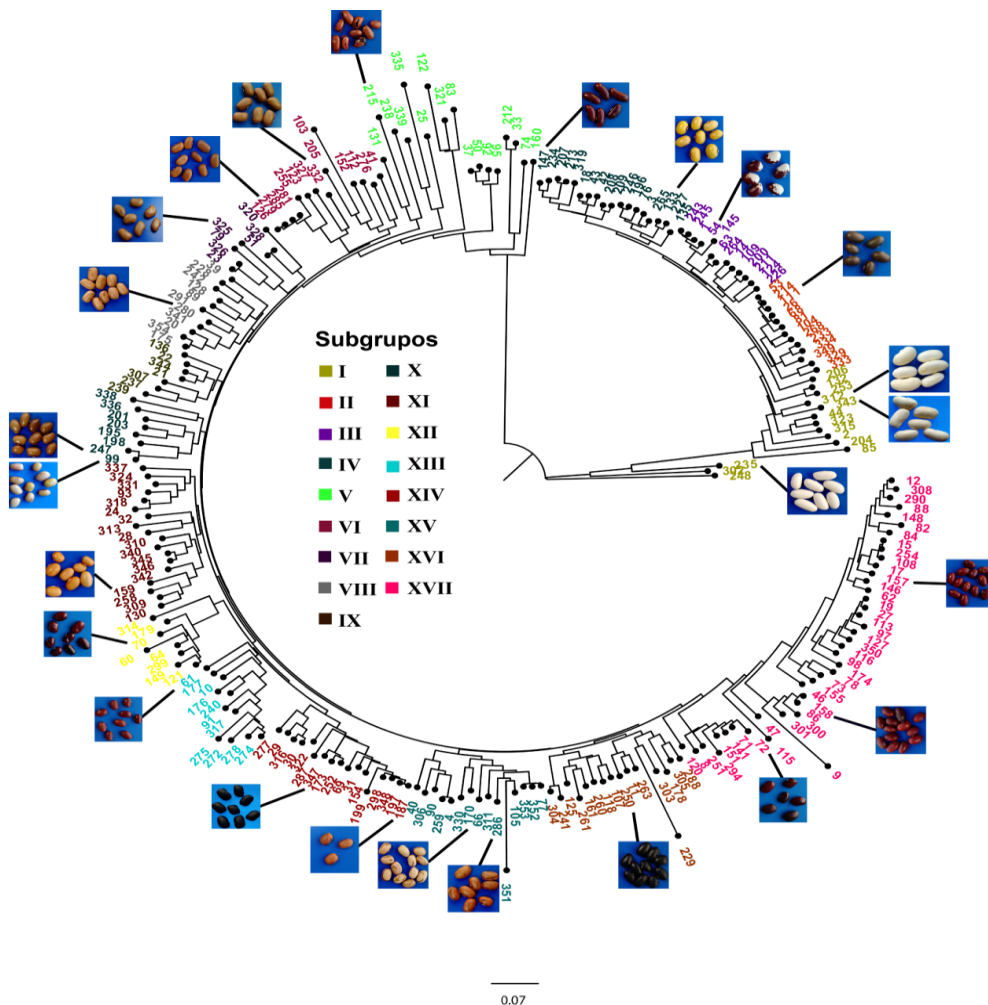


Figura 5. Dendrograma *Neighbor Joining* constituído a partir da Dissimilaridade de Simples Correspondência para 249 acessos de feijão comum com o conjunto de 217 SNP e 23 SSR concatenados. As ramificações foram coloridas de acordo com os subgrupos (CARVALHO et al., 2020).

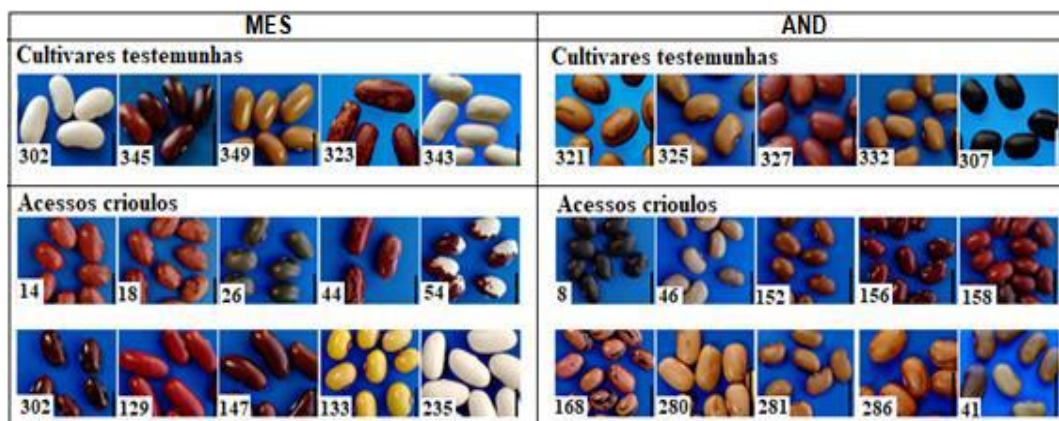


Figura 6. Imagens representativas mostrando a diversidade de tamanho, forma e cor de sementes disponíveis na coleção de trabalho de feijão avaliados neste estudo.

O estudo mostrou que os dois grandes grupos formados (andinos e mesoamericanos) sugerem que os acessos cultivados no estado do Espírito Santo representam pools gênicos derivados de ambos os eventos de domesticação, com maior representação do pool mesoamericano, como é visto ao longo do país.

A morfologia das sementes que prevaleceu nos genótipos do grupo andino foi de grãos médios e grandes, enquanto o grupo mesoamericano apresentou grãos médios e pequenos.

Com relação à distribuição dos tipos de grãos e cores do tegumento, a maior diversidade foi encontrada no grupo andino, com sementes de cor preta (grande), vermelha (grande), jalo, branca, rajado, verde, entre outras. No grupo mesoamericano, a maioria das sementes são do tipo carioca, pretas, vermelhas e beges.

2.1.2 Caracterização morfoagronômicas de 50 genótipos de feijoeiro

Após análise da variabilidade genética existente, 50 genótipos foram selecionados para a caracterização morfoagronômica em campo. O estudo avaliou os componentes de produção: diâmetro do caule, altura da planta, número de racemos, número de racemos produtivos, altura da primeira vagem, número de lóculos por planta, número de grãos por planta, peso em gramas de 100 grãos e rendimento de grãos.

Os 50 genótipos foram selecionados de acordo com: 1) representatividade de um subconjunto de feijoeiro altamente variáveis; 2) qualidades organolépticas no mercado regional; 3) ser amplamente cultivadas pelos agricultores nas principais áreas de cultivo; e 4) quantidade de sementes suficientes para serem submetidos a experimento em campo (Tabela 2).

Tabela 2. Feijões selecionados para caracterização morfoagronômicas em experimentos de campo. Nome, grupo comercial, municípios de coleta, peso de 100 grãos e hábito de crescimento dos genótipos de feijoeiro, colhidos e cultivados no estado do Espírito Santo

Nome	Grupo comercial	Municípios de coleta	P100	Hábito de crescimento****
Feijão crioulo				
Amarelo-133	Bolinha	Linhagem	29,21	Determinado
Amendoim-14	Rajado	Guaçuí	34,82***	Determinado

Amendoim-42	Vermelho	**	34,47***	Indeterminado
Bege-135	Jalo	Santa Teresa	38,28***	Indeterminado
Bico de ouro-12	Vermelho	Muniz Freire	23,85	Indeterminado
Bico de Ouro-120	Vermelho	Guaçuí	25,55	Indeterminado
Bico de Ouro-128	Vermelho	Irupi	22,03	Indeterminado
Branco-110	Branco	Domingos Martins	30,80***	Indeterminado
Branco-5	Branco	Vitória	58,28***	Indeterminado
Carioca Vermelho-168	outro*	Alegre	19,00	Indeterminado
Carioca-105	Carioca	Domingos Martins	26,97	Indeterminado
Enxofre-13	outro*	Muniz Freire	17,47	Indeterminado
Feijão 04-149	outro*	**	21,61	Determinado
Feijão rainha-18	Rajado	**	29,49	Indeterminado
Feijão Verde-26	outro*	Alegre	32,38***	Indeterminado
Manteiga bege claro-3	Jalo	Vitória	46,30***	Determinado
Marrom-112	Mulatinho	Santa Angélica	22,52	Indeterminado
Nº 10 Quadrado-156	Vermelho	**	27,56	Indeterminado
Ouro Vermelho-117	Vermelho	**	23,71	Indeterminado
Palhacinho-1	outro*	Vila Velha	35,58***	Determinado
Preto 13 (09)-69	Preto	**	20,49	Determinado
Preto-104	Preto	Domingos Martins	32,87***	Determinado
Preto-118	Preto	Venda Nova	19,17	Indeterminado
Preto-4	Preto	Vitória	19,27	Indeterminado
Vagem riscada-10	Preto	Muniz Freire	17,20	Indeterminado
Vagem riscada-11	Preto	Muniz Freire	18,73	Determinado
Vagem riscada-172	Preto	Alegre	18,17	Indeterminado
Vagem riscada-8	Preto	Alegre	16,37	Indeterminado
Vagem riscada-92	Preto	Alegre	24,82	Indeterminado
Verde 02-68	outro*	**	23,11	Indeterminado
Verde Cristo Rei 01-81	outro*	**	28,52	Determinado
Verde-109	outro*	Guaçuí	30,77***	Determinado

Verde-111	outro*	Santa Angélica	38,21***	Indeterminado
Verde-114	outro*	**	24,09	Indeterminado
Vermelho-132	Vermelho	Santa Teresa	34,78***	Determinado
Vermelho-174	Vermelho	Alegre	24,43	Indeterminado
Vermelho-19	Vermelho	Iúna	19,17	Indeterminado
Vermelho-9	Vermelho	Alegre	20,85	Determinado

Cultivares comerciais

BRS Esplendor-30	Preto	Cultivar	18,92	Indeterminado
BRS Estilo-24	Carioca	Cultivar	27,86	Indeterminado
BRS Notável-23	Carioca	Cultivar	22,15	Indeterminado
CNFC 15462-21	Carioca	Linhagem	21,28	Indeterminado
CNFC 15625-20	Carioca	Linhagem	27,10	Indeterminado
CNFP 15304-32	Preto	Linhagem	25,45	Indeterminado
IPR Colibri-25	Carioca	Cultivar	25,99	Indeterminado
IPR Uirapuru-89	Preto	Cultivar	24,90	Indeterminado
Notável-150	Carioca	Cultivar	21,77	Indeterminado
Pérola-22	Carioca	Cultivar	25,54	Indeterminado
Serrano-180	Preto	Cultivar	19,61	Indeterminado
Supremo-181	Preto	Cultivar	25,50	Indeterminado

* tipo comercial não identificado; ** sem identificação do município de coleta; *** peso de 100 grãos > 30g; **** Hábito de crescimento foi determinado de acordo com as orientações do Centro (CARVALHO et al., 2020).

Os resultados mostraram variabilidade entre os genótipos para todas as variáveis. O desempenho médio dos 50 genótipos em relação às 12 variáveis avaliadas no estudo está apresentado na tabela 3. O genótipo 69-Preto 13 exibiu o número máximo de vagens por planta (16,57) e o número máximo de sementes por planta (87,18). A maior massa de grãos por planta e o maior rendimento de grãos foi registrada para o genótipo 5-Branco (18,03g), seguido pelo 18-Feijão rainha (20,31g) e 69-Preto 13 (19,79 g). O mais alto peso de 100 grãos (58,28g) foi registrado no 5-Branco, seguido pelo 3-Manteiga bege claro (46,30g) e 135-Bege (38,28g).

Tabela 3. Médias dos 12 caracteres quantitativos de 50 acessos de feijão comum

Accession	DIAM	ALT	NN	NR	NRP	APV	NVP	NLP	NSP	MG	P100	RG
1-Palhacinho	4,60	38,40	4,88	3,81	3,40	16,37	7,92	37,11	26,66	9,92	35,58	1,983,82
3-Manteiga bege claro	4,61	53,23	5,60	3,75	2,77	26,87	4,97	24,87	18,89	8,32	46,30	1,663,83

4-Preto	4,91	65,82	9,93	3,56	2,75	21,84	9,15	51,80	40,45	6,83	19,27	1.365,77
5-Branco	6,57	47,24	6,71	6,16	5,09	17,45	13,34	50,40	40,43	20,31	58,28	4062,30
8-Vagem riscada	5,56	87,89	10,25	3,61	3,19	22,98	12,26	76,96	60,56	10,94	16,37	2.187,14
9-Vermelho	4,48	44,96	8,08	3,95	3,68	19,66	9,26	57,83	46,67	8,33	20,85	1.666,89
10-Vagem riscada	5,44	78,18	9,27	4,08	3,38	20,80	12,32	75,75	59,47	10,39	17,20	2.078,00
11-Vagem riscada	5,71	59,78	9,35	4,47	3,64	15,99	11,36	64,00	56,90	8,96	18,73	1.791,27
12-Bico de ouro	4,57	70,02	9,61	3,05	2,65	17,38	8,89	58,24	44,66	8,06	23,85	1.612,49
13-Enxofre	4,59	65,90	10,64	3,69	3,15	17,04	11,50	65,64	59,01	9,51	17,47	1.901,54
14-Amendoim	5,23	46,55	7,57	4,93	4,25	17,50	10,96	49,14	38,51	12,65	34,82	2.529,36
18-Feijão rainha	5,50	82,21	8,72	4,64	4,30	14,32	12,94	57,18	44,95	19,79	29,49	3958,86
19-Vermelho	5,04	70,76	10,03	4,65	3,65	20,04	12,03	73,15	60,53	12,97	19,17	2.594,22
20-CNFC 15625	4,40	50,01	7,38	4,09	3,92	16,58	11,32	67,15	51,19	13,70	27,10	2.740,71
21-CNFC 15462	5,07	59,48	8,92	3,13	2,64	16,91	9,40	57,91	45,73	10,89	21,28	2.177,55
22-BRSPérola	5,88	94,88	9,31	4,42	4,06	15,24	14,31	90,64	69,61	17,96	25,54	3591,79
23-BRS Notável	4,76	65,30	9,44	3,31	2,84	16,88	11,96	66,20	54,99	11,95	22,15	2.389,67
24-BRS Estilo	5,24	58,43	9,53	3,80	3,18	14,83	10,28	61,24	48,64	12,23	27,86	2.446,88
25-IPR Colibri	4,20	43,70	7,14	4,33	4,03	15,34	12,28	69,68	56,30	13,52	25,99	2.704,19
26-Feijão Verde	4,63	44,19	6,56	4,06	3,39	21,61	8,54	41,78	32,54	11,47	32,38	2.294,47
30-BRS Esplendor	5,24	57,15	9,45	3,92	3,60	13,16	12,58	76,12	63,25	10,29	18,92	2.057,04
32-CNFP 15304	4,62	62,78	8,19	3,88	3,59	19,08	10,38	54,19	47,35	11,99	25,45	2.397,24
42-Amendoim	4,87	90,78	8,25	3,16	2,91	16,40	7,88	39,14	31,38	10,89	34,47	2.178,26
68-Verde 02	4,93	44,21	5,31	4,66	3,62	21,00	9,03	43,36	34,88	9,25	23,11	1.850,41
69-Preto 13 (09)	6,58	75,83	11,26	4,29	3,70	18,58	16,57	106,32	87,18	18,03	20,49	3605,52
81-Verde Cristo Rei 01 (102)	4,48	42,41	6,12	4,16	3,53	20,10	8,59	34,36	28,78	9,90	28,52	1.980,49
89-IPR Uirapuru	5,37	60,26	10,12	2,64	2,21	18,71	9,78	61,33	51,22	10,64	24,90	2.127,18
92-Vagem Riscada	4,84	77,60	8,92	2,95	2,70	15,19	11,42	62,05	55,71	13,04	24,82	2.608,01
104-Preto	4,71	38,32	5,02	3,98	3,48	17,26	7,99	35,95	30,08	10,23	32,87	2.046,22
105-Carioca	5,22	86,47	8,96	3,26	3,16	16,20	10,71	69,18	52,58	12,46	26,97	2.492,22
109-Verde	4,69	46,92	6,52	4,21	3,44	17,05	9,23	48,97	36,75	9,60	30,77	1.919,94
110-Branco	5,59	66,23	7,47	5,09	4,52	16,78	14,86	78,46	57,92	16,68	30,80	3335,98
111-Verde	5,02	42,98	7,40	4,05	3,71	17,09	11,51	56,53	44,39	15,48	38,21	3096,87
112-Marom	5,85	71,83	7,04	4,86	4,00	23,40	12,87	61,75	51,37	12,78	22,52	2.555,87
114-Verde	4,23	51,22	6,23	3,37	2,81	20,71	7,52	30,86	25,48	6,07	24,09	1.214,39
117-Ouro Vermelho	4,59	74,75	8,76	4,37	3,42	19,53	10,06	50,21	40,41	8,30	23,71	1.659,06
118-Preto	4,93	71,35	9,28	3,48	2,82	17,95	9,21	52,32	42,60	7,90	19,17	1.580,20
120-Bico de Ouro	4,48	76,84	8,72	3,65	3,09	17,86	11,11	59,14	49,86	11,45	25,55	2.289,01
128-Bico de Ouro	4,15	64,99	9,45	3,67	3,27	18,20	11,06	57,03	47,77	10,68	22,03	2.135,53
132-Vermelho	4,95	35,68	6,18	4,84	4,34	17,26	10,06	38,86	27,57	10,36	34,78	2.071,02
133-Amarelo	4,75	45,09	6,55	4,18	3,38	23,09	7,72	41,12	30,54	10,42	29,21	2.083,10
135-Bege	15,87	49,71	6,81	4,09	3,48	25,12	8,39	45,46	34,07	12,69	38,28	2.538,24
149-Feijão 04	4,44	44,60	9,50	3,56	3,21	14,31	11,16	63,47	50,41	10,16	21,61	2.081,89
150-Notável	4,59	54,88	9,36	3,87	3,28	17,96	11,91	56,65	46,48	8,01	21,77	1.601,32
156-Nº 10 Quadrado	4,37	43,31	8,69	3,64	3,33	13,68	11,03	63,77	50,12	11,13	27,56	2.225,00
168-Carioca Vermelho	4,15	79,49	9,68	3,73	3,10	17,98	9,80	53,52	42,19	7,34	19,00	1.467,70
172-Vagem Riscada	5,65	74,80	9,96	4,37	3,87	20,89	13,55	77,73	60,72	10,45	18,17	2.090,77
174-Vermelho	4,43	81,25	9,22	4,14	3,65	20,84	9,20	56,73	46,11	9,53	24,43	1.906,53
Emcapa 404 Serrano-180	4,45	64,42	9,44	2,90	2,32	18,48	9,86	56,25	40,39	7,21	19,61	1.441,30
181-Supremo	5,40	53,51	8,06	3,11	2,83	14,99	9,43	60,08	49,29	10,47	25,50	2.094,57

DIAM: diâmetro do caule em mm; ALT: altura da planta em cm; NN: número de nós à colheita; NR: número de racemos; NRP: número de racemos produtivas; APV: altura da primeira vagem em cm; NV: número de vagens por planta; NLV: número de lóculos por vagem; NSV: número de sementes por vagem; MG: massa de grãos por planta em g planta⁻¹; P100: peso de 100 sementes (g); RG: rendimento de grãos em Kg/ha. (CARVALHO et al., 2019).

Dos 50 genótipos utilizados na caracterização morfoagronômicas, verificou-se materiais genéticos de alta produção, e dentro desse grupo, materiais de diferentes

instituições que são comerciais, mas não apresentaram produções tão elevadas quanto a alguns acessos específicos do ES, ou seja, observa-se uma alta produtividade dos crioulos cultivados no estado que não necessariamente apresentam similaridade genética com materiais que são comerciais.

O agrupamento com base nas características morfoagronômicas possibilitou a distribuição dos 50 genótipos em seis grupos e demonstrou haver ampla diversidade entre os acessos crioulos (figura 7). A menor dissimilaridade foi entre os acessos 26-Feijão Verde e 133-amarelo e a maior entre os acessos 5-Branco e 13-Enxofre. O grupo G1 foi formado por nove genótipos comerciais e 18 crioulos. O grupo G2 foi formado por dois genótipos comerciais e 14 crioulo. O grupo G3 foi formado por 1 genótipo comercial e 3 crioulos. Os grupos G4, G5 e G6 foram formados cada um por um genótipo crioulo.

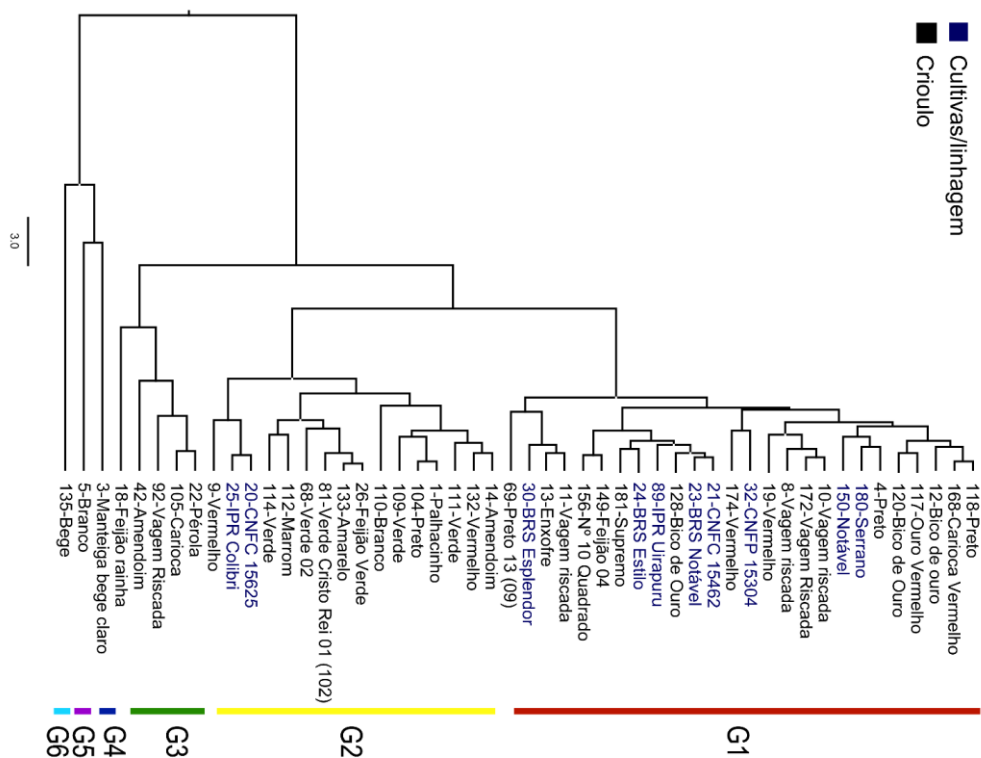


Figura 7. Dendrograma obtido por meio de 12 variáveis quantitativas com a distância de Mahalanobis e pelo método de agrupamento UPGMA dos 50 genótipos de feijoeiro.

No estudo referente à figura 8, nos grupos G1, G4, G5 e G6 ficaram os grãos com peso de 100 sementes variando de 20,85 a 58,28 g, nesse grupo existe a possibilidade de haver representantes do pool gênico Andino. Nos grupos G2 e G3 o peso de 100 sementes variou de 16,37 a 29,49 g, sugestivamente nesse grupo há

representantes do pool gênico mesoamericano. Explorando mais afundo, percebeu-se que os mais produtivos estão no grupo dos andinos (em azul), mas alguns que são mesoamericanos, também muito produtivos (setas verdes).

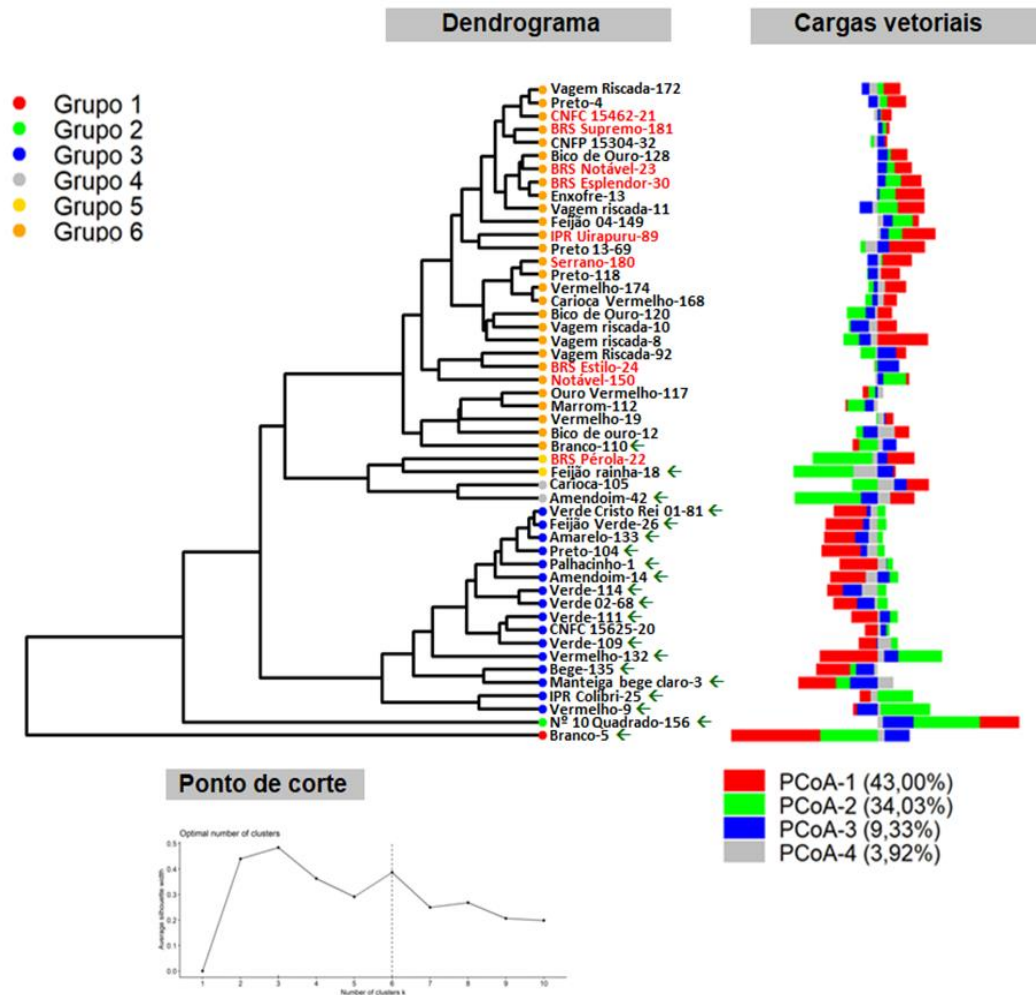


Figura 8. Dendrograma obtido por meio de 12 variáveis quantitativas com a distância de Mahalanobis e pelo método de agrupamento UPGMA em 50 genótipos de feijoeiro. As setas indicam os acessos com peso de 100 sementes acima de 30g. (CARVALHO et al., 2020).

2.1.3 Caracterização da qualidade nutricional de 50 genótipos de feijoeiro

Os 50 genótipos divergentes apresentados anteriormente foram levados a campo para multiplicação, no entanto, 9 materiais foram perdidos, não havendo sementes para reposição, sendo eles Notável-150, IPR Uirapuru-89, IPR Colibri-25, F173 Preto, Amarelo-133, Feijão rainha-18, Feijão Verde-26, Branco-110 e Branco-5, os quais foram substituídos por outros 9 também divergentes, destacados em negrito na tabela 3.

Foram avaliados quanto à qualidade centesimal (umidade, cinza, fibra, lipídio, proteína, carboidrato, energia) e mineral (N, Ca, P, K, Mg, S, Mn, Cu, Zn e Fe) dos grãos de feijão comum (ALTOÉ, 2018).

Tabela 3. Feijões selecionados para caracterização morfoagronômicas em experimentos de campo. Nome, grupo comercial, municípios de coleta, peso de 100 grãos e hábito de crescimento dos acessos de feijão comum, colhidos e cultivados no estado do Espírito Santo

ID	Nome	Grupo comercial	Municípios de coleta	P100	Hábito de crescimento****
Feijão crioulo					
F14	Amendoim	Rajado	Guaçuí	34,82***	Determinado
F42	Amendoim	Vermelho	**	34,47***	Indeterminado
F135	Bege	Jalo	Santa Teresa	38,28***	Indeterminado
F12	Bico de ouro	Vermelho	Muniz Freire	23,85	Indeterminado
F120	Bico de Ouro	Vermelho	Guaçuí	25,55	Indeterminado
F128	Bico de Ouro	Vermelho	Irupi	22,03	Indeterminado
F220	Bico de Ouro	Vermelho	Irupi		
F173	Preto	Preto	Alegre		
F105	Carioca	Carioca	Domingos Martins	26,97	Indeterminado
F130	Carioca	Carioca	Venda Nova		
F4	Crioulo	Preto	Vitória		
F123	Campo Salis	Cores	Guaçuí		
F13	Enxofre	outro*	Muniz Freire	17,47	Indeterminado
F149	Feijão 04	outro*	**	21,61	Determinado
F3	Manteiga bege claro	Jalo	Vitória	46,30***	Determinado
F112	Marrom	Mulatinho	Santa Angélica	22,52	Indeterminado
F15	Mata Mulher	Vermelho	Muniz Freire		
F156	Nº 10 Quadrado	Vermelho	**	27,56	Indeterminado
F117	Ouro Vermelho	Vermelho	**	23,71	Indeterminado
F1	Palhacinho	outro*	Vila Velha	35,58***	Determinado
F69	Preto 13 (09)	Preto	**	20,49	Determinado
F104	Preto	Preto	Domingos Martins	32,87***	Determinado
F118	Preto	Preto	Venda Nova	19,17	Indeterminado

F4	Preto	Preto	Vitória	19,27	Indeterminado
F10	Vagem riscada	Preto	Muniz Freire	17,20	Indeterminado
F11	Vagem riscada	Preto	Muniz Freire	18,73	Determinado
F172	Vagem riscada	Preto	Alegre	18,17	Indeterminado
F8	Vagem riscada	Preto	Alegre	16,37	Indeterminado
F92	Vagem riscada	Preto	Alegre	24,82	Indeterminado
F68	Verde 02	outro*	**	23,11	Indeterminado
F81	Verde Cristo Rei 01	outro*	**	28,52	Determinado
F109	Verde	outro*	Guaçuí	30,77***	Determinado
F111	Verde	outro*	Santa Angélica	38,21***	Indeterminado
F114	Verde	outro*	**	24,09	Indeterminado
F89	Vermelho n°03	Vermelho	**		
F168	Vermelho	Vermelho	Alegre		
F132	Vermelho	Vermelho	Santa Teresa	34,78***	Determinado
F174	Vermelho	Vermelho	Alegre	24,43	Indeterminado
F19	Vermelho	Vermelho	Iúna	19,17	Indeterminado
F9	Vermelho	Vermelho	Alegre	20,85	Determinado

Cultivares comerciais

F30	BRS Esplendor	Preto	Cultivar	18,92	Indeterminado
F24	BRS Estilo	Carioca	Cultivar	27,86	Indeterminado
F23	BRS Notável	Carioca	Cultivar	22,15	Indeterminado
F50	BRS Notável	Carioca	Cultivar		
F21	CNFC 15462	Carioca	Linhagem	21,28	Indeterminado
F20	CNFC 15625	Carioca	Linhagem	27,10	Indeterminado
F32	CNFP 15304	Preto	Linhagem	25,45	Indeterminado
F93	CNFP 15475	Carioca	Linhagem		Indeterminado
F22	Pérola	Carioca	Cultivar	25,54	Indeterminado
F180	Serrano	Preto	Cultivar	19,61	Indeterminado
F181	Supremo	Preto	Cultivar	25,50	Indeterminado

* tipo comercial não identificado; ** sem identificação do município de coleta; *** peso de 100 grãos > 30g; **** Hábito de crescimento foi determinado de acordo com as orientações do Centro (CARVALHO et al., 2020).

Neste estudo, foi observada diferença estatística significativa para todas as variáveis avaliadas, com alta variação mineral nos grãos desses feijões. As maiores médias para as características minerais e centesimais estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Genótipos com maiores valores para as características nutricionais avaliadas em grãos de 50 genótipos de feijão comum cultivados no estado do ES

Variável	Genótipos Destaques	Genótipos no mesmo grupo
N	*F180 - Serrano	-
P	*F30 - BRS Esplendor	F150, F23, F172
S	*F30 - BRS Esplendor	F117, F15, F30, *F20, F174, F172
Ca	F173 - Preto	F181, *F22, F173, *F21, F4, F109
Cu	F112 - Marrom	*F22, F11
Mg	F149 - Feijão 04	F8, F10, F174
Mn	F149 - Feijão 04	F8, F10, F174
K	F15 - Mata Mulher	*F180, F81
Fe	*F24 - BRS Estilo	F10
Zn	*F24 - BRS Estilo	F118, F112, F4, F220, *F32
Proteína	*F180 - Serrano	-
Fibra	F1 - Palhacinho	-
Carboidrato	F111 - Verde	F3, F135, F24*, F109
Cinza	F10 - Vagem riscada	F132, F172, F92, F117, F22*, F19
Lípideo	F15 - Mata Mulher	F12, F123

*Genótipos comerciais

Na tabela 5, os resultados do estudo, para umas das principais variáveis visadas pelos programas de melhoramento genético, mostram que nenhum genótipo obteve as maiores médias para todas as variáveis analisadas. Mas, é importante observar que, para cinco características bastante visadas pelos programas de melhoramento genético, genótipos crioulos se mostraram melhor que genótipos comerciais ou não tiveram diferença estatística significativa com genótipos comerciais, segundo teste estatístico de agrupamento de médias de Scott Knott. Resultados como estes demonstram a importância de estudar genótipos crioulos e preservá-los para que possam ser utilizados em programas de melhoramento genético.

Tabela 5. Resumo dos genótipos crioulos e comerciais que apresentaram maiores médias para as variáveis fibra, proteína, carboidrato, ferro e zinco nos grãos de feijão comum pelo teste de agrupamento de médias de Scott Knott

Variáveis	Crioulo	Comercial
Fibra	F1a	F32c
Proteína	F172b, F3b	F180a
Carboidrato	F111a, F3a, F135a, F109a	F24a
Ferro	F10a	F24a, F32a
Zinco	F4a, F120a, F118a, F112a	F24a, F32a

F1-Palhacinho; F32-CNFP15304, F172-Vagem riscada; F3: Manteiga bege claro; F180: Serrano; F111- Verde; F135- Bege; F109- Verde; F24- BRS Estilo; F10- Vagem riscada; F4- Preto; F120- Bico de Ouro; F118- Preto; F112- Marrom

A identificação de linhagens com maior qualidade nutricional pode alinhar grãos de alta qualidade nutricional com características agrônômicas de interesse pelos programas de melhoramento genético.

2.1.4 Diversidade genética para características físico-químicas dos grãos de feijão

Com os 50 genótipos de feijoeiro coletados no Estado do Espírito Santo (Tabela 3), também foi avaliada a diversidade genética com base em características físico-químicas (cinza, umidade, fibra, lipídeo, proteína, carboidrato, energia, N, P, K, Mg, Ca, S, Mn, Fe, Zn e Cu) e verificado qual grupo de características mais influenciou na variabilidade genética dos genótipos.

O estudo mostrou que, para todas as características físico-químicas avaliadas, o genótipo F11 (Vagem Riscada) foi o mais divergente, tendo maior dissimilaridade com o genótipo F3 (Manteiga Bege Claro). A menor dissimilaridade foi observada entre os genótipos F118 (Preto) e F4 (Crioulo). A identificação de genótipos contrastantes é relevante para o programa de melhoramento alcançar êxito na seleção, uma vez que muitas variáveis são controladas por muitos genes, cada um com pequeno efeito no fenótipo e são de difícil seleção, como é o caso das características em estudo (ALTOÉ, 2018).

O estudo de diversidade genética, para todas as variáveis avaliadas, distribuiu os genótipos em cinco grupos, os quais podem ser visualizados no dendrograma (Figura 9).

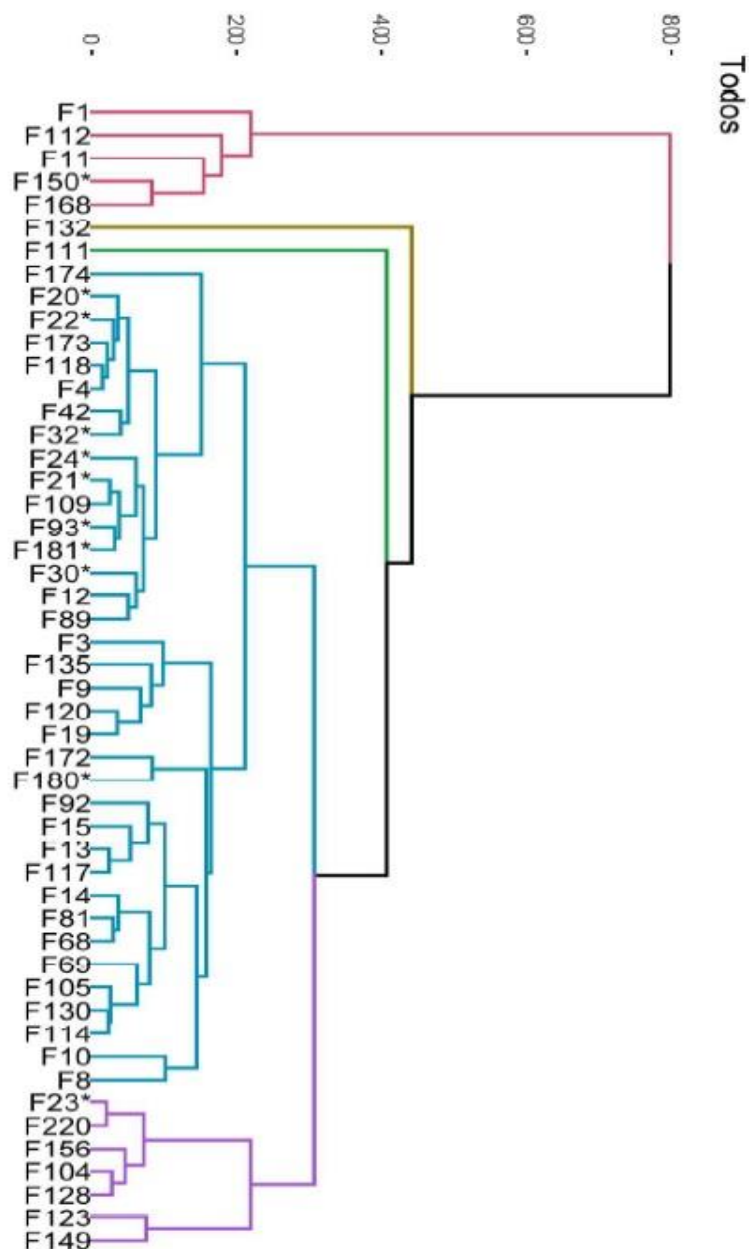


Figura 9 - Agrupamentos UPGMA de 50 genótipos de feijão comum cultivados no Estado do Espírito Santo para as variáveis cinza, umidade, fibra, lipídeo, proteína, carboidrato, energia, N, P, K, S, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn, Cu. *Comercial.

O grupo 1 foi composto por cinco genótipos, dentre eles, apenas um comercial F150* (BRS Notável) e quatro crioulos F1 (Palhacinho), F11 (Vagem Riscada), F112 (Marrom), F168 (Vermelho). O grupo 2 e o grupo 3 foram formados pelos genótipos crioulos, F132 (Vermelho) e F111 (Verde), respectivamente. O grupo 4, formado pela maior quantidade de genótipos (72%), entre eles crioulos e cultivares. O grupo 5 apresentou sete genótipos, dentre eles apenas um comercial F23* (BRS Notável).

O estudo mostrou que em um mesmo grupo possui genótipos crioulos e genótipos comerciais, demonstrando que genótipos crioulos apresentam um potencial de seleção decorrente da menor dissimilaridade entre eles para as respectivas características avaliadas. Assim, a estimativa da variabilidade genética existente entre os genótipos de feijão comum é importante não só para a conservação dos recursos genéticos, mas também para aplicações no melhoramento de plantas.

2.1.5 Caracterização morfoagronômicas de 35 genótipos de feijoeiro

Trinta e cinco genótipos divergentes foram avaliados com base em descritores morfoagronômicos selecionados de acordo com a lista de descritores mínimos para a cultura do feijão na Inscrição no Registro Nacional de Cultivares (RNC) preconizada no Decreto no 2.366, de 5 de novembro de 1997 (BRASIL, 1997).

Tabela 1. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Baitão Mamoninha (INC-23)

Descritores		Descritores	
Genótipo	Cultivado não comercial	Brilho da semente	Opaco
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	18,085

Fonte: a autora, 2021.



Figura 1. Feijão Baitão Mamoninha (INC-23)

Tabela 2. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Vermelho Antigo (INC-44)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Vermelho	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	25,070

Fonte: a autora, 2021.



Figura 2. Feijão Vermelho Antigo (INC-44)

Tabela 3. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Vagem Preta (INC-60)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	30,036

Fonte: a autora, 2021.



Figura 3. Feijão Vagem Preta (INC-60)

Tabela 4. Descrição das características qualitativas do genótipo Feijão Nova planta (INC-61)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	reto

Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	23,693

Fonte: a autora, 2021.



Figura 4. Feijão Nova planta (INC-61)

Tabela 5. Descrição das características qualitativas do genótipo Feijão Penquinha (INC-62)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Prostrado	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	34,921

Fonte: a autora, 2021.



Figura 5. Feijão Penquinha (INC-62)

Tabela 6. Descrição das características qualitativas do genótipo Feijão Manteigão (INC-66)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Andino
Cor das asas	Rosa	Peso de 100 sementes (g)	37,001

Fonte: a autora, 2021.



Figura 6. Feijão Manteigão (INC-66).

Tabela 7. Descrição das características qualitativas do genótipo Feijão Terrinha (INC-67)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado II	Halo	Presente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Reto
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	21,474

Fonte: a autora, 2021.



Figura 7. Feijão Terrinha (INC-67)

Tabela 8. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Preto (INC-81)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Vermelho	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal

Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	34,830

Fonte: a autora, 2021.



Figura 8. Feijão Preto (INC-81)

Tabela 9. Descrição das características qualitativas do genótipo Feijão Caetezinho (INC-90)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Reto
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	29,790

Fonte: a autora, 2021.



Figura 9. Feijão Caetezinho (INC-90)

Tabela 10. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Porto Real (INC-94)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	41,422

Fonte: a autora, 2021.



Figura 10. Feijão Porto Real (INC-94)

Tabela 11. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Carioquinha (INC-95)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
----------------------	---------	--------------------------	---------------

Cor	Carioca	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	14,027

Fonte: a autora, 2021.



Figura 11. Feijão Cariquinha (INC-95).

Tabela 12. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Carioca (INC-106)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Carioca	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano

Cor das asas

Roxa

**Peso de 100
sementes (g)**

29,704

Fonte: a autora, 2021.



Figura 12. Feijão Carioca (INC-106)

Tabela 13. Descrição das características qualitativas do genótipo Feijão Serrano (INC-Serrano)

Classificação	Comercial	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Reto
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	22,669

Fonte: a autora, 2021.



Figura 13. Feijão Serrano (INC-Serrano)

Tabela 14. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Goytacazes (INC-Goytacazes)

Classificação	Comercial	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Carioca	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Reto
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	30,304

Fonte: a autora, 2021.



Figura 14. Feijão Goytacazes (INC-Goytacazes)

Tabela 15. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Rio Tibagi (INC-Rio Tibagi)

Classificação	Comercial	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado

Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	39,720

Fonte: a autora, 2021.



Figura 15. Feijão Rio Tibagi (INC-Rio Tibagi).

Tabela 16. Descrição das características qualitativas do genótipo feijão Rio Doce (INC-Rio Doce)

Classificação	Comercial	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Carioca	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	24,104

Fonte: a autora, 2021.



Figura 16. Feijão Rio Doce (INC-Rio Doce)

Tabela 17. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Capixaba Precoce

Classificação	Comercial	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	38,209

Fonte: a autora, 2021.



Figura 17. Feijão Capixaba Precoce

Tabela 18. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Manteiga vermelho (UFES-2)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Vermelho	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Rosa	Peso de 100 sementes (g)	18,588

Fonte: a autora, 2021.



Figura 18. Feijão Manteiga vermelho (UFES-2)

Tabela 19. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Preto (UFES-4)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Recurvado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado

Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	25,058

Fonte: a autora, 2021.



Figura 19. Feijão Preto (UFES-4)

Tabela 20. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Vermelho (UFES-9)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Vermelho	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	19,782

Fonte: a autora, 2021.



Figura 20. Feijão Vermelho (UFES-9)

Tabela 21. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Vagem riscada (UFES-11)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	23,933

Fonte: a autora, 2021.



Figura 21. Feijão Vagem riscada (UFES-11)

Tabela 22. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Vermelho (UFES-19)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Vermelho	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	23,844

Fonte: a autora, 2021.



Figura 22. Feijão Vermelho (UFES-19)

Tabela 23. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Preto (UFES-118)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Prostrado	Perfil da Vagem	Arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal

Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	18,750

Fonte: a autora, 2021.



Figura 23. Feijão Preto (UFES-118)

Tabela 24. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Carioca (UFES-130)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Carioca	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	21,247

Fonte: a autora, 2021.



Figura 24. Feijão Carioca (UFES-130)

Tabela 25. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Palhacinho (UFES-1)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Andino
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	28,728

Fonte: a autora, 2021.



Figura 25. Feijão Palhacinho (UFES-1)

Tabela 26. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Verde Cristo Rei 01 (UFES-81)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Andino
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	28,036

Fonte: a autora, 2021.



Figura 26. Feijão Verde Cristo Rei 01 (UFES-81)

Tabela 27. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Verde (UFES-111)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal

Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Andino
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	26,878

Fonte: a autora, 2021.



Figura 27. Feijão Verde (UFES-111)

Tabela 28. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Vagem riscada (UFES-10)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Semi-ereto	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	23,744

Fonte: a autora, 2021.



Figura 28. Feijão Vagem riscada (UFES-10)

Tabela 29. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Amarelo (UFES-133)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Determinado	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Desuniforme	Pool Gênico	Andino
Cor das asas	Rosa	Peso de 100 sementes (g)	35,001

Fonte: a autora, 2021.



Figura 29. Feijão Amarelo (UFES-133)

Tabela 30. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Amendoim (UFES-14)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Cores	Presença de antocianina no caule	Ausente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Presente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Reto
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Desuniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Andino
Cor das asas	Rosa	Peso de 100 sementes (g)	25,997

Fonte: a autora, 2021.



Figura 30. Feijão Amendoim (UFES-14)

Tabela 31. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Preto (UFES-173)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal

Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	40,137

Fonte: a autora, 2021.



Figura 31. Feijão Preto (UFES-173)

Tabela 32. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Vermelho (UFES-174)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Brilhoso
Cor	Vermelho	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Branca	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Branca	Peso de 100 sementes (g)	21,343

Fonte: a autora, 2021.



Figura 32. Feijão Vermelho (UFES-174)

Tabela 33. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão CNFP 15304 (UFES-32)

Classificação	Comercial	Brilho da semente	Intermediário
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Afilado
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	reto
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	19,205

Fonte: a autora, 2021.



Figura 33. Feijão CNFP 15304 (UFES-32)

Tabela 34. Descrição das características qualitativas do genótipo de feijão Vagem riscada (UFES-8)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Preto	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Roxa	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano
Cor das asas	Roxa	Peso de 100 sementes (g)	23,362

Fonte: a autora, 2021.



Figura 34. Feijão Vagem riscada (UFES-8)

Tabela 35. Descrição das características qualitativas do genótipo de Feijão Carioca (UFES-136)

Classificação	Crioulo	Brilho da semente	Opaco
Cor	Carioca	Presença de antocianina no caule	Presente
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Halo	Ausente
Tipo de Planta	Semi-ereto	Perfil da Vagem	Semi-arqueado
Cor da flor	Roxa	Ápice da vagem	Abrupto
Cor da Vagem	Verde	Forma do Dente	Arqueado
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Posição do dente apical	Não marginal
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Pool Gênico	Mesoamericano

Cor das asas

Roxa

**Peso de 100
sementes (g)**

20,917

Fonte: a autora, 2021.



Figura 35. Feijão Carioca (UFES-136)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) é uma cultura de importância direta para a agricultura e alimentação, sendo de extrema importância promover a criação, conservação e enriquecimento de seu germoplasma. O germoplasma de feijoeiro, criado pelo grupo de pesquisa do CCAE/UFES, torna possível que recursos genéticos de genótipos cultivados no estado do Espírito Santo sejam preservados e conservados, evitando perda de genes ou de combinações gênicas. Conhecer e utilizar os recursos genéticos adequados é uma das principais estratégias de melhoramento, pois a partir deles, é possível verificar e escolher quais os genótipos promissores poderão fazer parte dos cruzamentos dirigidos, gerando os recombinantes desejados, de acordo com o objetivo do programa de melhoramento. Todas as informações dos estudos dos recursos genéticos fornecem uma visão sobre a diversidade e estrutura de um germoplasma geograficamente representativo de variedades crioulas e comerciais de feijoeiros cultivados no estado do Espírito Santo, tornando a coleção estudada uma fonte valiosa que deve ser preservada, priorizada e explorada em programas de melhoramento. Fazer um levantamento e organizar as informações dos estudos dos recursos genéticos é importante para fornecer informações fundamentais que facilitarão a identificação dos genótipos de feijoeiro.

Referências

- ALTOÉ, S.C. **Caracterização química de grãos de feijão comum: crioulos e comerciais**. 2018. 70f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2018.
- BARILI, L. D.; VALE, N. M.; MORAIS, P. P. P.; BALDISSERA, J. N. C.; ALMEIRA, C. B.; ROCHA, F.; VALENTINI, G.; BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Correlação fenotípica entre componentes do rendimento de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, p. 1263-1274, 2011.
- BITOCCHI, E.; NANNI, L.; BELLUCCI, E.; ROSSI, M.; GIARDINI, A.; ZEULI, P.S.; LOGOZZO, G.; STOUGAARD, J.; MCCLEAN, P.; ATTENE, G.; et al. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, p. 788-796, 2012.
- BITOCCHI, E.; RAU, D.; BELLUCCI, E.; RODRIGUEZ, M.; MURGIA, M. L.; GIOIA, T.; SANTO, D.; NANNI, L.; ATTENE, G.; PAPA, R. Beans (*Phaseolus* spp.) as a model for understanding crop evolution. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 722, 2017.
- BLAIR M. W.; CORTÉS A. J.; THIS D. Identification of an ERECTA gene and its drought adaptation associations with wild and cultivates common bean. **Plant Science**, v. 242, p. 250-259, 2016.
- BROUGHTON W. J.; HERNANDEZ G.; BLAIR M. W.; BEEBE S., GEPTS P.; VANDERLEYDEN J. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. **Plant Soil**, Dordrecht, v.252, p.55-128, 2003.
- CARVALHO, M. S., CARIAS, C. M. O. M., SILVA, FERREIRA, M. A., M. F. S., SOUZA, T. L. P. O., POSSE, S. C. P., FERREIRA, A. “Genetic diversity and structure of landrace accessions, elite lineages and cultivars of common bean estimated with SSR and SNP markers.” **Molecular biology reports**, v. 9, p. 6705-6715, 2020.
- CARVALHO, M. S. N. D; MANGOLIN, C. A.; SCAPIM, C. A.; DA SILVA, T. A.; DA SILVA, M. D. F. P. A collection of popcorn as a reservoir of genes for the generation of lineages. **Molecular biotechnology**, v. 53, n. 3, p. 300-307, 2013.

CELMELI, T.; SARI, H.; CANCI, H.; SARI, D.; ADAK, A.; EKER, T.; TOKER, C. The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. **Agronomy**, v. 8, p. 166, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento de safra brasileira de grãos: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto 2022/** Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2022.

COSTA, A. M.; SPEHAR, C. R.; SERENO, J. R. B. (Ed.). **Conservação de recursos genéticos no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 628 p. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/110820/1/costa-01.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2022.

DYER, G. A.; LÓPEZ-FELDMAN, A.; YÚNEZ-NAUDE, A.; TAYLOR, J. E. Genetic erosion in maize's center of origin. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 39, p. 14094-14099, 2014.

EMYGDIO B. M.; ANTUNES I. F.; NEDEL J. L.; CHOER, E. Diversidade genética em cultivares locais e comerciais de feijão baseada em marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1165-1171, 2003.

ELOI, I. B. O.; MANGOLIN, C. A.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES, C. S.; MACHADO, M. F. P. S. Selection of high heterozygosity popcorn varieties in Brazil based on SSR markers. **Genetics and molecular research**, v. 11, n. 3, p. 1851-1860, 2012.

FIORE, M. C., RAIMONDO, F. M., MERCATI, F., DIGANGI, I., SUNSERI, F., & SCIALABBA, A. Preserving Biodiversity in Marginal Rural Areas: Assessment of Morphological and Genetic Variability of a Sicilian Common Bean Germplasm Collection. **Plants (Basel, Switzerland)**, v. 9, n. 8, p. 989, 2020.

GOVINDARAJ, M.; VETRIVENTHAN, M.; SRINIVASAN, M. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. **Genetics research international**, v. 2015, p.14, 2015.

GEPTS P.; OSBORNE T. C.; RASHKA K.; BLISS F. A. Electrophoretic analysis of phaseolin protein variability in wild forms and landraces of the common bean *Phaseolus vulgaris* L.: evidence for two centers of domestications. **Economic Botany**, v. 40, p. 451–468, 1986.

INTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (Incaper). **Ações do Estado para a agricultura familiar é tema de reunião na Sede do Incaper**. Disponível em: <<https://incap>>

[er.es.gov.br/Not%C3%ADcia/acoes-do-estado-para-a-agricultura-familia-reunia-na-sede-do-incaper](http://www.es.gov.br/Not%C3%ADcia/acoes-do-estado-para-a-agricultura-familia-reunia-na-sede-do-incaper)>. Acesso em: 20 jul. 2022.

JOST, E.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M.; CERUTTI, T.; ROSA, D. P. Efeitos gênicos do teor de cálcio em grãos de feijão. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 31-37, 2009.

KWAK M.; GEPTS P. Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., Fabaceae). **Theoretical and Applied Genetics**. v. 118, p. 979-992, 2009.

KOINANGE, E. M. K.; GEPTS, P. Hybrid weakness in wild *Phaseolus vulgaris* L. **Journal of Heredity**. v. 83, p. 135-139, 1992.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; FILHO, A. C. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 32, n. 1, 2008.

LOPES, M. A.; MELLO, S. C. M. de. **Estratégias para melhoria, manutenção e dinamização do uso dos bancos de germoplasma relevantes para a agricultura brasileira**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005.

LOUETTE, D.; CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize management in a traditional community. **Economic Botany**. Estados Unidos, 5, p. 20-38, 1997.

MAMIDI, S.; ROSSI, M.; MOGHADDAM, S. M.; ANNAM, D.; LEE, R.; PAPA, R.; MCCLEAN, P. E. Demographic factors shaped diversity in the two gene pools of wild common bean *Phaseolus vulgaris* L. **Nature**, v. 110, p. 267–276, 2013.

MATOS, R. F.; SILVA JUNIOR, J. B. P.; ASSIS FILHO, F. M.; SOUSA, R. L.; FREITAS JUNIOR, S. P. **Avaliação das características germinativas de sementes de feijão-caupi crioulas utilizadas no cariri cearense**. In: III Congresso nacional de Feijão-caupi-CONAC. Resumos... Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, p. 1-3, 2013.

MCCLEAN P. E.; LEE R. K.; MIKLAS P. N. Análise da diversidade de sequências do intron da dihidroflavonol 4-reductase em feijoeiro. **Genoma**, v.47 p. 266–280, 2004.

MCDERMOTT, J.; WYATT, A. J. The role of pulses in sustainable and healthy food systems. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1392(1), p. 30-42, 2017.

OKII D.; TUKAMUHABWA P.; ODONG P.; NAMAYANJA A.; MUKABARANGA J.; PAPARU P.; GEPTS P. Morphological diversity of tropical common bean germplasm. **African Crop Science Journal** v. 22, p. 59–68, 2014.

RENDON-ANAYA M.; MONTERO-VARGAS J. M.; SABURIDO-ALVAREZ S.; VLASOVA A.; CAPELLA-GUTIERREZ S.; ORDAZ-ORTIZ J. J. Genomic history of the origin and domestication of common bean unveils its closest sister species. **Genome Biology**, v.18, n.1, p. 1-17, 2017.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). Common bean (*Phaseolus vulgaris*). **In Safety assessment of transgenic organisms in the environment**. v. 7, p. 187-210, 2016.

PEDROSA, M. M.; CUADRADO, C.; BURBANO, C.; MUZQUIZ, M.; CABELLOS, B.; OLMEDILLA-ALONSO, B.; ASENSIO-VEGAS, C. Effects of industrial canning on the proximate composition, bioactive compounds contents and nutritional profile of two Spanish common dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 166, p. 68-75, 2015.

PERSEGUINI J. M. K. C.; OBLESSUC P. R.; ROSA J. R. B. F.; GOMES K. A.; CHIORATO A. F.; CARBONELL S. A. M.; GARCIA A. A. F.; VIANELLO R. P.; BENCHIMOL-REIS L. L. Genome-Wide Association Studies of Anthracnose and Angular Leaf Spot Resistance in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plos One**. v.11, p. 1-19, 2016.

PIERGIOVANNI, A.R.; LIOI, L. Italian Common Bean Landraces: History, Genetic Diversity and Seed Quality. **Diversity**, v.2, p.837-862, 2010.

PENA, G. F.; DO AMARAL JÚNIOR, A. T.; RIBEIRO, R. M.; RAMOS, H. C.; BOECHAT, M. S.; SANTOS, J. S.; MAFRA, G. S; KAMPHORST, S. H; DE LIMA, V. J.; VIVAS, M.; DE SOUZA, F. G. Inference of genetic diversity in popcorn S3 progenies. **Genetics and molecular research**, v. 15, n. 2, 2016.

PEREIRA H. S.; MOTA A. P. S.; RODRIGUES L. A.; SOUZA T. L. P. O. de.; MELO L. C. Genetic diversity among common bean cultivars based on agronomic traits and molecular markers and application to recommendation of parent lines. **Euphytica**, v. 215, p. 1-16, 2019. v. 215, p. 1-16, 2019.

PETRY N.; BOY E.; WIRTH J.P.; HURRELL R.F. Review: The Potential of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. **Nutrients**, v. 7, p. 1144–1173, 2015.

RAMALHO M. A. P, ABREU A. F. B. (1998) Cultivares. In: Vieira C, Paula Junior T. J., Borém A (eds.) Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, p. 435-449.

ROSA, S. S.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; REINIGER, L. R. S.; ROSA, D. P.; CERUTTI, T.; POSSOBOM, M. T. D. F. Potential for increasing the zinc content in common bean using genetic improvement. **Euphytica**, v. 175, n. 2, p. 207-213, 2010.

SANTOS, J. A. da S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 377-382, 2014.

SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. Dry beans and pulses production, processing and nutrition: An overview. **In Dry beans and pulses production, processing and nutrition**. v.1(1), 2013.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SILVA, M. S.; BONOW, S. Melhoramento de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para a produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Cap. 17, p. 427-452. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/932422>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

SCHMUTZ J.; MCCLEAN B. E.; MAMIDI S.; WU G. A.; CANNON S. B.; GRIMWOOD J.; JENKINS J.; SHU S.; SONG Q.; CHAVARRO S. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. **Nature Genetics**, v. 46, p. 707-713, 2014.

STELLA, A.; KAGEYAMA, P.; NODARI, R.O. **Políticas públicas para a agrobiodiversidade**. In: CARVALHO, C. (ed.). Agrobiodiversidade e Diversidade Cultural. Brasília, MMA. p.41-56. 2004.

URIO, E. A. **Caracterização citogenética clássica e molecular de trigos brasileiros**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Passo Fundo.

VALOIS, A. C. C. Biodiversidade, biotecnologia e propriedade intelectual. **Cadernos de Ciencia & Tecnologia**, v.15, n. especial, p. 21-25, 1998.

CAPÍTULO 2

INTERAÇÃO GENÓTIPO POR AMBIENTE E ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PRODUTIVIDADE EM FEIJOEIRO POR MODELOS DE FATOR ANALÍTICO E GGE- BILOT

RESUMO

A produção de feijão (*Phaseolus vulgaris sp.*) é uma variável quantitativa altamente correlacionada com o tipo de genótipo, mas também influenciada pelas condições do ambiente, necessitando conhecer o comportamento diferencial dos genótipos aos ambientes. Sendo assim, objetivou-se investigar a interação G x A e a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro quanto à produtividade em diferentes ambientes (locais, safras e anos), usando modelos mistos de análise fatorial (FA) e GGE-biplot. Um total de 14 ambientes foram testados nos anos agrícolas 2018/2019 e 2019/2020 com 35 genótipos de feijoeiro (crioulos e comerciais), em duas safras anuais (da seca e das águas), em cinco locais: Mimoso do Sul - ES e Pacotuba/Cachoeiro de Itapemirim - ES; Venda Nova do Imigrante - ES; Linhares - ES e Sooretama - ES, sendo possível representar 3 mesorregiões do Estado: Sul, Central e Litoral Norte, respectivamente. Os melhores desempenhos de produtividade foram observados principalmente nos ambientes da região Litoral Norte. As correlações genéticas pareadas entre os ambientes variaram de -0,01 (mais próximo de zero) a 0,99 (mais alto, podendo ser positivo ou negativo), indicando a existência de $G \times A$ nulo a alto. A análise de regressão latente identificou os genótipos INC_62, INC_67 e INC_90 como mais responsivos a mais especificamente ao ambiente (Seca ano 2019 Venda Nova do Imigrante (S2019VN)). Os genótipos INC_106 e UFES_173 mostraram estabilidade produtiva nos ambientes testados. A análise de GGE-biplot mostrou os genótipos INC_62, INC_106, INC_90 sendo de alto rendimento, INC_106 como mais responsivo e INC_90 como o mais próximo do ideal em termos de produtividade e estabilidade produtiva de grãos.

Palavra-chave: feijoeiro comum; melhoramento de plantas; produtividade; ensaios multi-ambientes; adaptabilidade e estabilidade

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas comestíveis mais importantes do mundo, presente na dieta e na gastronomia de diversos países (ZHANG et al., 2019; WAINAINA et al., 2021). Sua riqueza nutricional é reconhecida mundialmente, sendo fonte essencial de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais essenciais (MYERS et al., 2017; LOS et al., 2018; CELMELI et al., 2018), com potenciais efeitos promotores de saúde (BUENO et al., 2020).

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores mundiais de feijão, com produção estimada em 3 milhões de toneladas na safra 2021/2022 (CONAB, 2022), sendo a leguminosa que faz parte da alimentação base de grande parte da população. No país, é cultivado na maioria dos estados, em três safras anuais: das águas, da seca e de outono-inverno, por pequenos, médios e grandes produtores, em diferentes condições edafoclimáticas, sob diferentes sistemas de cultivo e níveis tecnológicos (HEINEMANN et al., 2016; BARILI et al., 2011).

No estado do Espírito Santo, região central brasileira (Sudeste), o cultivo de feijão está disseminado em todas as suas regiões, em diferentes condições ambientais, de temperatura e relevo. No entanto, estudos mostram que o desenvolvimento do feijoeiro é influenciado pelas variações ambientais (TORGA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2006). As diferentes condições de cultivo do feijoeiro levam à ocorrência da interação G x A (CRUZ et al., 2012, DOMINGUES et al., 2013; CORRÊA et al., 2016), ou seja, uma resposta diferencial de genótipos em ambientes variáveis, a qual representa um dos maiores desafios enfrentados por, essencialmente, todos os programas de melhoramento (RESENDE et al., 2021).

A ausência de conhecimento sobre a G x A pode acarretar a redução nos ganhos genéticos, além de dificultar na recomendação de genótipos para determinado ambiente (local, ano, safra) e/ou região (RAMOS et al., 2017). Nesse sentido, é essencial que programas de melhoramento de feijoeiro realizem testes de genótipos ao longo dos anos e/ou locais, a fim de detectar e selecionar genótipos superiores para características de interesse. A junção de testes unidos por vários anos e locais são chamados de ensaios multi-ambientes (MET) e a análise conjunta dos dados MET obtidos pode fornecer informações úteis sobre a G x A, estabilidade e adaptabilidade de genótipos em ambientes distintos.

Os dados MET são constantemente estudados em duas etapas: na primeira, os efeitos dos genótipos são estimados separadamente para cada ensaio e, na segunda são combinados para formar os dados para uma análise geral (NUVUNGA, 2014). Frequentemente, várias características são medidas nesses experimentos, mas o traço principal e o que está sendo considerado neste artigo é a produtividade de grãos de feijoeiro. No lançamento de novas cultivares, esse conhecimento é essencial, pois mostra estabilidade de rendimento em um conjunto de ambientes, ou que são especificamente adaptados a um determinado ambiente (BORNHOFEN et al., 2018; DIAS et al., 2018).

Para a análise de dados MET, é imprescindível o uso de métodos estatísticos com abordagens mais flexíveis, como modelos mistos (KELLY et al., 2007; RESENDE, THOMPSON, 2004; SMITH et al., 2005). A fim de permitir a modelagem complexa de correlações genéticas e a heterogeneidade de variações entre ambientes, diferentes variâncias e estruturas de covariância (VCOV) podem ser consideradas dentro da estrutura dos modelos mistos para efeitos aleatórios. Nesse contexto, estruturas analíticas de fator multiplicativo (FA) foram indicadas como uma abordagem mais parcimoniosa (SMITH et al., 2005; KELLY et al., 2007; PIEPHO, 1998; SMITH et al., 2001). O modelo de fator analítico (FA) considera aleatórios os efeitos dos genótipos e interação $G \times A$, sendo, atualmente, o mais indicado na análise de dados de MET (THOMPSON, 2003). Gráficos de regressão latente (SMITH et al., 2015) foram explorados para inferir sobre $G \times A$, adaptabilidade e estabilidade dos genótipos.

Além disso, com os valores obtidos a partir do método de modelos mistos, aplicou-se o método GGE-Biplot (genótipo + $G \times A$), o qual tem sido muito utilizado para estratificação ambiental e estudo da adaptabilidade e estabilidade de genótipos (YAN et al., 2000). O modelo GGE-Biplot analisa em conjunto o efeito dos genótipos com o efeito da interação $G \times E$, e, na etapa final da análise, são construídos gráficos biplot. Yan (2000) indica o uso do modelo GGE-biplot para identificar mega-ambientes, selecionar ambientes representativos e discriminantes e indicar genótipos mais adaptados e estável para ambientes específicos.

Buscar por genótipos que mais se adequem às necessidades dos produtores e ao ambiente específico, maximiza a lucratividade, diversificando o sistema agrícola convencional para criar mais oportunidades econômicas para meios de subsistência sustentáveis, além da segurança alimentar (HAMBIDGE, 2000, MIGLIORANZA et

al., 2003). Portanto, é necessário explorar a variabilidade genética existente entre genótipos crioulos de feijoeiro e usar tais recursos diversificados de germoplasma, que já são adaptáveis às condições locais, tornando possível o manejo desses genótipos e o desenvolvimento de cultivares com alta produtividade e ambientalmente adaptáveis.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar a interação G x A, bem como adaptabilidade e estabilidade de feijoeiros cultivados no estado do Espírito Santo para característica produtividade, identificando material potencial aos programas de melhoramento genético visando materiais adaptados e estáveis quanto à produtividade de grãos a um determinado ambiente, o que diminuiu os custos de produção, contribuindo para melhor rentabilidade dos produtores, além de favorecer consumidores e a pesquisa científica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material Genético e Delineamento Experimental

Um total de 35 genótipos de feijoeiro foram avaliados, correspondendo a 30 crioulos e cinco testemunhas (Tabela 1). Os feijões crioulos foram obtidos a partir da coleção de feijão pertencente ao Programa de Melhoramento Genético da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), os quais foram obtidos por meio do Incaper, propriedades rurais e feiras de diferentes regiões do Estado do Espírito Santo. Esses genótipos foram previamente determinados como divergentes por análises com marcadores moleculares (CARVALHO et al., 2020).

Tabela 1. Identificação dos trinta e cinco genótipos de feijão comum utilizados neste trabalho

ID	Nome	Cor	Classe	Pool Gênico	Procedência
INC-23	Baitão Mamoninha	Cores	Crioulo	MES	Incaper
INC-44	Vermelho Antigo	Vermelho	Crioulo	MES	Incaper
INC-60	Vagem Preta	Preto	Crioulo	MES	Incaper
INC-61	Feijão Nova planta	Cores	Crioulo	MES	Incaper
INC-62	Penquinha	Cores	Crioulo	AND	Linhares
INC-66	Manteigão	Cores	Crioulo	MES	Domingos Martins
INC-67	Terrinha	Cores	Crioulo	MES	Domingos Martins
INC-81	Preto	Vermelho	Crioulo	MES	Alfredo Chaves
INC-90	Feijão Caetezinho	Preto	Crioulo	MES	Colatina
INC-94	Porto Real	Preto	Crioulo	MES	Alfredo Chaves

INC-95	Carioquinha	Carioca	Crioulo	MES	Alfredo Chaves
INC-106	Carioca	Carioca	Crioulo	MES	Iúna
INC-Serrano	Serrano	Preto	Comercial	MES	Incapér
INC-Goytacazes	Goytacazes	Carioca	Comercial	MES	Incapér
INC-Rio Tibagi	Rio Tibagi	Preto	Comercial	MES	Incapér
INC-Rio Doce	Rio Doce	Carioca	Comercial	MES	Incapér
Capixaba	Capixaba Precoce	Preto	Comercial	MES	Incapér
UFES-2	Manteiga vermelho	Vermelho	Crioulo	AND	Vila Velha
UFES-4	Preto	Preto	Crioulo	MES	Vitória
UFES-9	Vermelho	Vermelho	Crioulo	MES	Alegre
UFES-11	Vagem riscada	Preto	Crioulo	MES	Muniz Freire
UFES-19	Vermelho	Vermelho	Crioulo	MES	Iúna
UFES-118	Preto	Preto	Crioulo	MES	Venda Nova
UFES-130	Carioca	Carioca	Crioulo	MES	Venda Nova
UFES-1	Palhacinho	Cores	Crioulo	AND	Vila Velha
UFES-81	Verde Cristo Rei 01	Cores	Crioulo	AND	Incapér
UFES-111	Verde	Cores	Crioulo	AND	Alegre
UFES-10	Vagem riscada	Preto	Crioulo	MES	Muniz Freire
UFES-133	Amarelo	Amarelo	Crioulo	AND	Santa Teresa
UFES-14	Amendoim	Cores	Crioulo	AND	Guaçuí
UFES-173	Preto	Preto	Crioulo	MES	Alegre
UFES-174	Vermelho	Vermelho	Crioulo	MES	Alegre
UFES-32	CNFP 15304	Preto	Crioulo	MES	Embrapa
UFES-8	Vagem riscada	Preto	Crioulo	MES	Alegre
UFES-136	Carioca	Carioca	Crioulo	MES	Santa Teresa

ID=Identificação; AND: Andino; MÊS: Mesoamericano

Posteriormente, esses 35 genótipos foram avaliados em 14 experimentos, compreendendo 3 diferentes mesorregiões do Estado do Espírito Santo (Sul, Central e Litoral Norte Espírito-santense), de cinco municípios, distribuídas geograficamente como mostrado na Figura 1, ao longo de três anos (2018 a 2020). Os experimentos foram nomeados de acordo com a inicial de cada safra, seguido pelo seu respectivo ano mais as iniciais de cada local, por exemplo: Safra da Seca; Ano de **2020**; Local **Linhares**: **S2020Lin** (Tabela 2).

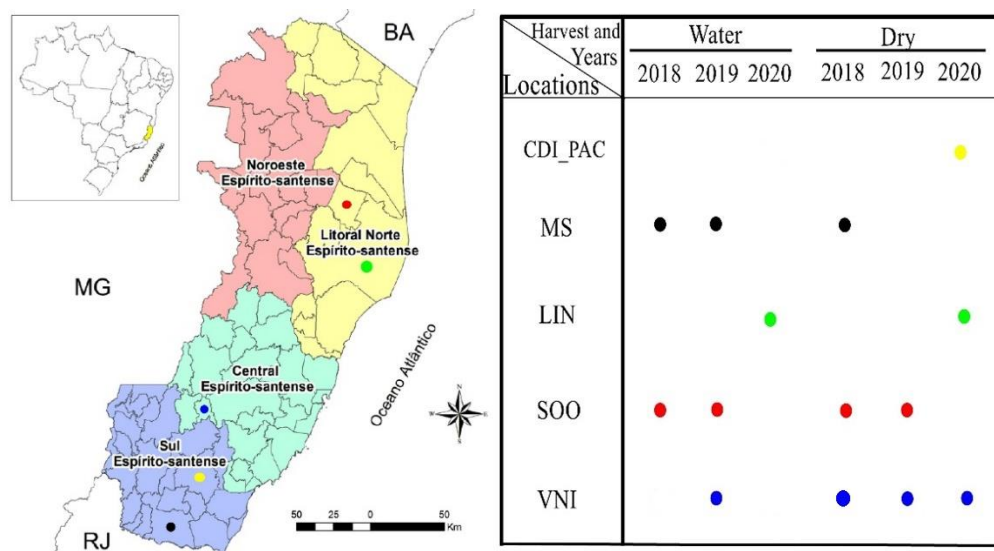


Figura 1. (A) Posições geográficas dos locais em que os experimentos foram realizados. (B) Locais avaliados nas safras de cada ano, de 2018 a 2020. Os locais foram cifrados como CDI_PAC, Cachoeiro de Itapemirim (Pacotuba); MS, Mimoso do Sul; LIN, Linhares; SOO, Sooretama; VNI, Venda Nova do Imigrante. Os pontos coloridos no quadro representam os locais e anos de avaliação nas épocas: água e seca.

Tabela 2. Os experimentos foram avaliados no estado do Espírito Santo em 2 safras anuais, 5 locais e 3 anos. Melhorar redação do título da tabela

Ambiente	Safras	Ano	Localização
A2018MS	Água	2018	Mimoso do Sul
S2018MS	Seca	2018	Mimoso do Sul
S2019MS	Seca	2019	Mimoso do Sul
A2020Pac	Água	2020	Cachoeiro de Itapemirim - Pacotuba
S2018VN	Seca	2018	Venda Nova do Imigrante
A2019VN	Água	2019	Venda Nova do Imigrante
S2019VN	Seca	2019	Venda Nova do Imigrante
S2020VN	Seca	2020	Venda Nova do Imigrante
A2018Soo	Água	2018	Sooretama
S2018Soo	Seca	2018	Sooretama
A2019Soo	Água	2019	Sooretama
S2019Soo	Seca	2019	Sooretama
A2020Lin	Água	2020	Linhares
S2020Lin	Seca	2020	Linhares

Quanto à temperatura e precipitação média anual, o município de Cachoeiro de Itapemirim (Pacotuba) – ES é caracterizado pelo clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno, temperatura média de 24,2°C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro, com 27,3 °C e menor média ocorre no mês de julho, 20,6°C, período caracterizado por temperaturas amenas na região. Possui índice pluviométrico anual de 1.187,6 mm e altitude média de 146 metros acima do mar.

O município de Mimoso do Sul – ES é caracterizado pelo clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno, temperatura média de 24,6 °C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro (27,5°C) e a menor média ocorreu no mês de julho 21,6°C, período em que ocorrem temperaturas amenas na região. Possui índice pluviométrico de 1.376,4 mm e altitude média de 240 m.

Venda Nova do Imigrante – ES é classificada com clima mesotérmico de inverno seco, temperatura média de 18,5 °C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro, com 21,4°C e a menor média ocorre no mês de julho 15,1°C. Possui índice pluviométrico anual de 1.363,7 mm e altitude média de 950 metros acima do nível do mar. Sooretama – ES, caracterizado por tropical chuvoso, com estação seca no inverno, com estação seca no inverno e temperatura média em torno de 24,2°C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro (26,7°C) e a menor média ocorre no mês de julho 21,6°C, período em que ocorrem tempera amenas na região. Possui índice pluviométrico anual de 1.257,6 mm e altitude média 60 metros acima do nível do mar.

Linhares – ES, caracterizado por clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno e temperatura média em torno de 24,3 °C, com a maior média o correndo no mês de fevereiro, com 26,8 °C e menor média ocorre no mês de julho 21,6 °C, período em que ocorrem temperaturas amenas na região. Possui índice pluviométrico anual de 1.278,9 mm e altitude média de 40 m (INCAPER, 2022).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições e parcelas constituídas de 4 linhas de 1,5 m espaçadas por 0,5 m, constituindo uma densidade de semeadura de 10 sementes por metro linear, totalizando 60 sementes por parcela. A adubação de base foi efetuada de acordo com a análise química do solo.

As duas linhas centrais foram consideradas área útil e as duas linhas laterais foram consideradas bordaduras para separação de parcelas. Na colheita, somente as plantas das duas linhas centrais foram colhidas, levadas para estufa para secagem das vagens. Posteriormente, as vagens foram debulhadas e as sementes pesadas em balança digital, obtendo-se a produção de feijão em gramas.

2.2. Genotipagem de amostras por SNPs

Os dados de SNPs para estruturação da matriz G (Z_{ge}), no segundo estágio da análise conjunta de vários ensaios, foram obtidos segundo Carvalho et al., 2020. São dados do grupo de pesquisa do feijão da Universidade Federal do Espírito Santo.

A genotipagem com marcadores SNP foi realizada no Genomics Market Development Laboratory, GeneSeek (Lincoln, NE, EUA) utilizando o chip SNP-Sequenom composto por 251 SNPs, desenvolvido pela equipe de pesquisa da Embrapa (dados não publicados; disponíveis mediante solicitação), na plataforma de genotipagem Sequenom®, seguindo recomendações do fabricante. Esses SNPs foram selecionados com base no Bead-Chip BARCBean6K_3 desenvolvido por Song et al. (2015), com base em sua distribuição no genoma e no conteúdo de informação de polimorfismo (PIC) no germoplasma mesoamericano, o mais explorado no Brasil (CARVALHO et al., 2020).

Eventualmente, 228 marcadores de polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) de alta qualidade foram selecionados após a exclusão dos marcadores com frequência de alelo menor (MAF) inferior a 0,01. Posteriormente, foi obtida a matriz de parentesco Kinship calculada com base nos marcadores moleculares segundo o método de VanRaden (2008).

2.3. Análise Estatística

2.3.1. Análise conjunta de vários ensaios

Os modelos estatísticos seguiram a chamada **estratégia de dois estágios** para a análise de dados MET (*Multi-Environment Trial*). No primeiro estágio, os ensaios individuais são analisados com modelos incluindo termos para características de delineamento e ambientes. A partir dessas análises de ensaio individuais, as médias e pesos ajustados são inseridos no segundo estágio, onde um modelo ajusta o efeito dos genótipos por meios ambientais, usando os pesos estimados na primeira etapa. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R e do pacote Asreml.

Primeiro estágio: Os dados fenotípicos (coletados a campo) foram analisados individualmente dentro de cada combinação de ano e local por meio da técnica de modelos mistos. Os valores componentes de variância foram calculados baseando-se

no método de máxima verossimilhança restrita (REML) e os valores genotípicos estimados via o melhor estimador linear não viciado (BLUE), o modelo generalista aplicado é apresentado a seguir na equação [1]:

$$\mathbf{y} = \mu \mathbf{1}_n + \mathbf{X}_g + \mathbf{Z}_b + \boldsymbol{\varepsilon} \quad [1]$$

em que, \mathbf{y} é o vetor ($n \times 1$) de valores fenotípicos (dados de campo coletados), no qual n é o número de observações; μ é o valor da média geral; \mathbf{g} é o vetor ($i \times 1$) de efeito fixo com i genótipos, \mathbf{b} é o vetor ($j \times 1$) de efeito aleatório com k blocos, com $\mathbf{b} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_b^2 \mathbf{I}_j)$, em que σ_b^2 é a variância de blocos; e $\boldsymbol{\varepsilon}$ é o vetor de efeito de residual, com $\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(\mathbf{0}, \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I}_n)$, em que σ_ε^2 é a variância de resíduo. \mathbf{X} e \mathbf{Z} representam as matrizes de incidência para seus respectivos efeitos de genótipo e bloco.

Segundo estágio: Com os valores BLUEs do primeiro estágio e seus pesos, iniciou-se o desenvolvimento do modelo MET, apresentado na equação [2]:

$$\mathbf{Y} = \mu \mathbf{1}_n + \mathbf{X}_E + \mathbf{Z}_{ge} + \boldsymbol{\varepsilon}_1 \quad [2]$$

em que \mathbf{Y} é o vetor ($il \times 1$) de médias ajustadas do primeiro estágio, de i genótipos dentro de cada ambiente l ; μ é a média geral; \mathbf{E} é o vetor ($l \times 1$) de efeitos fixos de ambientes; \mathbf{ge} é o vetor ($il \times 1$) de efeitos genéticos aleatórios de genótipos i dentro de ambientes l , com $\mathbf{ge} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{G})$; e $\boldsymbol{\varepsilon}_1$ é o vetor ($il \times 1$) de efeito residual, com $\boldsymbol{\varepsilon}_1 \sim N(\mathbf{0}, \sigma_\varepsilon^2 \mathbf{I}_{il})$. Sendo que, \mathbf{G} é a matriz VCOV (Variância-Covariância) genética ($l \times l$) para o efeito de genótipos i dentro de ambientes l . Em que, \mathbf{G} é uma matriz onde os elementos das diagonais são as variâncias genéticas para ambientes individuais e os elementos fora da diagonal são as covariâncias genéticas entre pares de ambientes. Uma estrutura fatorial analítica de ordem k (FA_k), em que k é o número de componentes multiplicativos foi considerado para modelar a matriz \mathbf{G} . \mathbf{X} e \mathbf{Z} são as matrizes de incidência para seus respectivos efeitos; e $\mathbf{1}_n$ é um vetor de uns.

A porcentagem total (v) da variância genética explicada pela k fatores da estrutura FA foi calculado usando:

$$\bar{v} = 100 \times \text{tr}(\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{\Lambda}^T) / \text{tr}(\boldsymbol{\Lambda}\boldsymbol{\Lambda}^T + \boldsymbol{\psi})$$

em que Λ é a matriz ($l \times k$) de cargas fatoriais, $\{\lambda_{lk}\}$, em que λ_{lk} é o k carga fatorial ($k = 1, 2, \dots, K$) para o ambiente 1; ψ é uma matriz diagonal ($l \times l$) com as variâncias específicas para cada ambiente; e tr é a função traço. Modelos FA de diferentes ordens podem ser comparados com base na porcentagem geral da variância genética explicada pelos fatores no modelo ou em seus valores de AIC (Akaike Information Criterion) (BOZDOGAN, 1987). Neste estudo, foram comparados modelos de primeira (FA₁) a terceira ordem (FA₂). Aqui, o melhor modelo de FA₂ foi selecionado com base nos valores de AIC.

A matriz VCOV para o efeito de genótipos dentro de ambientes, definida pelo modelo FA_k é:

$$G = (\Lambda\Lambda^T + \psi) \otimes I_l$$

em que Λ é uma matriz $l \times k$ de cargas fatoriais $\{\lambda_{lk}\}$, em que λ_{lk} é a k^{th} carga fatorial de ($k = 1, 2, \dots, k$) para o ambiente l ; ψ é a diagonal da matriz ($l \times l$) com variância específica para cada ambiente; I_l é uma matriz identidade ($l \times l$). As correlações genéticas entre pares de ambientes ($\rho_{ll'}$) foram calculadas através do modelo FA usando os termos da matriz G acima como.:

$$\rho_{ll'} = COV_{ll'} / \sqrt{\sigma_{ll}^2 \sigma_{l'l'}^2}$$

em que $COV_{ll'}$ é a covariância genética entre os ensaios l e l' ; e σ_{ll}^2 e $\sigma_{l'l'}^2$ são as variâncias genéticas para os ensaios l e l' , respectivamente. As correlações genéticas entre os ambientes foram utilizadas para inferir sobre a presença ou ausência de G×A. Assim, uma alta correlação entre dois ambientes corresponde a um baixo G×A, ou seja, os genótipos têm respostas genéticas semelhantes em ambos os ambientes.

Depois de estimar os componentes de variância e resolver a equação de modelos mistos, os escores fatoriais para genótipos (f_{\sim}), ou seja, os efeitos do genótipo para cada fator, e as cargas fatoriais para ambientes (δ_{\sim}), ou seja, os efeitos ambientais para cada fator, foram obtidos conforme descrito por Resende e Thompson (2004).

2.3.2. Análise de estabilidade de rendimento entre ambientes

Gráficos de regressão latente foram construídos para um grupo selecionado de 10 genótipos que expressaram o melhor desempenho produtivo na análise conjunta.

Esses gráficos podem ser usados para investigar a adaptabilidade de rendimento e a estabilidade de genótipos em diferentes ambientes (SMITH; CULLIS, 2018).

Os valores genéticos previstos refletem as respostas do genótipo a um fator de carga de um determinado ambiente. De acordo com Cullis et al. (2010), para uma interpretação significativa, as cargas fatoriais ambientais devem ser rotacionadas para uma solução de componentes principais, maximizando a proporção da covariância genética contabilizada pela primeira carga fatorial rotacionada, enquanto a segunda carga fatorial rotacionada representa a próxima maior proporção e é ortogonal ao primeiro fator, e assim por diante. Para isso, a rotação dos fatores foi realizada via Varimax (KAISER, 1958).

2.3.3. Análise de adaptabilidade e estabilidade por GGE-biplot

Com base nos valores gerados no segundo estágio da análise conjunta de vários ensaios, foi realizada a análise de adaptabilidade e estabilidade via GGE-Biplot (YAN et al., 2000). O modelo GGE-biplot utilizado foi:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = y_1 \varepsilon_{i1} \rho_{j1} + y_2 \varepsilon_{i2} \rho_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

em que Y_{ij} é a produtividade média de grãos do genótipo i no ambiente j ; μ é a média geral das observações; β_j é o principal efeito do ambiente; y_1 e y_2 são os erros associados ao primeiro (PC1) e o segundo (PC2) componentes principais, respectivamente; ε_1 e ε_2 são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o genótipo de ordem i ; ρ_{j1} e ρ_{j2} são os valores de PC1 e PC2, respectivamente, para o ambiente de ordem j ; e ε_{ij} é o erro associado ao modelo do i -ésimo genótipo e do j -ésimo ambiente (Yan et al., 2000). A análise foi realizada utilizando o pacote GGEGui em R (R Development Core Team, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise descritiva

A produtividade média de grãos de feijão comum dos 35 genótipos nos 14 ambientes variou de 1.252,32 kg (Mimoso do Sul, ano 2018, safra das águas) a 1,1316

kg (Linhares, ano 2020, safra da seca). As maiores produtividades ocorreram nos ambientes da região Litoral Norte do estado do Espírito Santo, sendo eles Sooretama, ano 2018, safra da seca (10,200 kg); Sooretama, ano 2019, safra da seca (11,089 kg); Linhares, ano 2020, safra das águas (10,670 kg); Linhares, ano 2020, safra da seca (11,316 kg) (Tabela 3). A produtividade média de cada genótipo nos 14 ambientes variou de 3379,42 kg (INC-62) a 4,548 kg (UFES-2). Os 10 genótipos mais produtivos foram crioulos, sendo eles INC-62, UFES-136, INC-67, UFES-32, INC-106, UFES-173, INC-95, UFES-11, UFES-118 e INC-94. Somente em 12ª posição aparece o primeiro genótipo comercial mais produtivo, sendo o INC-Rio Tibagi, com produtividade de 2833 kg (Tabela 4). Informações adicionais dos dois genótipos crioulos e do comercial mais produtivos são apresentadas na tabela 5 e nas Figuras 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Produtividade média dos 35 genótipos para cada ambiente testado

Local	Ano	Safra	Produtividade dos 35 genótipos (kg)	Mesorregião Espírito Santense
Mimoso do Sul	2018	Água	1,252	Sul
Mimoso do Sul	2018	Seca	3,568	Sul
Mimoso do Sul	2019	Seca	4,149	Sul
Pacotura (CDI)	2020	Água	8,546	Sul
Venda Nova do Imigrante	2018	Seca	2,814	Central
Venda Nova do Imigrante	2019	Água	2,523	Central
Venda Nova do Imigrante	2019	Seca	8,157	Central
Venda Nova do Imigrante	2020	Seca	5,797	Central
Sooretama	2018	Água	6,891	Litoral Norte
Sooretama	2018	Seca	10,200	Litoral Norte
Sooretama	2019	Água	2,482	Litoral Norte
Sooretama	2019	Seca	11,089	Litoral Norte
Linhares	2020	Água	10,670	Litoral Norte

Linhares 2020 Seca **11,316** **Litoral Norte**

Tabela 4. Produtividade média de cada genótipo de feijão comum nos 14 ambientes

Genótipo	Produtividade (kg)
INC-62	3,379
UFES-136	3,337
INC-67	3,297
UFES-32	3,293
INC-106	3,202
UFES-173	3,173
INC-95	3,156
UFES-11	3,143
UFES-118	3,095
INC-94	3,083
INC-81	2,869
*INC-Rio Tibagi	2,833
INC-90	2,737
UFES-130	2,652
*Capixaba	2,603
UFES-4	2,601
INC-66	2,584
*INC-Rio Doce	2,583
UFES-81	2,569
UFES-8	2,557
*INC-Goytacazes	2,526
UFES-10	2,445
INC-23	2,344
UFES-111	2,276
UFES-9	2,196
INC-60	2,155
UFES-1	2,153
*INC-Serrano	2,120
UFES-133	2,094
INC-44	2,093
INC-61	2,089
UFES-19	2,086
UFES-14	1,989
UFES-174	1,678
UFES-2	0,454

*comercial

Tabela 5. Descrição morfoagronômicas dos genótipos mais produtivos

Características	Genótipos		
	Penquinha (INC-62)	Carioca (UFES-136)	*INC-Rio Tibagi
Classificação	Crioulo	Crioulo	Comercial
Cor	Cores	Carioca	Preto
Hábito de crescimento	Indeterminado III	Indeterminado III	Indeterminado III
Tipo de Planta	Prostrado	Semi-ereto	Semi-ereto
Cor da flor	Roxa	Roxa	Roxa
Cor da Vagem	Roxa	Verde	Roxa
Cor da semente (uniformidade)	Uniforme	Uniforme	Uniforme
Cor da Flor (Uniformidade)	Uniforme	Uniforme	Uniforme
Cor das asas	Branca	Roxa	Roxa
Brilho da semente	Intermediário	Opaco	Intermediário
Presença de antocianina no caule	Ausente	Presente	Presente
Halo	Presente	Ausente	Ausente
Perfil da Vagem	Semi-arqueado	Semi-arqueado	Semi-arqueado
Ápice da vagem	Abrupto	Abrupto	Afilado
Forma do Dente	Reto	Arqueado	Arqueado
Posição do dente apical	Marginal	Não marginal	Não marginal
Pool Gênico	MES	MES	MES
Peso de 100 sementes	34,921	20,917	39,720

Fonte: a autora, 2022. *Comercial



Figura 2. A) Penquinha (INC-62). B) Feijão Carioca (UFES-136). C) Feijão Rio Tibagi.

Fonte: a autora, 2022.

3.2. Análise conjunta de vários ensaios

Programas de melhoramento de feijoeiro visam frequentemente genótipos de maior produtividade, adaptabilidade e estabilidade em uma grande quantidade de ambientes. Para isso, são realizados ensaios MET a fim de avaliar o desempenho produtivo de genótipos em diferentes ambientes, englobando diferentes regiões e condições edafoclimáticas de interesse.

Para entender a adaptabilidade e estabilidade de genótipos em ambientes, estudos de $G \times A$ têm sido amplamente estabelecidos usando estruturas de FA (LI et al., 2017; PEIXOUTO et al., 2016), assim como estabelecer megaambientes em programas de melhoramento de plantas (MONTEVERDE et al., 2018; SMITH et al., 2015; SMITH; CULLIS, 2018). Estruturas de fator analítico (FA) ajustadas dentro da estrutura de modelo linear misto mostra-se como uma abordagem flexível e robusta para modelar matrizes de variância-covariância genética (VCOV), sendo mais parcimoniosa para análises MET do que modelos não estruturados (SMITH et al., 2001). Apesar disso, não foram vistos muitos estudos que utilizassem modelos de FA para compreender a $G \times A$ em espécies cultivadas, como feito aqui. Tais informações podem auxiliar os melhoristas a recomendar genótipos mais produtivos para um determinado conjunto de ambientes com base nos diferentes ambientes testados.

Além das estruturas de FA consideradas no presente estudo, foram incorporadas matrizes de relacionamento genômico (Kinship), que são usadas para prever o desempenho de genótipos não testados em ambientes por meio de modelos de seleção genômica MET (MET-GS), podendo acelerar os ganhos genéticos em programas de melhoramento de produtividade de feijão comum no futuro. Alguns estudos mostram a precisão dos modelos MET-GS para prever genótipos não testados em todos os ambientes, ou genótipos testados em alguns locais, mas não em outros, com base na relação genética entre genótipos testados e não testados (BURGUEÑO et al., 2012). Os modelos MET-GS forneceram melhores acurácias ao prever o desempenho de genótipos em ambientes correlacionados.

Os resultados da análise MET baseados na estrutura fatorial analítica, juntamente com o número total de parâmetros (NP), os valores de AIC e REML log-likelihood (logREML) dos modelos ajustados, considerando estruturas VCOV distintas para a matriz G estimada, estão apresentados na Tabela 6. Aqui, o menor valor de AIC foi observado para FA₍₂₎, com um total de 31 parâmetros. O modelo que tem menor valor

de AIC é considerado o melhor modelo, pois quanto mais próximo de zero, melhor o ajuste aos dados.

Tabela 6. Número total de parâmetros (NP) e Akaike Information Criterion (AIC) dos modelos de variância e covariância (VCOV) examinados para a matriz G estimada na análise combinada de ambientes

Estrutura	NP	AIC	logREML
FA ₍₁₎	24	4414.07	-2183
FA₍₂₎	31	4389.11	-2163.6
FA ₍₃₎	42	4396.02	-2156

FA_(k): modelo fatorial analítico de ordem k.

As correlações genéticas entre os ambientes (Figura 3) variaram de -0,01 (A2018Soo e A2020Li) a 0,99 (S2018VN e A2019Soo, S2020Li e A2020P, S2019MS e A2020P, S2018VN e S2018Soo, S2019MS e S2020Li), indicando a existência de $G \times E$ nulo a alto entre os ambientes. Neste estudo, mais de 63% das correlações genéticas entre ambientes foram positivas. Foram consideradas altas correlações genéticas acima de 0,60, indicando a ocorrência de $G \times A$ baixo, ou seja, os genótipos exibiram produtividade de grãos de feijão comum semelhantes entre os ambientes, como por exemplo, S2020Li e A2020P (0,99), S2018Soo e S2018VN (0,99). Por outro lado, pares de ambientes mostrando baixa correlação (abaixo de 0,30), sugerem a ocorrência de $G \times A$ alto, ou seja, o desempenho dos genótipos mudou entre os ambientes. O ambiente Seca 2020 Venda Nova do Imigrante (S2020VN) apresentou maior $G \times A$, com correlações próximas de zero ou negativas com outras localidades (Figura 3), como S2020VN e A2019Soo (-0,91), S2020VN e S2018Soo (-0,82), S2020VN e S2018VN (-0,85).

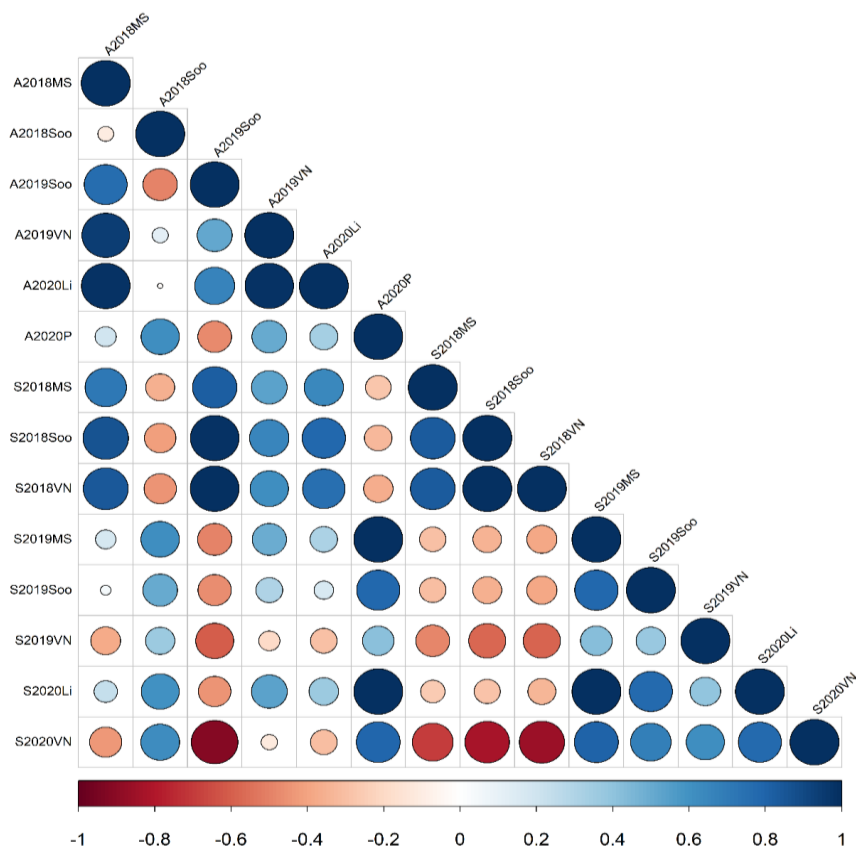


Figura. 3. Estimativas de correlações genéticas pareadas para produtividade entre 14 ambientes: MS: Mimoso do Sul; P: Pacotuba (Cachoeiro de Itapemirim); VN: Venda Nova do Imigrante; Soo: Sooretama; Li: Linhares. Avaliados nos anos de 2018 a 2020, que foram codificados de 18 a 20 e nas safras das águas e da seca que foram codificadas de A e S. O tamanho e a cor dos círculos estão relacionados à magnitude e direção das correlações genéticas entre os ambientes, respectivamente.

Os dois fatores do modelo $FA_{(2)}$ explicaram conjuntamente 51,25% da variância genética observada. O primeiro fator dessa estrutura capturou 29,05% da variabilidade genética. Os ambientes A2018MS, A2019Soo, A2019VN, A2020Li, S2018MS, S2018Soo, S2018VN e S2019VN apresentaram as maiores cargas para este primeiro fator (identificado em negrito na Tabela 7). O segundo fator explicou 22,20% da variabilidade genética, representando as maiores cargas para A2018Soo, A2020P, S2019MS, S2019Soo, S2020Li e S2020VN.

Tabela 7. Cargas ambientais para o modelo analítico fatorial de duas ordens, ou seja, dois fatores [$FA_{(2)}$]

Ambientes (safra, ano, local)	Fatores	
	Fator 1	Fator 2
A2018MS	-14.089	-2.3106
A2018Soo	31.79273	-93.3829

A2019Soo	-23.2016	13.58877
A2019VN	-13.5195	-7.37466
A2020Li	-32.2809	-10.2894
A2020P	-1.68442	-52.1975
S2018MS	-73.6083	28.92498
S2018Soo	-69.2207	26.24731
S2018VN	-48.3485	20.86483
S2019MS	-0.54899	-37.2502
S2019Soo	12.01779	-118.699
S2019VN	85.36433	-81.1313
S2020Li	-5.28912	-75.6461
S2020VN	59.10291	-83.7372

3.3. Análise de estabilidade de rendimento entre ambientes

O uso de gráficos de regressão latente foi proposto por Smith et al., (2015) para estudo da estabilidade de produtividade e adaptabilidade de genótipos entre ambientes. Em seu estudo, os valores genéticos previstos dos genótipos, são regredidos nas cargas de fatores ambientais do modelo de FA. Os gráficos de regressão latente foram construídos para 10 genótipos de feijão comum, selecionados de acordo com as maiores médias gerais previstas para produtividade com base no modelo FA₍₂₎, tal como proposto por Smith e Cullis (2018) (Figura 4).

Inicialmente, gráficos de regressões latentes foram construídos para o primeiro fator, regredindo os valores genéticos previstos nas cargas ambientais rotacionadas do fator 1 (Figura. 4.A). Depois, para o segundo fator, os valores genéticos previstos foram ajustados para o primeiro fator e depois regrediram nas cargas ambientais rotacionadas do fator 2 (Figura. 4.B). Em cada gráfico de regressão latente, os círculos sólidos correspondem aos valores genéticos previstos de genótipos em locais testados. As médias globais previstas obtidas pela estrutura FA₂ variaram de 16,62 kg/ha (INC_106, crioulo) a 9,2 kg/ha (UFES_9, crioulo).

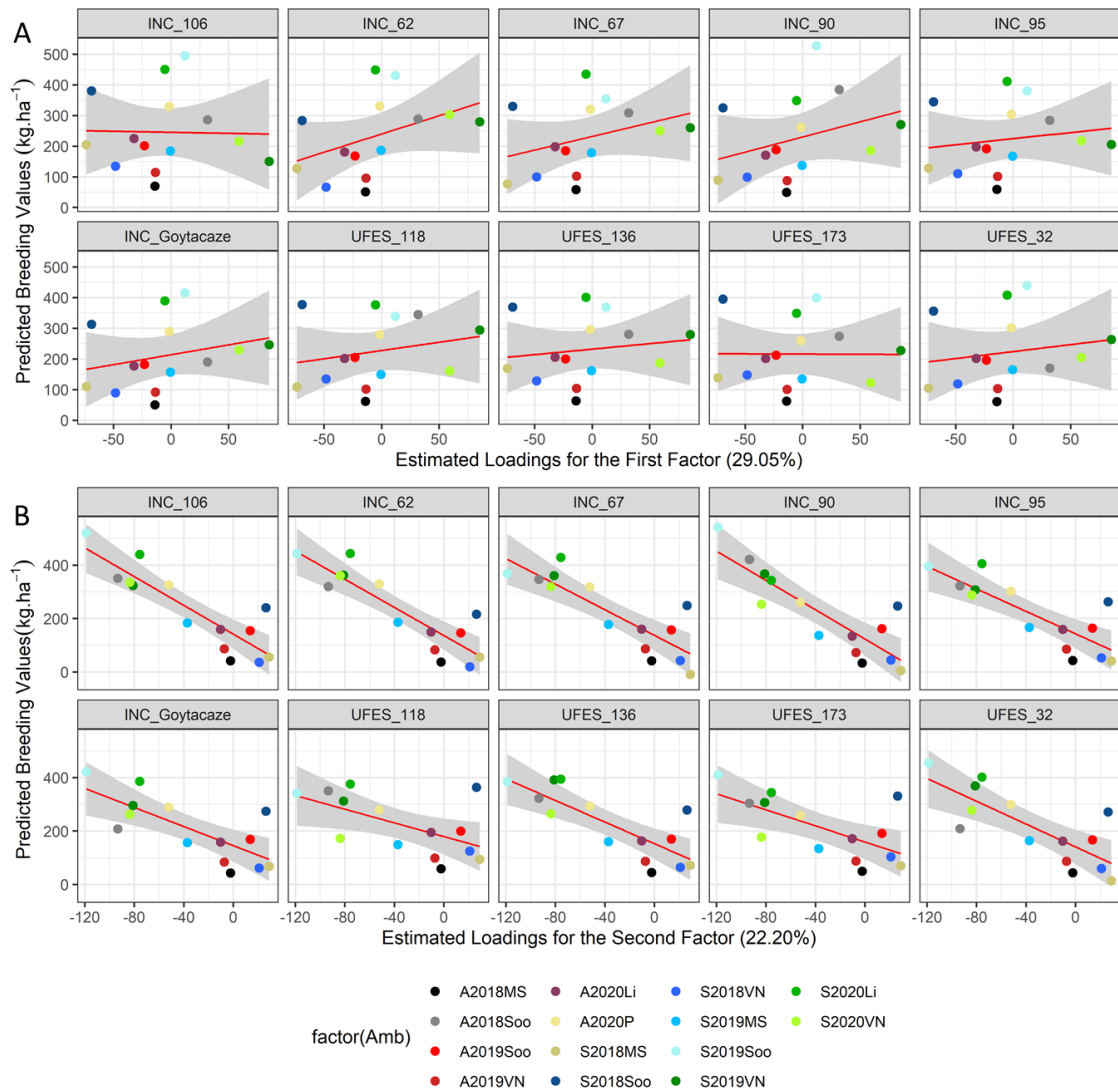


Figura 4. Gráficos de regressão latente para os 10 melhores genótipos: A) Primeiro fator; e B) Segundo fator. Os círculos correspondem aos valores reprodutivos previstos dos genótipos nos ambientes. MS: Mimoso do Sul; P: Pacotuba (Cachoeiro de Itapemirim); VN: Venda Nova do Imigrante; Soo: Sooretama; Li: Linhares. Avaliados nos anos de 2018 a 2020, que foram codificados de 18 a 20 e nas safras das águas e da seca que foram codificadas de A e S. A linha vermelha sólida e o tom de cinza correspondem à linha de regressão latente e ao intervalo de confiança de 95%, respectivamente. Os valores entre parênteses no rótulo do eixo x correspondem à proporção da variância genética explicada por cada fator.

Nos gráficos de regressão latente para os fatores 1 e 2 (Figura. 4), a inclinação da linha de regressão (β_1) corresponde à posição do genótipo do respectivo fator. Assim, genótipos com declividades altas e positivas são mais responsivos a melhorias ambientais, ou seja, apresentaram valores genéticos previstos mais altos em ambientes com maiores cargas fatoriais, o que significa que foram mais adaptados a esses ambientes. Por exemplo, entre todos os ambientes, S2019VN (85,36) apresentou a maior carga para o primeiro fator (Tabela 10 e Figura 6). Assim, os genótipos INC_62

($\beta_1 = 1.18$), INC_67 ($\beta_1 = 0.88$), INC_90 ($\beta_1 = 0.98$) podem ser identificados como os genótipos mais responsivos para esse ambiente, pois apresentam um coeficiente angular mais elevado. A utilização de materiais genéticos adaptados a determinados ambientes torna-se peça fundamental para aumentar os rendimentos agrícolas sem a necessidade de terras adicionais e perdas devido ao impacto ambiental adverso (GARNETT et al., 2013).

Por outro lado, inclinações próximas a zero são observadas para genótipos com estabilidade de produtividade ao longo do conjunto de ambientes, ou seja, mesmo com a melhoria do ambiente o genótipo apresenta estabilidade de produtividade. Por exemplo, os genótipos INC_106 e UFES_173 não responderam às mudanças ambientais, ou seja, apresentaram desempenho estável em todos os ambientes. Já o INC_62 é menos estável nos ambientes (Figura 4). Em programas de melhoramento, genótipos estáveis de alto rendimento são muito desejados. O genótipo INC_106 na média geral, apresenta-se estável, com produção média de 250 kg/ha, já o genótipo INC_62 apresenta uma variação, tendo produção melhor em alguns locais e pior em outros locais, demonstrando uma adaptabilidade de acordo com o ambiente e, portanto, variando sua média de produção de acordo com o local.

Para o segundo fator, apresentou a maior carga ambiental S2019Soo (-118.699) e A2018Soo (-93.3829), porém com valores negativos (Tabela 7 e Fig. 4). Os gráficos de regressão latente no segundo fator destacaram os genótipos INC_106 ($\beta_1 = -2,69$), INC_62 ($\beta_1 = -2,63$), INC_67 ($\beta_1 = -2,39$), INC_90 ($\beta_1 = -2,74$) como genótipos de maior pontuação, mas em sentido oposto, ou seja, uma diminuição no desempenho do genótipo com o aumento das cargas ambientais. Nenhum genótipo apresentou valor positivo para este fator, indicando que nenhum desses genótipos podem ser considerados mais estável entre os ambientes agrupados no fator 2.

A Tabela 8 apresenta os 10 genótipos com as maiores médias globais previstas, que foram avaliados em todos os ambientes. O genótipo INC_62 apresentou o maior valor genético previsto entre todos os genótipos avaliados para todos os ambientes. Entre os mais produtivos, ele também pode ser destacado como um genótipo altamente adaptado nos ambientes representados pelo primeiro fator.

Tabela 8. Rank dos 10 melhores genótipos avaliados nos ambientes, com base em suas médias globais previstas (médias); a inclinação (pontuação do genótipo) das linhas de regressão latentes para o primeiro (Fator 1) e segundo (Fator 2)

Genótipos	Médias	Fator 1	Fator 2
INC_106	15,00	-0.067	-2.69
INC_62	16,62	1.18	-2.63
INC_67	15,98	0.88	-2.39
INC_90	13,37	0.98	-2.74
INC_95	14,39	0.40	-2.10
INC_Goytacazes	13,28	0.63	-1.78
UFES_118	14,50	0.53	-1.28
UFES_136	14,48	0.35	-2.02
UFES_173	14,77	-0.01	-1.50
UFES_32	14,17	0.45	-2.13

3.4. Análise GGE-Biplot

A partir do valores obtidos via FA, realizou-se análise de GGE-Biplot para verificar estudo de adaptabilidade e estabilidade.

No método GGE-Biplot, os dois primeiros componentes principais (IPCA1 e IPCA2) explicaram 66,99% do total da variação total para a produtividade dos genótipos de feijão comum. Assim, esse método explicou uma boa parte da SQ de genótipos e da interação G x E, indicando elevado nível de confiança dos resultados apresentados por esse método.

O método GGE-Biplot apresenta uma série de ferramentas gráficas que objetivam tornar a seleção de genótipos mais acurada. Por meio do gráfico “which-won-where” (Figura 5), são criados setores que são limitados pelas linhas verdes. As linhas que saem da origem do centro das retas do Biplot sugerem que existe a composição de 8 setores ou mega-ambientes. Nesse gráfico, ainda é possível agrupar os ambientes avaliados em mega-ambientes, que representa o conjunto entre os ambientes mais semelhantes entre si. E também indicar o genótipo com melhor desempenho para cada mega-ambiente, sendo este denominado o genótipo vencedor (YAN, 2011). Genótipos localizados no vértice do polígono são mais distantes da origem e classificados como mais responsivos aos estímulos do ambiente. Esses genótipos podem ter alto ou baixo desempenho em alguns ou em todos os ambientes. Já os genótipos alocados no interior do polígono são menos responsivos.

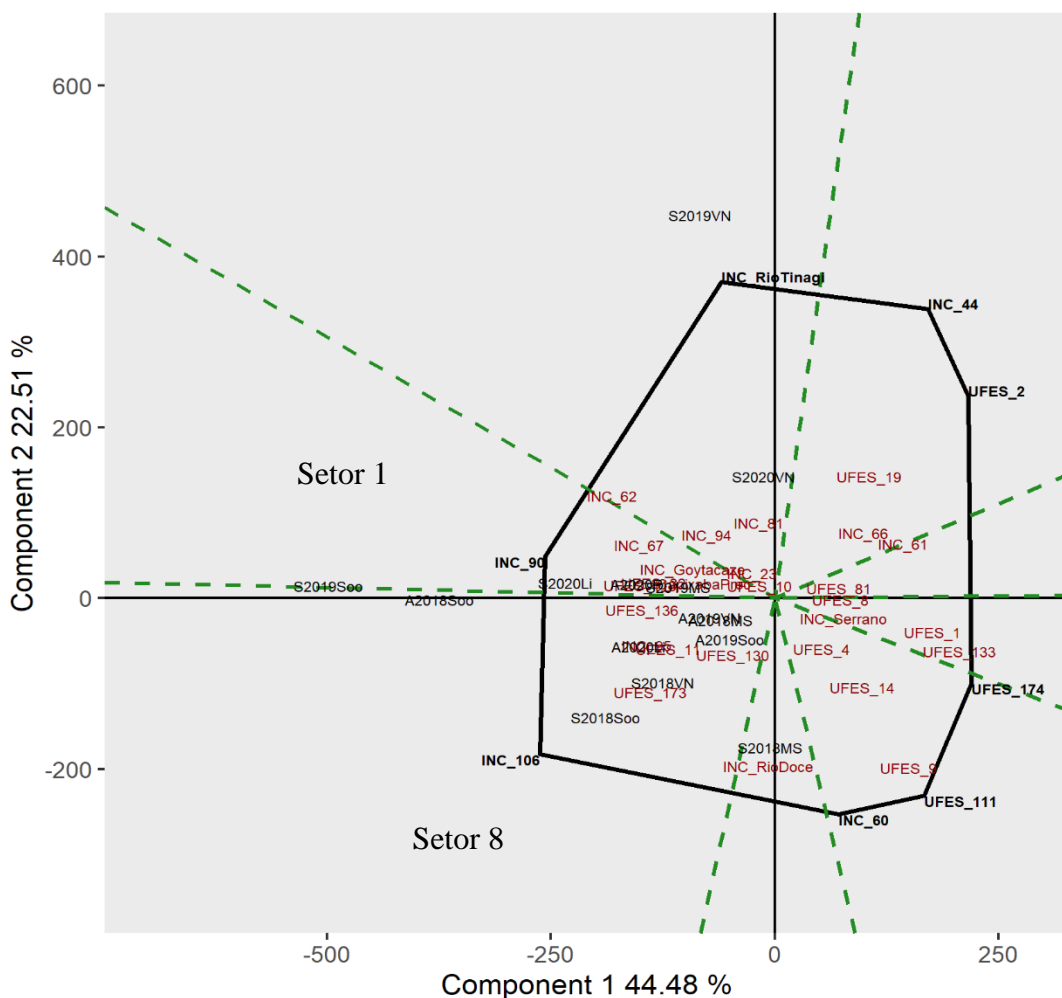


Figura 5. Gráfico GGE Biplot: “which-won-where” referente à produtividade de grãos de 35 genótipos de feijão comum avaliados em quatorze ambientes do estado do Espírito Santo. MS: Mimoso do Sul; P: Pacotuba (Cachoeiro de Itapemirim); VN: Venda Nova do Imigrante; Soo: Sooretama; Li: Linhares. Avaliados nos anos de 2018 a 2020, que foram codificados de 18 a 20 e nas safras das águas e da seca que foram codificadas de A e S.

O genótipo INC_106 encontrou-se no vértice do polígono, onde sete dos quatorze ambientes foram agrupados no setor 8 (Figura 5). Ele apresentou a maior média de produtividade dentre todos os genótipos avaliados. Já com relação aos ambientes, Água 2019, Venda Nova (A2019VN) demonstrou ser o ambiente mais diferente dos demais e por essa razão diferentes genótipos deverão ser selecionados e implantados para esse mega-ambiente. Esse ambiente, localizado mais ao sul do Estado do Espírito Santo, dentro do conjunto dos ambientes avaliados, apresenta altitude mais alta (724 m) e média anual da temperatura mínima de 16° C e máxima de 25° C. Esses fatores podem ter influenciado na classificação desse ambiente como o mais diferente dos demais pelo método GGE-Biplot.

Os genótipos que dão origem às vértices, mas não contém ambientes nos seus setores, tiveram desempenho adverso em todos os ambientes. Estes genótipos, a saber, INC_44, UFES_2, UFES_174, UFES_111, INC_60 não demonstraram adaptação específica nos ambientes avaliados. Por esse método, os genótipos citados não devem ser utilizados para o cultivo nos ambientes considerados por este estudo devido à baixa produtividade alcançada.

Outra análise possível pelo método GGE-Biplot, é a relação entre produtividade de grãos e a estabilidade do genótipo, representado pelo gráfico média x estabilidade (Figura 6). Por meio dele é possível avaliar simultaneamente o potencial produtivo dos genótipos bem como a sua estabilidade por meio da coordenada do ambiente médio (AEC - *Average Environmental Coordination*). O eixo que liga a linha AEC (linha horizontal) com a linha da média geral (linha vertical – com seta indicando valor de maior produtividade), indica quais genótipos foram superiores ou inferiores à média geral e quanto maior a projeção do genótipo no IPCA2, maior a instabilidade do genótipo e maior interação deste com o ambiente (YAN; TINKER, 2006).

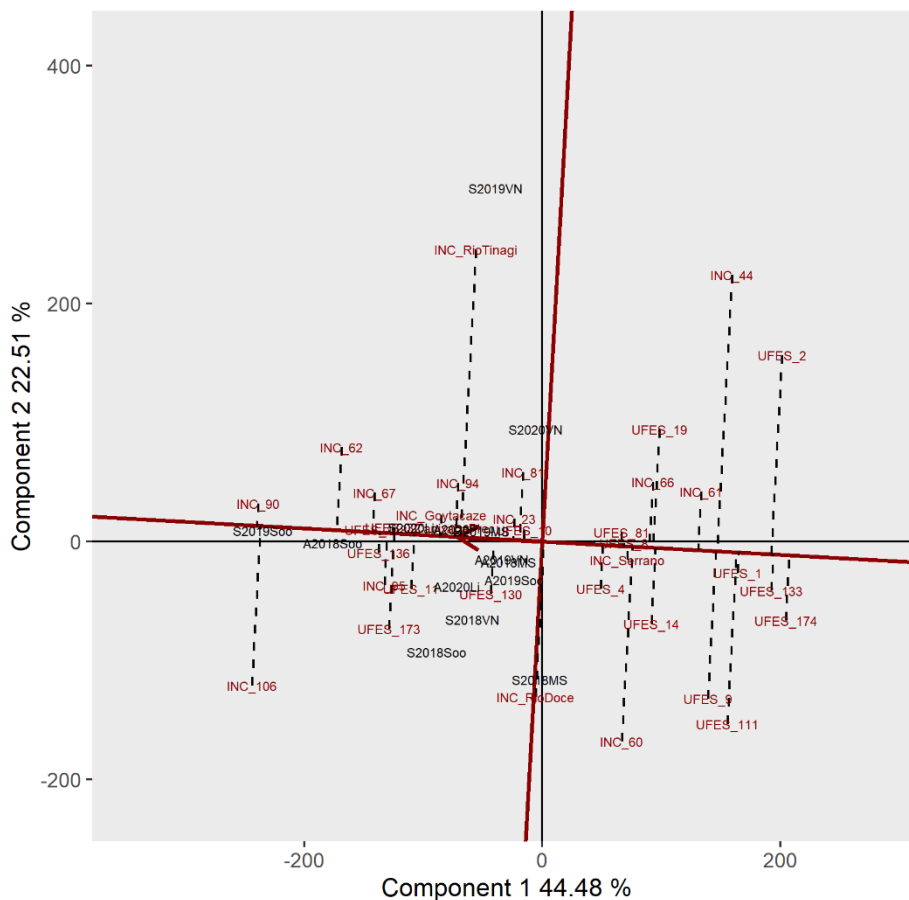


Figura. 6. Gráfico GGE Biplot: média x estabilidade, referente à produtividade de grãos (kg/há) de 35 genótipos de feijão comum avaliados em quatorze ambientes do Estado do Espírito Santo. MS: Mimoso do Sul; P: Pacotuba (Cachoeiro de Itapemirim); VN: Venda Nova do Imigrante; Soo: Sooretama; Li: Linhares. Avaliados nos anos de 2018 a 2020, que foram codificados de 18 a 20 e nas safras das águas e da seca que foram codificadas de A e S.

Em relação à produtividade de grãos, os genótipos com valores superiores à média foram INC_106, INC_90, INC_62, INC_67, INC_Goytacazes, INC_Rio Tibagi, INC_95, INC_23, INC_94, INC_81, INC_Capixaba Precoce, INC_Rio Doce, UFES_136, UFES_111, UFES_173, UFES_130, UFES_10, UFES_32, UFES_118, (Figura 6). Os demais genótipos foram iguais ou inferiores à média geral.

Em termos de estabilidade, é possível verificar que os genótipos UFES_32 e INC_Capixaba Precoce foram os mais estáveis, seguido de UFES_118, UFES_8, UFES_10, INC_90, INC_Serrano e UFES_81. No entanto, ao considerar de maneira simultânea a produtividade e a estabilidade, os genótipos UFES_32, INC_90 e INC_Capixaba Precoce apresentaram-se como mais estáveis e os mais produtivos entre os genótipos avaliados. O INC_Rio Tibagi foi o genótipo mais instável, pois apresentou maior projeção do genótipo no IPCA2.

O genótipo ideal deve ter simultaneamente alta produtividade e elevada estabilidade entre os ambientes. Esse genótipo é definido pelo centro dos círculos concêntricos (Figura 7) e funciona mais como um modelo representativo do que seria um ideótipo de feijão comum. Nesse sentido, genótipos localizados mais próximos ao ideótipo são mais desejáveis para a seleção (YAN; TINKER, 2006). O INC_90 foi alocado no primeiro círculo concêntrico e apresenta ser mais próximo ao ideal em termos de produtividade e estabilidade fenotípica.

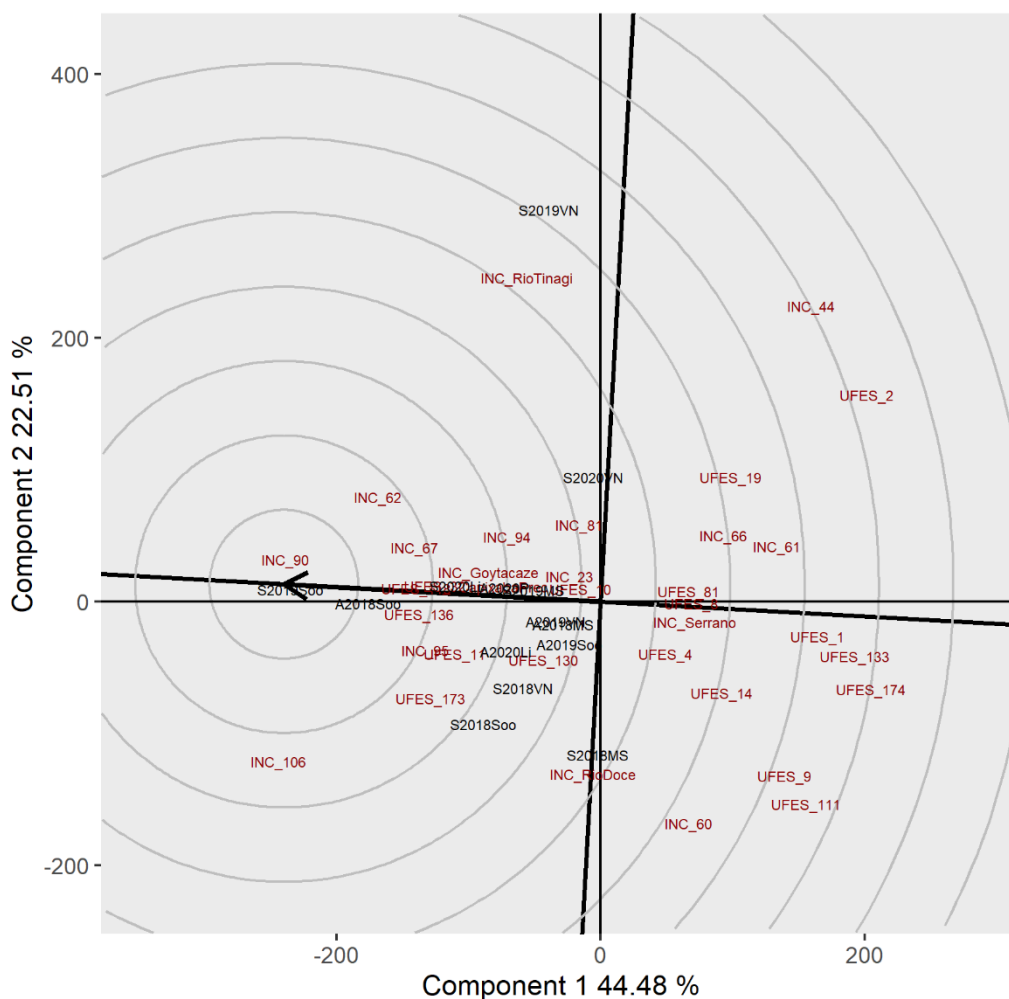


Figura. 7. Gráfico GGE-Biplot: estimativa do genótipo ideal, referente à produtividade de grãos de 35 genótipos de feijão comum avaliados em quatorze ambientes do Estado do Espírito Santo. MS: Mimoso do Sul; P: Pacotuba (Cachoeiro de Itapemirim); VN: Venda Nova do Imigrante; Soo: Sooretama; Li: Linhares. Avaliados nos anos de 2018 a 2020, que foram codificados de 18 a 20 e nas safras das águas e da seca que foram codificadas de A e S.

O método GGE-Biplot ainda considera a relação existente entre os ambientes analisados (Figura 8). De acordo com Santos et al. (2017), um ambiente-teste ideal deve discriminar bem os genótipos e ser representativo de todos os ambientes testados. Em termos gráficos, esse ambiente deve apresentar um alto valor de escore para o IPCA1, pois este expressa a sua capacidade em discriminar os genótipos e zero para o escore IPCA2, por demonstrar maior capacidade de representar todos os outros ambientes, sendo o mais semelhante possível dos demais. Como a variação total explicada pelo IPCA1 (44,48%) e pelo IPCA2 (22,51%) foi elevada é possível efetuar uma seleção confiável dos ambientes mais representativos.

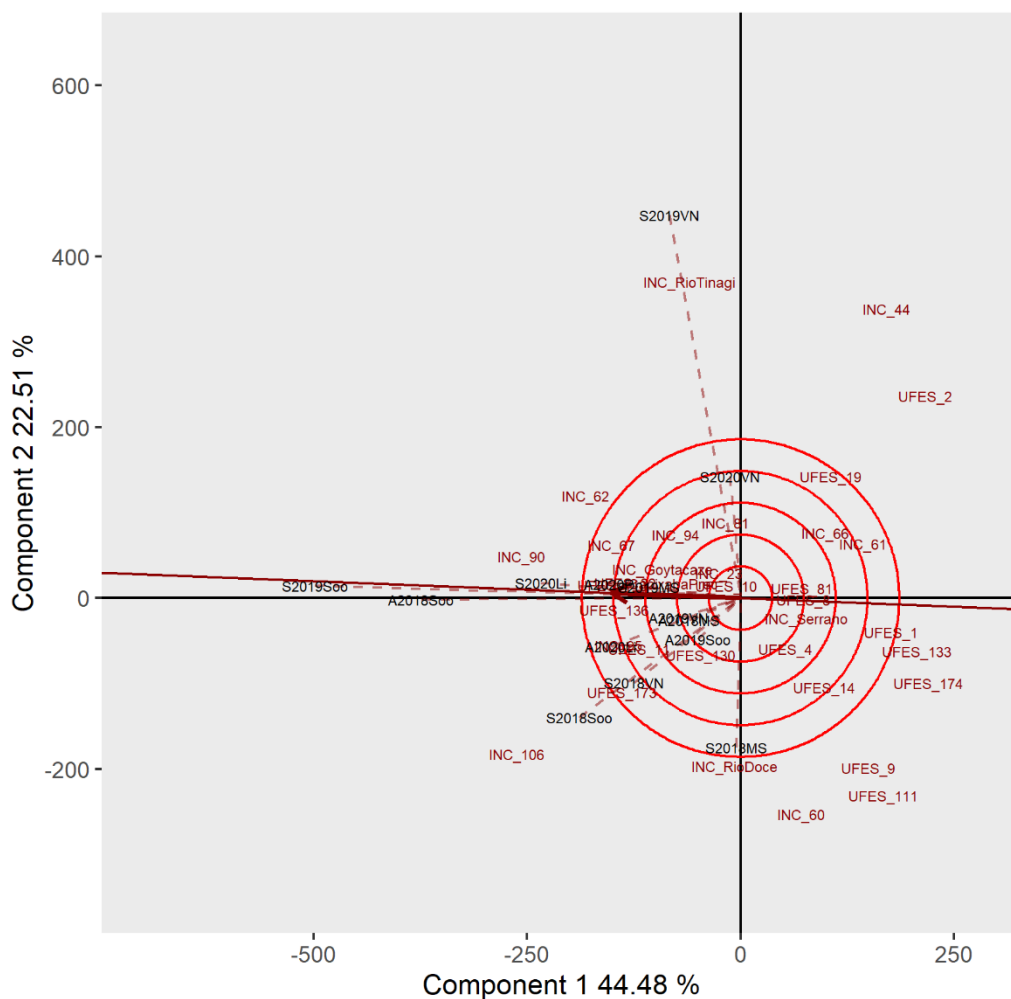


Figura 8. Gráfico GGE-Biplot: discriminativo x representativo, referente à produtividade de grãos de 35 genótipos de feijão comum avaliados em quatorze ambientes do Estado do Espírito Santo. MS: Mimoso do Sul; P: Pacotuba (Cachoeiro de Itapemirim); VN: Venda Nova do Imigrante; Soo: Sooretama; Li: Linhares. Avaliados nos anos de 2018 a 2020, que foram codificados de 18 a 20 e nas safras das águas e da seca que foram codificadas de A e S.

Ambientes discriminativos e representativos são úteis para selecionar genótipos com adaptação ampla a um ambiente. Ambientes discriminativos, mas não representativos podem auxiliar o descarte de genótipos instáveis. Por outro lado, ambientes não discriminativos e não representativos podem ser descartados, pois não são úteis em redes de experimentos (YAN; TINKER, 2006). Esse método tem a vantagem de fazer essa diferenciação entre os ambientes e proporcionar melhor resultado ao caracterizar os ambientes.

Genótipos mais próximos do centro são considerados os melhores genótipos e também mais estáveis. O genótipo é considerado mais adaptado a determinado ambiente quanto mais próximo ele está desse ambiente. Dessa forma, considerando o ambiente A2019Soo (Safrá das águas, ano 2019, Sooretama) e o material UFES_130,

possivelmente é um material adaptável por estar mais próximo desse ambiente e possivelmente um material estável (por estar mais próximo do centro).

O ambiente Venda Nova, ano 2019, safra da seca (S2019VN) foi o que teve maior capacidade em discriminar os genótipos, seguido por Sooretama, ano 2019, safra da seca (S2019Soo). Ambientes em condições de estresse geram maior capacidade em discriminar genótipos (SANTOS et al., 2017; GRANATO et al., 2016). Na safra da seca 2019, o ambiente Venda Nova sofreu um longo período de estiagem durante o cultivo do feijão, o que pode ter favorecido a formação de um ambiente de estresse. O genótipo INC_Rio Tibagi é o que se encontra mais próximo do ambiente S2019VN, demonstrando ser mais adaptável a ele. Observa-se também que os genótipos INC_44 e UFES_2 não foram bons em nenhum ambiente, de acordo com a análise em questão.

As diferenças ambientais são indicadas por vetores que se originam no centro do biplot (Figura 8). O valor do cosseno do ângulo entre dois vetores de dois ambientes demonstra que há correlação entre eles. De maneira geral, todos os ambientes estão correlacionados entre si, pois apresentam ângulos agudos entre si e menor que 90°. Os ambientes A2019VN, A2018MS, A2020Li e os S2018Soo, S2018VN, A2019Soo foram semelhantes entre si, pois apresentaram os menores ângulos agudos entre os ambientes.

Ambientes semelhantes podem indicar a ocorrência de ambientes redundantes em programas de melhoramento genético, elevando o custo com a obtenção de novos genótipos e não representando bem os ambientes mais divergentes (YAN et al., 2010; TERASAWA et al., 2008).

4. CONCLUSÃO

Os genótipos cultivados no ES apresentam grande potencial produtivo, demonstrado por apenas sete genótipos com produtividade média inferior às testemunhas comerciais;

Genótipos de feijão comum divergentes cultivados no ES apresentam potencial comercial, no estado superiores à testemunhas, demonstrando a adaptação desses materiais;

É possível indicar tanto genótipos de adaptabilidade geral e ampla produção, o que beneficia de forma geral os produtores no estado, bem como genótipos de

adaptabilidade específica, que permitem explorar as diferenças edafoclimáticas para favorecer a produtividade.

Em geral, a safra da seca e de maior calor (norte) favoreceram a produtividade de feijão no estado.

Genótipos responsivos às alterações ambientais e de estabilidade geral foram identificados.

A agricultura familiar no estado do ES guarda recursos genéticos adaptados às diferentes regiões e de alto potencial produtivo, sendo de grande impacto e favorável para o desenvolvimento de novas cultivares altamente produtivas e adaptáveis para fortalecer a cultura do feijão no estado, com importante fator socioeconômico associado.

5. Referências

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; MORAIS, P. P. P.; BALDISSERA, J. N. C.; ALMEIRA, C. B.; ROCHA, F.; VALENTINI, G.; BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Correlação fenotípica entre componentes do rendimento de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Semina: **Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1263-1274, 2011.

BOZDOGAN, H. Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. **Psychometrika**. v.52, p. 345–370, 1987.

BORNHOFEN, E.; TODESCHINI, M. H.; STOCO, M. G.; MADUREIRA, A.; MARCHIORO, V. S.; STORCK, L.; BENIN, G. Wheat yield improvements in Brazil: Roles of genetics and environment. **Crop Science**, v.58, p. 1082–1093, 2018.

BUENO, P. C. P.; LOPES, N. P. Metabolomics to characterize adaptive and signaling responses in legume crops under abiotic stresses. **American Chemical Society**, v. 5, n. 4, p. 1752-1763, 2020.

BURGUEÑO, J.; CAMPOS, G. DE LOS; WEIGEL, K.; CROSSA J. Genomic prediction of breeding values when modeling genotype × environment interaction using pedigree and dense molecular markers. **Crop Science**, v. 52, p. 707–719, 2012. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento de safra brasileira de grãos: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto 2022/** Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2022.

CARBONELL S. A. M.; GUERREIRO FILHO O.; SIQUEIRA W. J. Contributions of the Instituto Agrônômico (IAC) for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 12, p. 15-24, 2012.

CELMELI T.; SARI H.; CANCI H.; SARI D.; ADAK A.; EKER T. The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. **Agronomy**, v. 8, n. 9, p. 166–175, 2018.

CULLIS, B. R.; SMITH, A. B.; BEECK, C. P.; COWLING, W. A. Analysis of yield and oil from a series of canola breeding trials. Part II. Exploring variety by environment interaction using factor analysis. **Genome**, v.53, p. 1002–1016, 2010.

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

CORRÊA, A. M.; TEODORO, P. E.; GONÇALVES, M. C.; BARROSO, L. M. Artificial intelligence in the selection of common bean genotypes with high phenotypic stability. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 2, 2016.

DOMINGUES, L. S. RIBEIRO, N. D.; MINETTO, C.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 1065-1076, 2013.

DIAS, K.O.D.G., GEZAN, S.A., GUIMARÃES, C.T., NAZARIAN, A., E SILVA, L.D.C., PARENTONI, S.N., GUIMARÃES, P.E., DE, O., ANONI, C.O., PÁDUA, J.M.V., PINTO, M.O. Improving accuracies of genomic predictions for drought tolerance in maize by joint modeling of additive and dominance effects in multi-environment trials. **Heredity**, v. 121, p. 24–37, 2018.

GARNETT, T.; APPLEBY, M. C.; BALMFORD, A.; BATEMAN, I. J.; BENTON, T. G.; BLOOMER, P.; BURLINGAME, B.; DAWKINS, M.; DOLAN, L.; FRASER, D.; HERRERO, M.; HOFFMANN, I.; SMITH, P.; THORNTON, P. K.; TOULMIN, C.; VERMEULEN, S. J.; GODFRAY, H. C. Agriculture. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. **Science** (New York, N.Y.), v. 341, n. 6141, p. 33–34, 2013.

GRANATO, Í. S. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; SILVA, F. F.; RESENDE, M. D. V. Effects of using phenotypic means and genotypic values in GGE biplot analyses on genotype by environment studies on tropical maize (*Zea mays*). **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. 1-11, 2016.

HAMBIDGE, M. Human zinc deficiency. *Journal of Nutrition*, **Bethesda**, v. 130, n. 5, p. 1344-1349, 2000.

HEINEMANN A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS J.; SOUZA T. L. P.; DIDONET A. D.; DI STEFANO J. G.; BOOTE K. J. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 225, p. 57–74, 2016.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187–200, 1958.

KELLY, A.M.; SMITH, A.B.; ECCLESTON, J.A.; CULLIS, B.R. The accuracy of varietal selection using factor analytic models for multi-environment plant breeding trials. **Crop Science**, v. 47, p. 1063-1070, 2007.

Li, Y.; Suontama, M.; Burdon, R. D.; Dungey, H. S. Genotype by environment interactions in forest tree breeding: Review of methodology and perspectives on research and application. **Tree Genet & Genomes**, p. 13–60, 2017.

LOS, F. G. B.; ZIELINSKI, A. A. F.; WOJEICCHOWSKI J.P.; NOGUEIRA A.; DEMIATE I. M. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. **Current Opinion In Food Science**, v. 19, p. 63–71, 2018.

- MIGLIORANZA, E.; ARAÚJO, R. DE; ENDO, R. M.; SOUZA, J.R.P. DE.; MONTANARI, M. A. Teor de cálcio em frutos de diferentes cultivares de feijão-vagem. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 158-161, 2003.
- MYERS, J. R.; KMIECIK, K. “Common Bean: Economic Importance and Relevance to Biological Science Research,” in *The Common Bean Genome*. **Compendium of Plant Genomes**. p. 1–20, 2017.
- MONTEVERDE, E.; ROSAS, J. E.; BLANCO, P.; VIDA, F. P. de; BONNECARRÉRE, V.; QUERO, G.; GUTIERREZ, L.; MCCOUCH, S. Multienvironment models increase prediction accuracy of complex traits in advanced breeding lines of rice. **Crop Science**, v. 58, p. 1519–1530, 2018.
- NUVUNGA, J. J. **Análise de fatores para ensaios multiambientes sob diferentes níveis de desbalanceamento usando modelos mistos**. 2014. 85f. Dissertação (Estatística e Experimentação agropecuária). Universidade Federal de Lavras – MG, 2014.
- OLIVEIRA, G. V.; SOUZA, P. C. S.; SOUZA, J. E. S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e Estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, p. 257-265, 2006.
- PIEPHO, H. P. Empirical best linear unbiased prediction in cultivar trials using factor-analytic variance-covariance structures. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 97, p. 195-201, 1998.
- PEIXOUTO, L. S.; NUNES, J. A. R.; FURTADO D. F. Factor analysis applied to the G GE matrix via REML BLUP for multienvironment data. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 1-6, 2016.
- RAMOS J. E. U.; BROGIN, R. L.; GODINHO, V. de P. C.; BOTELHO, F. J. E.; TARDIN, F. D.; TEODORO, P. E. Identification of soybean genotypes with high stability for the Brazilian macro-region 402 via biplot analysis. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.
- RESENDE, M.D.V., THOMPSON, R. Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 22, p. 31-52, 2004.
- RESENDE, R. T.; PIEPHO, H. P.; ROSA, G. J. M.; SILVA-JUNIOR, O. B.; E SILVA, F. F.; DE RESENDE, M. D. V.; GRATTAPAGLIA, D. Enviromics in breeding: applications and perspectives on envirotypic-assisted selection. TAG. Theoretical and applied genetics. **Theoretische und angewandte Genetik**. v. 134 n. 1, p. 95–112, 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SANTOS, A.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; KUROSAWA, R. N. F.; GERHARDT, I. F. S.; FRITSCH NETO, R. GGE Biplot projection in discriminating the efficiency of popcorn lines to use nitrogen. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n.1, p. 22-31, 2017.

SMITH, A. B.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. **The Journal of Agricultural Science**, v. 143, p. 49–462, 2005.

SMITH, A. B.; CULLIS, B. R. Plant breeding selection tools built on factor analytic mixed models for multi-environment trial data. **Euphytica**, v. 214, n. 143, 2018.

SMITH, A. B., GANESALINGAM, A., KUCHEL, H., CULLIS, B. R. Factor analytic mixed models for the provision of grower information from national crop variety testing programs. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 128, p. 55–72, 2015.

SMITH, A., CULLIS, B., THOMPSON, R. Analyzing variety by environment data using multiplicative mixed models and adjustments for spatial field trend. **Biometrics**, v. 57, p. 1138–1147, 2001.

TERASAWA, J. R.; VENCOVSKY, R.; KOEHLER, H. Environment and genotype genotype-environment interaction in maize breeding in Paraná, Brazil. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, v.8, n.1, p. 17-22, 2008.

TORGA, P. P.; MELO, P. G. S.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. Interaction of common beans cultivars of the black group with years, locations and sowing seasons. **Euphytica**. v. 189, p. 239-248, 2013.

THOMPSON, R., CULLIS, B., SMITH, A., GILMOUR, A. A sparse implementation of the average information algorithm for factor analytic and reduced rank variance models. **Australian and New Zealand journal of statistics**, v. 45, p. 445-459, 2003.

WAINAINA, I.; WAFULA, E.; SILA, D.; KYOMUGASHO, C.; GRAUWET, T.; VAN, LOEY A.; HENDRICKX, M. Thermal treatment of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Factors determining cooking time and its consequences for sensory and nutritional quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 4, p. 3690-3718, 2021.

YAN, W. GGE Biplot vs AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the India Society of Agricultural Statistics**, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

YAN, W.; HOLLAND, J. B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. **Euphytica**, v.171, n. 3, p. 355-369, 2010.

YAN, W.; HUNT L.A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

YAN, W.; TINKER, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.

ZHANG, H.; YASMIN, F.; SONG, B. H. Tesouros negligenciados na natureza — parentes das leguminosas selvagens na segurança alimentar e na saúde humana. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 49, p. 17–26, 2019.

CAPÍTULO 3

EFEITO DA INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE SOBRE OS TEORES DE MINERAIS DE GRÃOS DE FEJÓEIROS

RESUMO

O feijão é uma grande fonte de proteínas e minerais na alimentação humana, auxiliando no combate à deficiência mineral no organismo humano, um grave problema de saúde pública em todo o mundo. Apesar de ser considerado um alimento rico na parte nutricional, apresenta grande variabilidade nas concentrações dos elementos nos grãos do feijão, estando sujeita a fatores genéticos e ambientais. O objetivo deste experimento foi estudar os efeitos da interação genótipo x ambiente sobre os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco dos grãos de feijão para estimar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos em seis ambientes. Os experimentos foram realizados em Pacotuba/Cachoeiro de Itapemirim, Venda Nova do Imigrante, Linhares, Espírito Santo, Brasil, representando 3 mesorregiões: Sul, Central e Litoral Norte, respectivamente, no ano agrícola de 2020, em duas safras anuais das águas e da seca. Trinta e quatro genótipos de feijoeiro, entre eles crioulos e comerciais, foram avaliados em blocos casualizados com três repetições. Foi realizada digestão sulfúrica com determinação titulométrica para teor de N e digestão nitroperclórica e quantificado o teor de P, K, Ca, Mg, Fe e Zn em grãos de feijão moídos, utilizando-se espectrofotômetro de absorção atômica. Foram realizadas caracterização mineral e as análises de variância, adaptabilidade e estabilidade. Observou-se diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as características em estudo. Existe alta variação mineral entre os genótipos de feijoeiro, tendo como destaque na maioria dos ambientes analisados os genótipos crioulos. O ambiente Cachoeiro, ano 2020, safra das águas foi mais favorável para quatro dos sete minerais analisados nesse estudo (P, K, Ca e Fe). Os genótipos INC-60, INC-61 e Rio Tibagi são recomendáveis devido apresentarem alto teor de K, N e P, respectivamente, em todos os ambientes e ampla adaptabilidade e estabilidade (WiG). Os genótipos UFES-10, UFES-95, INC-23, INC-90, Goytacazes apresentaram melhor desempenho para N, P, K, Mg e Zn, respectivamente, em ambientes favoráveis considerando todas as metodologias de adaptabilidade e estabilidade utilizadas neste trabalho.

Palavras-chave: Interação genótipo x ambiente, nutrição humana, biofortificação, melhoramento de plantas, minerais

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) está entre as principais culturas produzidas no mundo, representando grande importância econômica e nutricional. O Brasil é um dos maiores consumidores e produtores de feijão, com 10% da produção mundial anual (FAO, 2022; CONAB, 2022). Devido à plasticidade da cultura para se adaptar às diferentes condições climáticas e de solo e as diversas variedades disponíveis no mercado, o cultivo do feijão ocorre durante todo o ano em três safras anuais, da seca, das águas e de invernos, o que garante a oferta constante dessa leguminosa (CONAB, 2022).

Os grãos possuem rica fonte de proteínas, sendo uma das mais utilizadas pela população do Brasil e do mundo (TOLEDO et al., 2009; GARCÍA-CORDERO et al., 2021). É considerado pela Organização Mundial da Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization - FAO) como uma das melhores opções para o aumento de oferta de proteínas, em razão do baixo custo de produção. Também é fonte de carboidratos, fibras e minerais, como ferro, zinco e cálcio (BLAIR, 2013). A deficiência de minerais no organismo humano é um grave problema de saúde pública mundial (GUPTA; GUPTA, 2014; BOUIS; WELCH, 2010; KUMSSA et al., 2015).

O feijoeiro, sendo excelente fonte de minerais, pode ser utilizado na prevenção de diversas deficiências minerais, como na deficiência de zinco a qual prejudica o crescimento e o sistema imunológico (HAMBIDGE, 2000; WHO et al., 2016) e de Ca, que provoca osteoporose (MIGLIORANZA et al., 2003). Quando comparado a outras leguminosas, o feijão tem 50% a mais de cálcio que o grão-de-bico e 100% a mais que a lentilha (SEBASTIÁ et al., 2001). Já a deficiência de ferro, é considerada a carência nutricional mais prevalente em todo o mundo, portanto, o consumo de feijão pode ser benéfico à saúde por prevenir doenças como anemia (GLAHN et al., 2017; HAAS et al., 2016). Logo, reforça-se a importância dessa leguminosa na dieta humana. Diversos estudos mostram os potenciais benefícios que o consumo de grãos de feijão proporciona à saúde (HAYAT et al., 2014; PETRY et al. 2015; CELLENO et al., 2007; CASTRO-GUERRERO et al., 2016; THOMPSON et al., 2017; CHEN et al., 2019).

Existe ampla variabilidade nas características nutricionais em grãos de feijão (ISLAM et al. 2002; CICHY et al. 2009; SILVA et al. 2012; PINHEIRO et al. 2010; RIBEIRO et al. 2014; MCCLEAN et al. 2017; ZANOTTI et al., 2020; ALTOÉ, 2018; GIUSEPPA et al., 2016; DELFINI et al., 2020; BEEBE, et al., 2000; RIBEIRO, 2020;

PIRES, et al., 2005), condição essencial para desenvolver cultivares de feijoeiro com maiores teores nutricionais (RIBEIRO, 2010; SANTOS; BOITEUX, 2013). A estratégia de melhorar o conteúdo nutricional de uma cultura, por meio de melhoramento de plantas, é conhecida como biofortificação (KACHINSKI, et al., 2022; RIOS et al., 2011).

A introdução de produtos agrícolas biofortificados com elevados teores de proteínas e minerais são considerados componentes importantes em programas de melhoramento, tendo como principal objetivo combater a desnutrição humana, garantindo maior segurança alimentar (BOUIS et al., 2011; BOUIS et al. 2017; VALENÇA et al., 2017). Nesse contexto, o feijão, que possui excelentes atributos nutricionais, ampla variabilidade genética e é alimento básico em vários países da África e da América Latina, torna-se um forte candidato à biofortificação, por isso é tão importante explorar as características nutricionais das diversas variedades existentes.

No entanto, o teor de minerais nas sementes de feijão pode ser influenciado por questões fisiológicas, local de crescimento e por fatores ambientais, como diferentes safras e anos agrícolas, localização geográfica, condições edafoclimáticas distintas dos locais de cultivo, fazendo com que uma determinada variedade reduza ou potencialize características nutricionais de grãos (FERREIRA et al., 2014). O efeito ambiental na variação do teor de minerais nas sementes de feijão tem sido estudado por vários autores (MARTINS et al., 2016; BURATTO et al., 2009; ARAÚJO et al., 2003; SILVA, 2018; FERNANDES et al., 2016). Nesse sentido, além dos componentes genótipo e ambiente, assume importância no melhoramento de genótipos para características de interesse, o componente da interação genótipo por ambiente (G x A), identificada por meio da análise de variância conjunta (PEREIRA et al., 2014; HAMAWAKI, 2014; OLIVEIRA et al., 2020; FERNANDES et al., 2016).

Além de estudo de interação G x A, torna-se útil e complementar o conhecimento das estimativas de adaptabilidade e estabilidade, por tornarem possível a identificação de genótipos de comportamentos compatíveis as variações ambientais (PERINA et al., 2010; PEREIRA, et al., 2014; MACHADO, 2020), ou seja, são métodos estatísticos que possibilitam, de algum modo, identificar cultivares de comportamento mais estáveis que respondem de forma previsível às variações ambientais.

Existem na literatura vários métodos para se avaliar a adaptabilidade e estabilidade em cultivares. A diferença entre eles é baseada nos parâmetros adotados

para sua avaliação, nos procedimentos biométricos e certamente nos princípios estatísticos empregados (CRUZ et al., 2012). Como exemplo, é possível citar os métodos baseados em análise de variância: Annicchiarico (1992), análise não paramétrica: Lin e Binns (1988), baseado em regressão linear simples: Eberhart e Russell (1966). O método de Eberhart & Russel (1966) é utilizado com frequência para estudos de adaptabilidade e estabilidade em diversas espécies vegetais.

O aumento da qualidade nutricional do feijão possibilita o acesso a uma alimentação que proporcione melhorias na dieta nutricional humana. Nesse sentido, busca-se não só alta produtividade no desenvolvimento de cultivares de feijoeiro, mas também melhorias na qualidade nutricional dos grãos para atender às demandas do mercado consumidor. Fazer com que a população consuma alimentos mais nutritivos diariamente é um objetivo preconizado mundialmente, pois assim é possível que haja redução em uma série de problemas de saúde.

Considerando que o feijão comum é produzido em diversos locais e que há variabilidade genética para diversas características, cabe aos programas de melhoramento o desenvolvimento de variedades com características superiores, como alta produtividade e alta qualidade nutricional e que, além disso, apresentem ampla adaptabilidade e alta estabilidade as mais diversas regiões.

No estado do Espírito Santo, região sudeste no Brasil, o feijão é cultivado em praticamente todas as regiões, sob diferentes condições edafoclimáticas. No estado, a produção é realizada principalmente pela agricultura familiar, os quais utilizam, na maioria das vezes, genótipos de feijões crioulos, os quais podem conter genes importantes que são perdidos devido aos programas convencionais de melhoramento genético. Genótipos de feijoeiros coletados em regiões do estado do Espírito Santo apresentam diversidade de material para caracteres morfológicos, moleculares e nutricionais (CARVALHO, 2019; ALTOÉ, 2018), indicando ser uma boa população de estudo e de obtenção de material potencial.

Diante do exposto, objetivou-se caracterizar trinta e quatro variedades de feijoeiro cultivadas no estado do Espírito Santo, a respeito de sete características nutricionais dos grãos: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, além de estudar a interação G x A e adaptabilidade e estabilidade com base na qualidade nutricional dos grãos. Diante dessas informações, pretende-se indicar genótipos relevantes quanto às características nutricionais dos grãos de feijão comum e quanto a sua capacidade adaptativa e estabilidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Multiplicação e Purificação dos grãos de feijoeiro

Os genótipos de feijão comum foram plantados em Mimoso do Sul – ES, para multiplicação. Na colheita, foi realizada a seleção de plantas individuais com teste de progênie para obtenção de linhagens puras. A purificação dos genótipos a serem utilizados é uma forma de minimizar os efeitos negativos da mistura de material, tais como perda de identidade genética e desuniformidade do cultivo e da produção. Após a colheita de campo, as sementes foram devidamente armazenadas.

2.2. Material Genético e Delineamento Experimental

A coleção de germoplasma de feijão comum do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAUE/UFES) conta com 355 acessos, sendo necessário a ampliação da caracterização quanto à qualidade nutricional aos demais genótipos. Os feijões crioulos foram obtidos a partir da coleção de feijão pertencente ao Programa de Melhoramento Genético da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), os quais foram obtidos por meio do Incaper, propriedades rurais e feiras de diferentes regiões do Estado do Espírito Santo. A prévia identificação de genótipos divergentes por marcadores moleculares permitiu selecionar 34 genótipos (CARVALHO, 2019), correspondendo a 29 crioulos e 5 testemunhas (Tabela 1).

Tabela 1. Identificação, nome comum e informações de trinta e quatro genótipos de feijão comum utilizados neste trabalho

ID	Nome	Cor	Classe	Pool Gênico	Procedência
INC-23	Baitão Mamoninha	Cores	Crioulo	MES	Incaper
INC-44	Vermelho Antigo	Vermelho	Crioulo	MES	Incaper
INC-60	Vagem Preta	Preto	Crioulo	MES	Incaper
INC-61	Feijão Nova planta	Cores	Crioulo	MES	Incaper
INC-62	Penquinha	Cores	Crioulo	AND	Linhares
INC-66	Manteigão	Cores	Crioulo	MES	Domingos Martins
INC-67	Terrinha	Cores	Crioulo	MES	Domingos Martins
INC-81	Preto	Vermelho	Crioulo	MES	Alfredo Chaves
INC-90	Feijão Caetezinho	Preto	Crioulo	MES	Colatina
INC-94	Porto Real	Preto	Crioulo	MES	Alfredo Chaves

INC-95	Carioquinha	Carioca	Crioulo	MES	Alfredo Chaves
INC-106	Carioca	Carioca	Crioulo	MES	Iúna
INC-Serrano	Serrano	Preto	Comercial	MES	Incaper
INC-Goytacazes	Goytacazes	Carioca	Comercial	MES	Incaper
INC-Rio Tibagi	Rio Tibagi	Preto	Comercial	MES	Incaper
INC-Rio Doce	Rio Doce	Carioca	Comercial	MES	Incaper
Capixaba	Capixaba Precoce	Preto	Comercial	MES	Incaper
UFES-4	Preto	Preto	Crioulo	MES	Vitória
UFES-9	Vermelho	Vermelho	Crioulo	MES	Alegre
UFES-11	Vagem riscada	Preto	Crioulo	MES	Muniz Freire
UFES-19	Vermelho	Vermelho	Crioulo	MES	Iúna
UFES-118	Preto	Preto	Crioulo	MES	Venda Nova
UFES-130	Carioca	Carioca	Crioulo	MES	Venda Nova
UFES-1	Palhacinho	Cores	Crioulo	AND	Vila Velha
UFES-81	Verde Cristo Rei 01	Cores	Crioulo	AND	Incaper
UFES-111	Verde	Cores	Crioulo	AND	Alegre
UFES-10	Vagem riscada	Preto	Crioulo	MES	Muniz Freire
UFES-133	Amarelo	Amarelo	Crioulo	AND	Santa Teresa
UFES-14	Amendoim	Cores	Crioulo	AND	Guaçuí
UFES-173	Preto	Preto	Crioulo	MES	Alegre
UFES-174	Vermelho	Vermelho	Crioulo	MES	Alegre
UFES-32	CNFP 15304	Preto	Crioulo	MES	Embrapa
UFES-8	Vagem riscada	Preto	Crioulo	MES	Alegre
UFES-136	Carioca	Carioca	Crioulo	MES	Santa Teresa

ID=Identificação; UFES= Universidade Federal do Espírito Santo

Posteriormente, esses 34 genótipos foram avaliados em 3 municípios, compreendendo 3 diferentes mesorregiões do Estado do Espírito Santo (Sul, Central e Litoral Norte Espírito-santense), distribuídas geograficamente como mostrado na Figura 1, ao longo de 1 ano (2020) e duas safras: da seca (1) e das águas (2). Os experimentos foram nomeados de acordo com a inicial de cada local, seguido pelo seu respectivo ano mais a safra (1, seca ou 2, das águas), por exemplo: Pac20/1: Localidade de **Pacotuba** no ano de **2020** na safra da seca. Cada ambiente foi composto pelo local, ano e safra de plantio, totalizando seis ambientes (Tabela 2).

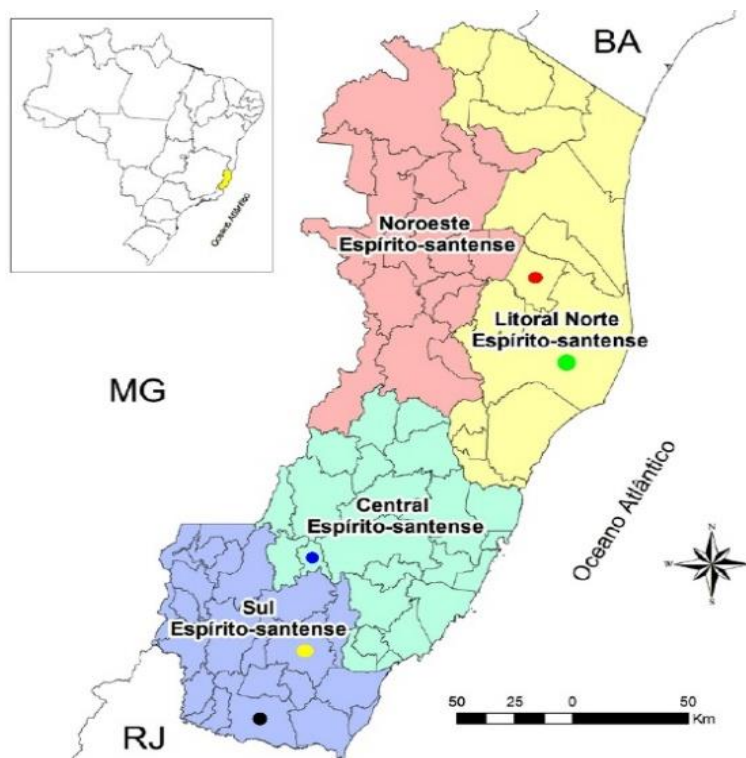


Figura 1. Representação das mesorregiões Litoral Norte, Central e Sul Espírito-santense em que foram instalados os experimentos. Ponto Amarelo – Cachoeiro de Itapemirim; Ponto Azul – Venda Nova do Imigrante; Ponto Verde – Linhares.

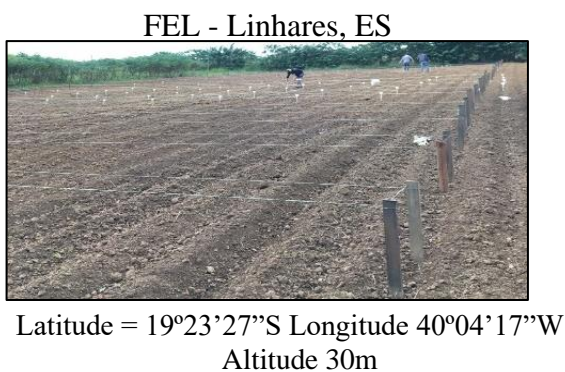


Figura 2. Localizações geográficas dos locais em que os experimentos foram realizados com as respectivas informações de: latitude, longitude e altitude dos municípios. FEBN – Fazenda Experimental Bananal do Norte, Cachoeiro de Itapemirim (Pacotuba), FEVN – Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante; FEL – Fazenda Experimental de Linhares.

Tabela 2. Locais dos experimentos avaliados no estado do Espírito Santo, altitude dos locais dos experimentos, datas de semeadura e colheita

Local - Abreviações	Altitude (m)	Data de	Data de
		semeadura	Colheita
		2020	2020
Cachoeiro de Itapemirim - Pac20/1	50	26/03	26/06
Cachoeiro de Itapemirim - Pac20/2	50	13/08	19/11
Venda Nova do Imigrante - VNI20/1	724m	27/03	07/07
Venda Nova do Imigrante - VNI20/2	724m	30/10	19/01
Linhares - Lin20/1	30m	23/04	23/07
Linhares - Lin20/2	30m	09/09	03/12

Em relação à temperatura e à precipitação média anual, o município de Cachoeiro de Itapemirim (Pacotuba) – ES é caracterizado pelo clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno, temperatura média de 24,2°C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro, com 27,3 °C e menor média ocorre no mês de julho, 20,6°C, período caracterizado por temperaturas amenas na região. Possui índice pluviométrico anual de 1.187,6 mm e altitude média de 146 metros acima do mar.

Venda Nova do Imigrante – ES é classificado com clima mesotérmico de inverno seco, temperatura média de 18,5 °C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro, com 21,4°C e a menor média ocorre no mês de julho 15,1°C. Possui índice pluviométrico anual de 1.363,7 mm e altitude média de 950 metros acima do nível do mar.

E Linhares – ES, caracterizado por clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno e temperatura média em torno de 24,3 °C, com a maior média ocorrendo no mês de fevereiro, com 26,8 °C e menor média ocorre no mês de julho 21,6 °C, período com temperaturas amenas na região. Possui índice pluviométrico anual de 1.278,9 mm e altitude média de 40 m (INCAPER, 2022).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições e parcelas constituídas de 4 linhas de 1,5 m espaçadas por 0,5 m, constituindo uma densidade de semeadura de 10 sementes por metro linear, totalizando

60 sementes por parcela. A adubação de base foi efetuada de acordo com a análise química do solo.

As duas linhas centrais foram consideradas área útil e as duas linhas laterais foram consideradas bordaduras para separação de parcelas. Na colheita, somente as plantas das duas linhas centrais foram colhidas, levadas para estufa para secagem das vagens. Posteriormente, as vagens foram debulhadas, levadas para estufa de circulação contínua para secagem e posteriormente moagem. Para as estimativas de adaptabilidade e estabilidade, foram avaliados os caracteres relacionados a qualidade nutricional dos grãos de feijão comum.

2.3. Análise Mineral

Para as análises nutricionais dos grãos de feijão comum, foram consideradas as principais características: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe) e Zinco (Zn). Os grãos foram moídos em moinho de faca e peneirados em malha 40 (0,425 mm) para obter farinha de feijão, a qual foi armazenada a 4°C até serem necessárias.

A composição mineralógica foi determinada segundo Malavolta et al. (1997). Para os elementos P, K, Ca, Mg, Fe e Zn, foi utilizado a metodologia de digestão Nitro-perclórica. Foi pesado 0,25g de amostra de feijão ao qual foram adicionados 4 mL de solução nitroperclórica (3:1) desses ácidos concentrados. As amostras foram colocadas em bloco digestor com aquecimento e exaustão, sendo mantidas nessa condição até a formação de uma solução límpida, sem coloração amarela. Após a digestão, o material foi transferido para balões volumétricos de 25 mL e o volume completado com água deionizada. Os minerais foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica.

Para determinação do teor de N, foi pesado 0,1 g de amostra de feijão ao qual foi adicionado 1 mL de ácido sulfúrico e 1 mL de peróxido de hidrogênio 35%. As amostras foram colocadas em bloco digestor com aquecimento e exaustão, sendo mantidas nessa condição até a formação de uma solução límpida, sem coloração amarela. Após a digestão, o material foi transferido para balões volumétricos de 25 mL e o volume, completado com água deionizada. Posteriormente, foi realizada a determinação titulométrica do elemento.

2.4. Análise Estatística

Os dados coletados foram tabulados e posteriormente realizaram-se as análises individuais de variância, seguindo-se de uma análise conjunta. Na análise conjunta, verificou-se primeiramente, a homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos verificada por meio do teste da razão entre o maior e o menor quadrado médio residual dos experimentos. A avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos foi realizada pelos seguintes métodos: Annicchiarico (1992), Eberhart & Russell (1966) e Lin & Binns (1988), realizadas usando o programa computacional Genes (CRUZ, 2016). As estatísticas adotadas por esses métodos são descritas a seguir.

2.4.1 Método Annicchiarico

O método de Annicchiarico (1992) baseia-se no chamado índice de confiança genotípico, estimado por:

$$I_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{Z_i(g)}$$

considerando-se todos os ambientes, em que $\hat{\mu}_{i(g)}$ é a média porcentual dos genótipos i ; $\hat{\sigma}_{Z_i(g)}$ é o desvio-padrão dos valores Z_{ij} , associado ao i -ésimo genótipo; $Z_{(1-\alpha)}$ é o percentil da função de distribuição normal padrão. O coeficiente de confiança adotado será o de 75%, isto é, $\alpha = 0,25$.

2.4.2 Método Eberhart & Russell

O método de Eberhart e Russell (1966) é baseado em uma análise de regressão linear que utiliza o índice ambiental para avaliar a qualidade dos ambientes e para classificá-los como favoráveis e desfavoráveis por meio de índices negativos e positivos, considerando dessa forma a resposta de cada genótipo avaliada às variações do ambiente.

Esse método considera três parâmetros na avaliação individual de cada cultivar, a produtividade média (β_{0i}), coeficiente de regressão linear (β_{1i}), e o desvio de regressão (σ_{2di}). Por meio desse método, as cultivares podem ser classificadas como de adaptabilidade geral ou ampla, quando β_{1i} não diferir estatisticamente de 1, de

adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, quando β_i for estatisticamente maior que 1, ou de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, quando β_i for estatisticamente menor que 1 (EBERHART; RUSSELL, 1966).

O método de Eberhart & Russell usa, na avaliação individual dos genótipos, a produtividade média do genótipo (\bar{Y}_i), o seu coeficiente de regressão (β_i) e a variância dos desvios dessa regressão (σ_{di}^2). Seus respectivos estimadores são dados por:

$$\bar{Y}_i = \sum_j Y_{ij}/a$$

$$\hat{\beta}_i = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}, \text{ em que}$$

$$I_j = \sum_j Y_{ij}/g - \sum_i \sum_j Y_{ij}/ag$$

(Índice ambiental)

$$\hat{\sigma}_{di}^2 = \frac{[\sum_j Y_{ij}^2 - (\sum_j Y_{ij})^2/a] - (\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2}{a-2}$$

2.4.3 Método Lin & Binns

A estatística de estabilidade e adaptabilidade P_i , adotada pelo método de Lin & Binns (1988) será obtida por:

$$P_i = \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2a$$

em que M_j é a produtividade máxima entre todos os genótipos, no j-ésimo ambiente. O genótipo estável é aquele que apresentar o menor índice P_i .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de Variância Conjunta

A análise de variância conjunta para variáveis de qualidade nutricional mostrou que nos efeitos de genótipos e ambientes ocorreram variações significativas a 1% pelo teste F (Tabela 4). A diferença entre genótipos indica a variabilidade genética e potencial utilização no melhoramento. A diferença entre os ambientes mostra a influência das variações ambientais ou manejo de uma safra para outra sobre as variáveis.

A existência de diferenças significativas para os efeitos de ambientes e da interação G x A sugere que os ambientes de experimento foram contrastantes para os teores dos minerais avaliados, relevando comportamento diferenciado dos genótipos frente às variações dos ambientes de experimento. Condições como essas foram evidenciadas em estudos anteriores realizados por Muranaka et al. (2016), Oliveira et al. (2017) e Singhal et al. (2018). Foram encontradas diferenças significativas para a interação G x A para o teor de Zn em genótipos de feijão-caupi conduzidos em quatro ambientes, nos estados do Piauí e Maranhão (OLIVEIRA et al., 2017). Interação G x A para os teores de Fe e Zn foi identificada na avaliação de genótipos de feijão-caupi em estudo realizado no Nordeste brasileiro (SILVA & SANTOS, 2017).

Tabela 4. Análise de variância conjunta de seis experimentos, com 34 genótipos de feijão comum avaliados em três blocos por local, para variáveis nutricionais N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn dos grãos por planta de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) no Espírito Santo

Variáveis	Quadrados médios				Média	CV(%)
	QMG	QMA	QMGa	QMR		
N	59,45**	1023,48**	42,23**	0,16	35,013	1,158
P	1,29**	17,95**	0,74**	0,00	4,85	1,51
K	13,35**	85,81**	3,33**	0,085	14,59	2,00
Ca	1,54**	12,25**	0,86**	0,00	1,23	2,52
Mg	0,44**	0,72**	0,11**	0,00	1,73	1,42
Fe	151,11**	938,87**	80,45**	0,13	45,96	0,78
Zn	132,40**	1032,81**	49,74**	0,14	32,43	1,17

N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Fe: Ferro; Zn: Zinco; QMG; quadrado médio do genótipo; QMA: quadrado médio do ambiente (local, ano, safras);

QMGA: quadrado médio da interação genótipos x ambientes; QMR: quadrado médio do resíduo; CV(%): Coeficiente de variação.

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Diante da confirmação para interações G x A, é necessário que seja explorada com objetivo de conhecer sua importância e determinar se é positivo ou negativo para ter sucesso na seleção e recomendação de cultivares para ambientes específicos ou multiambientes, dada a importância desses minerais na saúde humana, e melhor aproveitamento da oferta ambiental (BASHIR et al., 2014; SINGHAL et al., 2018; SANTOS et al., 2019). Dessa forma, também torna possível conciliar características importantes como alta produtividade e altos teores de qualidades nutricionais nos grãos, permitindo indicar genótipos superiores com alto desempenho para determinados ambientes de cultivo e responder a estratégias de cultivo que favoreçam produtores e consumidores.

Nesse contexto, a melhor estratégia para o manejo da interação G x A no caso dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn é a realização de análises de adaptabilidade e estabilidade de modo a selecionar genótipos com adaptação ampla ou específica e, assim, contribuir com programa de melhoramento quanto à recomendação de cultivares para as regiões de cultivo do feijoeiro. Silva e Santos (2017), avaliando a adaptabilidade e estabilidade para micronutrientes em feijão em condições de semiárido brasileiro, observaram que os genótipos com alto teor de ferro apresentavam instabilidade fenotípica, indicando que esses genótipos se comportam de forma diferencial dependendo do ambiente de avaliação. Estudo realizado com feijão mostra que genótipos apresentam comportamento diferenciado para teores de Ferro dependendo do ambiente (ARAÚJO, 2020).

As respostas referentes aos genótipos quando sujeitos a diferentes ambientes podem ser previsíveis e imprevisíveis (ALLARD & BRADSHAW, 1964). Nesse contexto, a manifestação fenotípica no caso deste presente trabalho, além dos fatores imprevisíveis como quantidade, distribuição de chuva e variações na temperatura dentre outros, também podem ter influenciado os fatores permanentes como manejo, época de plantio e colheita. Sendo assim, esse estudo torna possível à identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações de ambientes e manejo em condições amplas e específicas reduzindo o efeito da interação (RONO et al., 2017).

Os genótipos foram comparados com base no agrupamento de média pelo teste de Scott-Knott, para Linhares, Venda Nova do Imigrante e Cachoeiro (Pacotuba) (Tabela 5). Para melhor visualização dos dados, os genótipos que apresentaram maior e menor teor para cada mineral avaliado foram apresentados na tabela 6. Essas informações são úteis para a seleção de cultivares com maior valor nutricional e para a melhoria das características de qualidade nutricional do grão. Além da importância dos minerais para a qualidade nutricional dos grãos de feijão, estudos mostram que quando o teor de minerais foi elevado nos grãos de feijoeiro, verificou-se maior número de plântulas viáveis e vigorosas, as plantas foram mais resistentes às doenças e mais eficientes no uso da água (FROSSARD et al., 2000).

Em Linhares (Tabela 5), verificou-se que a variedade crioula INC-61 apresentou maior média para variável N, com 40,46 g/kg, não diferenciando significativamente das variedades comerciais Rio Tibagi, Rio Doce e Capixaba Precoce. A variedade crioula INC-44 apresentou maior média para variável P (5,19 g/kg), seguida das variedades crioulas UFES-60 (5,06 g/kg) e UFES-14 (5,05 g/kg), que não diferenciaram estatisticamente da variedade comercial Rio Tibagi (5,15 g/kg). O maior teor de K foi observado nos genótipos INC-44 e INC-60, com 15,63 g/kg para ambos, não diferenciando estatisticamente das variedades comerciais Goytacazes (15,1 g/kg), Serrano (14,58 g/kg) e Rio Tibagi (14,48 g/kg). O maior teor de Ca e Mg foi verificado na variedade crioula INC-90, com 3,51 g/kg e 2,9 g/kg, respectivamente, diferenciando estatisticamente de todos os demais genótipos. Resultados como estes demonstram a importância de estudar genótipos crioulos e preservá-los para que possam ser utilizados em programas de melhoramento genético. O magnésio ativa diversos sistemas enzimáticos importantes para a manutenção do potencial elétrico de nervos e membranas. O feijão é uma importante fonte de magnésio. O maior teor de Fe foi observado para a variedade comercial Rio Doce, com 66,83 mg/kg, diferenciando estatisticamente de todas as demais variedades estudadas. A diversidade genética de concentração de ferro observada, permite aumentar muito a concentração deste mineral nos grãos. Os teores médios de ferro encontrados neste trabalho apresentaram valores similares aos encontrados em outros trabalhos (PINHEIRO et al., 2010). O Fe é essencial à formação da hemoglobina e sua deficiência provoca anemia (MAHAN, 1998), assim, a ingestão diária de grãos de feijoeiro com maior teor desse mineral, é importante na prevenção dessa doença. O maior teor de Zn foi observado na variedade crioula UFES-19 (40,5 mg/kg), não diferenciando estatisticamente das variedades

comerciais Goytacazes (34,08 mg/kg), Rio Doce (32,75 mg/kg) e Capixaba Precoce (36,25 mg/kg). PEREIRA et al. (2011), estudando genótipos crioulos, observou-se uma variação de 32 a 68 mg/kg de zinco nos grãos em dois anos de cultivo. Grãos de feijoeiro com maior teor de Zn se torna importante por contribuir no crescimento normal de crianças e no sistema imunológico.

Em Venda Nova (Tabela 5), o teor de N variou de 40,12 g/kg (UFES-10) a 29,75 g/kg (INC-81) (Tabela 6). A variedade crioula UFES-10 não diferenciou estatisticamente das variedades comerciais Serrano (36 g/kg), Rio Tibagi (37,87 g/kg) e Capixaba Precoce (36,9 g/kg). O teor de P variou de 5,72 g/kg (INC-60) a 4,32 g/kg (UFES-19). Para esse macronutriente, a variedade crioula INC-60 não diferenciou estatisticamente das variedades comerciais Capixaba Precoce (5,49 g/kg) e Rio Tibagi (5,41). O maior teor K foi observado na variedade crioula UFES-18 (17,08 g/kg), seguida de outras variedades crioulas como INC-23 (16,56 g/kg), INC-60 (16,35 g/kg) e INC-94 (16,25), não diferenciando estatisticamente das variedades comerciais Capixaba Precoce (16,25 g/kg) e Rio Tibagi (15,94 g/kg). O maior teor de Ca foi observado na variedade crioula UFES-9 (2,83 g/kg), destacando-se de todas as demais variedades. O maior teor de Mg, diferenciando estatisticamente de todas as demais variedades, foi observado para a variedade comercial Rio Tibagi (1,97 g/kg). O teor de Fe variou de 51,6 mg/kg (UFES-4) a 38,5 (UFES-133). A variedade crioula UFES-4 não diferenciou estatisticamente da variedade comercial Goytacazes (51,5 mg/kg). O maior teor de Zn foi para variedade comercial Goytacazes (43,25 mg/kg), destacando-se de todos os demais genótipos para esse local.

Em Cachoeiro de Itapemirim também houve variação significativa para todas as variáveis nutricionais estudadas (Tabela 5). Em comparação aos demais locais, esse foi o que apresentou a variedade com maior teor de N, sendo observado na variedade crioula UFES-19 (42,22 g/kg), seguida das variedades crioulas UFES-4 (40,54 g/kg) e da INC-81 (40,19 g/kg), não diferenciando estatisticamente das variedades comerciais Serrano (40,23 g/kg), Rio Doce (39,84 g/kg) e Capixaba Precoce (38,65). O maior teor de P foi observado na variedade crioula INC-95 (5,59 g/kg), seguida das variedades crioulas INC-60 (5,49 g/kg) e da UFES-8 (5,47 g/kg), que não diferenciaram estatisticamente das variedades comerciais Rio Doce (5,39 g/kg), Rio Tibagi (5,29 g/kg) e Serrano (5,1 g/kg). Para o teor de K, houve variação entre 16,46 g/kg (INC-67) a 12,71 g/kg (UFES-14). A variedade comercial INC-67 diferenciou estatisticamente de todas as demais. Assim como no local de Venda Nova, o maior teor de Ca foi

observado na variedade crioula UFES-9 (2,46 g/kg) e o maior teor de Mg foi observado para a variedade comercial Rio Tibagi (1,92 g/kg), não diferenciando estatisticamente, nesse caso, da variedade crioula UFES-173 (1,88 g/kg) e UFES-9 (1,86 g/kg). O maior teor de Fe foi verificado para a variedade crioula UFES-8 (54,33 mg/kg), não diferenciando estatisticamente de outras variedades crioulas como UFES-4 (54,25 g/kg) e INC-61 (54,25 g/kg) e das variedades comerciais Serrano (52 mg/kg), Capixaba Precoce (51,92 mg/kg), Rio Tibagi (51,75 mg/kg) e Rio Doce (47,58 mg/kg). O menor teor de Fe foi de 40,5 mg/kg (UFES-1). O teor de Zn variou de 40,00 mg/kg (UFES-11) a 26,92 mg/kg (UFES-133).

Estudo avaliando a diversidade de conteúdo nutricional em germoplasma de feijão comum brasileiro encontrou variações de P (4,66 a 8,38 g/kg), K (12,25 a 21,75 g/kg), Ca (0,86 a 2,4 g/kg), Mg (1,71 a 2,66 g/kg), Zn (26,45 a 46,90 mg/kg), Fe (51,84 a 115,27 mg/kg) na composição mineral de 1512 acessos de feijão comum, mostrando variações de minerais dentro do encontrado nesse estudo (DELFINI et al., 2020).

Esses resultados confirmam a existência de variação na composição química entre os grãos de genótipos de feijoeiro em estudo, sendo essa uma condição essencial para que melhoristas possam exercer pressão de seleção artificial e obter o ganho esperado. Nenhum genótipo apresentou melhor desempenho para todas as características avaliadas. No entanto, é possível observar, para todos os locais, variedades crioulas e comerciais dentro de um mesmo grupo e que genótipos crioulos apresentaram teores minerais maiores que genótipos comerciais, independentemente do local de cultivo, mostrando o potencial das variedades crioulas cultivadas no estado (tabela 6). É importante para o cruzamento de genótipo, além da utilização de genótipos divergentes, que estes evidenciem bom desempenho em relação aos principais caracteres de importância agronômica, sendo o mais apropriado para obter êxito no melhoramento genético de plantas.

Tabela 5. Média de sete características avaliadas em trinta e quatro genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) estabelecido pelo teste de Scott Knott, N: Nitrogênio, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, Fe: Ferro, Zn: Zinco, avaliadas em Linhares- ES, Venda Nova do Imigrante, Cachoeiro de Itapemirim (Patocuba), nas safras 2020/1 (das águas) e 2020/2 (da seca)

Genótipos	Linhares Safra das águas e da Seca							Venda Nova do Imigrante Safra das águas e da seca						
	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (mg/gk)	Zn (mg/kg)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (g/gk)	Fe (mg/gk)	Zn (mg/gk)
INC-23	36,8a	3,87b	15a	0,67c	1,78b	41,92d	36,42a	35,54a	5,26b	16,56a	2,28b	1,78c	42,42c	32,08c
INC-44	35,6a	5,19a	15,63a	0,71c	1,82b	49,33c	35,92a	33,34b	5,075c	15,73b	1,61c	1,81b	43,92b	31,75c
INC-60	36,8a	5,06a	15,63a	0,54c	1,77b	45,42c	27,92b	32,57b	5,72a	16,35a	1,27c	1,75c	42,5c	33b
INC-61	40,46a	4,31b	13,65b	0,81c	1,83b	47,92c	40,42a	35,65a	5,44a	14,17c	1,8b	1,7c	43,08c	30,42c
INC-62	35,36a	4,38b	11,67b	0,67c	1,43c	46,17c	31,33b	30,31b	5,23b	14,06c	1,21d	1,69c	41,75c	29,5c
INC-66	36,23a	4,59b	12,19b	0,38c	1,57c	42,75d	27,42b	33,57b	5,01c	13,96c	0,75d	1,47e	40,75d	29,17c
INC-67	35,41a	3,55b	14,38a	0,83c	1,95b	45,67c	30,5b	34,62a	5,51a	15,63b	1d	1,84b	39,83d	33,58b
INC-81	36,75a	4,75a	15,21a	0,65c	1,84b	47,42c	33,67a	29,75b	5,63a	16,15a	1,38c	1,82b	47,33b	36,25b
INC-90	31,21b	4,08b	13,13b	3,51a	2,9a	44,42c	28,75b	32,6b	5,29b	16,25a	1,16d	1,75c	45,83b	33,83b
INC-94	34,25b	4,81a	14,27a	0,65c	1,83b	47c	28b	37,25a	5,55a	16,04a	1,07d	1,75c	45,92b	34,25b
INC-95	34,34b	4b	14,69a	0,41c	1,79b	46c	30b	29,91b	5,58a	15,52b	1,17d	1,75c	47,17b	35,5b
INC-106	34,78b	4,54b	13,75b	0,54c	1,78b	45,58c	36,25a	31,93b	5,16b	15,1b	1,35c	1,72c	42,58c	33b
*INC-Serrano	34,11b	4,12b	14,58a	0,94b	1,9b	49,25c	29b	36,1a	4,95c	15,31b	1,43c	1,78c	44b	30,33c
*INC-Goytacaz	33,02b	3,99b	15,1a	0,96b	1,89b	40,42d	34,08a	31,71b	5,34b	15,63b	1,6c	1,78c	51,5a	43,25a
*INC-Rio Tibagi	36,84a	5,15a	14,48a	1,06b	1,67c	49,58c	29,58b	37,87a	5,41a	15,94a	1,26c	1,97a	44,67b	30,67c
*INC-Rio Doce	36,67a	3,85b	12,4b	1,33b	1,35d	66,83a	32,75a	31,79b	4,71c	14,69c	1,09d	1,68c	43,33c	30,25c
*INC- Capixaba	35,64a	4,46b	13,02b	1,27b	1,78b	45,17c	36,25a	36,9a	5,49a	16,25a	1,31c	1,75c	44,25b	33,17b
UFES-4	36,98a	3,98b	13,54b	0,78c	1,94b	44,75c	30,33b	37,78a	5,14b	14,06c	1,35c	1,78c	51,6a	38,08b
UFES-9	38,96a	4,32b	13,96a	1,28b	2,07b	42,42d	28,83b	33,86b	5,28b	15,31b	2,83a	1,85b	44,83b	29,25c
UFES-11	37,31a	5,05a	14,27a	0,75c	1,88b	47,42c	31,25b	33,29b	5,23b	15b	1,54c	1,81b	47,25b	30,83c
UFES-19	36,12a	4,34b	15,1a	0,59c	1,83b	46,17c	40,5a	35,35a	4,32d	15,81b	0,96d	1,72c	44,35b	35,94b
UFES-118	35,5a	4,03b	12,81b	1,17b	1,91b	46,92c	31,17b	36,24a	5,28b	17,08a	1,16d	1,89b	39,17d	33,5b
UFES-130	34,25b	4,57b	13,65b	0,83c	1,91b	44,08c	29,42b	34,2b	5,28b	15,21b	1,36c	1,79c	45,58b	32,5c
UFES-1	33,19b	4,41b	14,17a	0,65c	1,63c	41,25d	25,83b	37,58a	4,924c	13,75c	1,28c	1,57d	48,17b	28,92c
UFES-81	35,89a	3,75b	13,02b	0,5c	1,69b	49,17c	29,75b	32,91b	4,882c	13,85c	1,09d	1,45e	38,83d	30,75c
UFES-111	34,64b	4,2b	12,79b	0,84c	1,51c	40,4d	24,2b	35,19a	5,108c	14,27c	1,34c	1,59d	43,58c	27,75c
UFES-10	36,48a	4,18b	13,96a	1,19b	1,71b	46,08c	34,17a	40,12a	5,002c	15,48b	1,16d	1,75c	42,38c	35,36b
UFES-133	36,96a	3,5b	12,6b	0,5c	1,17d	37,17d	23,5b	34,93a	4,954c	14,06c	0,93d	1,51e	38,5d	26,42c

UFES-14	36,62a	4,39b	12,6b	0,75c	1,26d	44,67c	28,42b	34,87a	5,254b	14,06c	1,11d	1,47e	39,75d	30,58c
UFES-173	30,68b	4,34b	13,44b	1,11b	1,94b	44,5c	28,83b	35,19a	4,862c	14,17c	1,69c	1,78c	42,83c	29,75c
UFES-174	35,58a	4,7a	14,79a	0,7c	1,94b	43,42d	32,17b	39,24a	5,079c	15,42b	1,06d	1,76c	40,58d	30,25c
UFES-32	37,84a	4,52b	15,21a	0,72c	1,88b	48,75c	28,5b	33,38b	5,164b	15,94a	1,23d	1,75c	40d	30,75c
UFES-8	36,19a	4,86a	12,92b	1,15b	1,48c	56,58b	33,42a	37,92a	4,928c	15,1b	1,14d	1,75c	45,67b	32,5c
UFES-136	35,62a	3,6b	13,33b	0,67c	1,95b	41,5d	35,5a	32,27b	4,79c	14,17c	1,94b	1,82b	39,67d	28,5c

*Cultivares

continuação...

Genótipos	Cachoeiro de Itapemirim (Pacotuba) safra das águas e da seca						
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn
INC-23	36,79a	5,31a	15,94a	1,61b	1,69d	47,83a	37,17a
INC-44	29,44b	5,1a	15,21a	1,59b	1,81b	53a	36b
INC-60	37,44a	5,49a	16,25a	1,46b	1,77b	50,92a	37,25a
INC-61	36,55a	5,22a	14,48a	1,14c	1,63c	54,25a	34,92b
INC-62	31,69b	5,48a	14,58a	1,64b	1,68c	48,5a	34b
INC-66	36,41a	4,54b	13,33b	0,8c	1,5d	41,75b	28,58d
INC-67	35,33a	4,94b	16,46a	1,08c	1,78b	45,92b	30,25d
INC-81	40,19a	5,13a	15,21a	1,02c	1,63c	45,17b	34,33b
INC-90	35,22a	4,85b	15,21a	1,14c	1,71c	44,58b	35,83b
INC-94	31,9b	4,93b	13,02b	1,44b	1,54d	42,75b	32,42c
INC-95	32,48b	5,59a	15a	1,5b	1,66c	53,25a	36,75a
INC-106	32,91b	4,93b	14,58a	1,46b	1,66c	43,58b	29,92d
*INC-Serrano	40,23a	5,1a	16,15a	1,6b	1,76b	52a	32,25c
*INC-Goytacaz	28,83b	4,97b	15,1a	2,23a	1,75b	43,83b	33,92b
*INC-Rio Tibagi	29,58b	5,29a	15,52a	1,86b	1,92a	51,75a	33,25b
*INC-Rio Doce	39,84a	5,39a	14,27a	1,33c	1,75b	47,58a	34,5b
*INC- Capixaba	38,65a	4,89b	14,58a	1,19c	1,66c	51,92a	31,92c
UFES-4	40,54a	5,47a	13,65b	1,47b	1,69c	54,25a	36,08b
UFES-9	32,21b	5,41a	15,73a	2,46a	1,86a	50,92a	34,5b
UFES-11	37,77a	5,42a	15,63a	2,03b	1,81b	53,75a	40a
UFES-19	42,22a	4,59b	15,18a	0,77c	1,68c	47,6a	37,19a
UFES-118	35,95a	4,71b	15,42b	1,44b	1,79b	51,25a	34b

UFES-130	29,75b	5,57a	16,15a	1,78b	1,82b	50,33a	37,5a
UFES-1	31,06b	5,19a	13,13b	1,34c	1,39e	40,5b	29,67d
UFES-81	30,29b	4,58b	12,81b	1,46b	1,42e	42,33b	32,5c
UFES-111	32,26b	4,26b	12,81b	1,56b	1,48d	41,92b	28,75d
UFES-10	36,14a	4,58	14,69a	1,75b	1,79b	48,33a	37,63a
UFES-133	34,55b	4,84b	12,81b	1,26c	1,41e	41,75b	26,92d
UFES-14	31,28b	5,46a	12,71b	1,57b	1,36e	46,42b	30,33d
UFES-173	38,33a	4,95b	15a	1,22c	1,88a	50a	34,75b
UFES-174	33,11b	4,65b	15,73a	1,07c	1,74b	49,5a	31,92c
UFES-32	38,29a	5,02b	15a	1,64b	1,75b	49,42a	35,25b
UFES-8	34,58b	5,47a	15a	1,67b	1,75b	54,33a	38,83a
UFES-136	30,85b	4,66b	15,63a	1,44b	1,79b	47,17b	33,58b

*Cultivares

Tabela 6. Maior e menor teor de N: Nitrogênio, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, Fe: Ferro, Zn: Zinco com base nas médias de sete características avaliadas em trinta e quatro genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) estabelecido pelo teste de Scott Knott, avaliadas em Linhares- ES, Venda Nova do Imigrante, Cachoeiro de Itapemirim (Patocuba), nas safras 2020/1 (das águas) e 2020/2 (da seca)

Locais	N (g/kg)		P (g/kg)		K (g/kg)	
	Genótipo/Maior teor	Genótipo/Menor Teor	Genótipo/Maior teor	Genótipo/Menor Teor	Genótipo/Maior teor	Genótipo/Menor teor
Linhares	INC-61 40,46	INC-90 31,21	INC-44 5,19	UFES-133 3,5	INC-44 e INC-60 15,63	INC-62 11,67
Venda Nova	UFES-10 40,12	INC-81 29,75	INC-60 5,72	UFES-19 4,32	UFES-18 17,08	UFES-1 13,75
Cachoeiro	UFES-19 42,22	*Goytacazes 28,83	INC-95 5,59	UFES-111 4,26	INC-67 16,46	UFES-14 12,71

continuação...

Locais	Ca (g/kg)		Mg (g/kg)		Fe (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
	Genótipo Maior teor	Genótipo Menor teor	Genótipo Maior teor	Genótipo Menor teor	Genótipo Maior teor	Genótipo Menor teor	Genótipo Maior teor	Genótipo Menor teor
Linhares	INC-90 3,51	INC-66 0,38	INC-90 2,9	UFES-133 1,17	*Rio Doce 66,83	UFES-133 37,17	UFES-19 40,5	UFES-133 23,5
Venda Nova	UFES-9 2,83	INC-66 0,75	*Rio Tibagi 1,97	UFES-81 1,45	UFES-4 51,6	UFES-133 38,5	Goytacazes 43,25	UFES-133 26,42
Cachoeiro	UFES-9 2,46	UFES-19 0,77	*Rio Tibagi 1,92	UFES-14 1,36	UFES-8 54,33	UFES-1 40,5	UFES-11 40	UFES-133 26,92

*Comercial

3.2 Método de Annicchiarico

Os resultados da análise do índice ambiental pelo método Annicchiarico são apresentados na tabela 8. Os ambientes são classificados em favoráveis ou desfavoráveis, por meio do índice que cada um obteve através do cálculo da média geral do teor de nutriente dos ambientes, menos a média de cada um dos ambientes. Os ambientes com valores superiores são considerados favoráveis e valores inferiores, ambientes desfavoráveis.

A variável N mostrou três, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 2, Linhares 2020/2; ambiente 4, Venda Nova do Imigrante 2020/2 e ambiente 5, Cachoeiro 2020/1. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de N: ambiente 6, Cachoeiro 2020/2; ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 3, Venda Nova 2020/1. A variável P mostrou dois, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 2, Linhares 2020/2. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de P: ambiente 5, Cachoeiro 2020/1; ambiente 4, Venda Nova 2020/2; ambiente 3, Venda Nova 2020/1; ambiente 6, Cachoeiro de Itapemirim 2020/2. A variável K mostrou dois, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 6, Cachoeiro 2020/2. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de K: ambiente 5, Cachoeiro 2020/1; ambiente 3, Venda Nova 2020/1; ambiente 4, Venda Nova 2020/2; ambiente 2, Linhares 2020/2. A variável Ca mostrou quatro, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 2, Linhares 2020/2; ambiente 3, Venda Nova 2020/1 e ambiente 6, Cachoeiro 2020/2. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de Ca: ambiente 5, Cachoeiro 2020/1; ambiente 4, Venda Nova 2020/2. A variável Mg mostrou quatro, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 2, Linhares 2020/2; ambiente 3, Venda Nova do Imigrante 2020/1; ambiente 5, Cachoeiro 2020/1 e ambiente 6, Cachoeiro 2020/2. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de Mg: ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 4, Venda Nova 2020/2. A variável Fe mostrou quatro, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 3, Venda Nova do Imigrante 2020/1; ambiente 4, Venda Nova do Imigrante 2020/2 e ambiente 6, Cachoeiro 2020/2. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de Fe: ambiente 5, Cachoeiro 2020/1; ambiente 2, Linhares 2020/2. A variável Zn

mostrou três, dos seis ambientes, como sendo desfavoráveis, são eles: ambiente 1, Linhares 2020/1; ambiente 4, Venda Nova do Imigrante 2020/2 e ambiente 5, Cachoeiro 2020/1. Os ambientes favoráveis seguiram o seguinte ranking de acordo com média do teor de Zn: ambiente 6, Cachoeiro 2020/2; ambiente 3, Venda Nova 2020/1 e ambiente 2, Linhares 2020/2.

O método de Annicchiarico (1992) avalia o desempenho do genótipo e sua estabilidade em que os maiores valores do índice de recomendação (W_i) irão expressar maior estabilidade e adaptabilidade genotípica, simultaneamente, visto que esse parâmetro é obtido por meio da média percentual e menor desvio dos genótipos frente aos ambientes analisados (Tabela 9) (Cruz et al., 2012). Segundo Carvalho et al. (2012), com o método de Annicchiarico (1992) pode-se estimar o risco (em probabilidade) em adotar determinado genótipo, portanto, este deve apresentar, no mínimo, índice de confiança igual a 100, o que corresponde a uma resposta igual à média.

Com relação a variável N, o método de Annicchiarico (1992) identificou para a variedade INC-23 índice de confiança (W) acima de 100% para ambiente geral, favoráveis e desfavoráveis (Tabela 9). Isso foi observado também com as variedades Rio Tibagi e UFES-11 para variável P, as variedades INC-60, INC-67, Goytacazes, UFES-19, UFES-174 e UFES-32 para variável K, as variedades Goytacazes e UFES-9 para a variável Ca, as variedades INC-67, Goytacazes, UFES-9, UFES-11, UFES-118, UFES-130, UFES-173, UFES-174 E UFES-136 para variável Mg, as variedades INC-44, UFES-4 e UFES-8 para variável Fe e a variedade UFES-10 para a variável Zn.

Quanto maior o índice apresentado pela análise geral com todos os ambientes (W_iG), maior estabilidade de uma determinada variedade em todos os ambientes testados. Em contrapartida, a variedade com menor índice para determinada variável é considerada a mais instável dentre as variedades. Sendo assim, para a variável N, a análise geral com todos os ambientes (W_iG) mostra a variedade INC-61 na liderança com maior índice, indicando maior estabilidade para todos os ambientes. Em seguida, estão as variedades INC-23, UFES-10 com os maiores índices de estabilidade. A variedade Goytacazes apresentou o menor índice, sendo considerada a mais instável dentre as variedades, seguida da variedade UFES-30. Para a variável P, a variedade Rio Tibagi apresentou maior índice e a variedade UFES-133 o menor índice. Para a variável K, a variedade INC-60 mostrou maior índice e a variedade INC-66 apresentou o menor índice. Para a variável Ca, a variedade UFES-9 obteve maior índice e a variedade INC-90 apresentou o menor índice. Para a variável Mg, a variedade UFES-136 obteve maior índice e a variedade

UFES-133 apresentou o menor índice. Para a variável Fe, a variedade UFES-8 obteve maior índice e a variedade UFES-133 apresentou o menor índice. A mesma situação do mineral Fe foi observada para Zn, que mostrou a variedade UFES-8 com maior índice e a UFES-133 com o menor índice, condição interessante quando se pretende obter variedades superiores para ambas as variáveis.

Nos ambientes favoráveis os genótipos que se destacaram para N foram INC-23, INC-61, Capixaba Precoce, UFES-11, UFES-10 e UFES-32, com variedade UFES-10 superando a média dos ambientes favoráveis para teor de N. Para P foram INC-60, INC-95, Rio Tibagi, UFES-9, UFES-11 e UFES-14, com variedade INC-95 superando a média dos ambientes favoráveis para teor de P. Para K, destacaram os genótipos INC-23, INC-44, INC-60, INC-67, INC-90, Serrano, Goytacazes, UFES-19, UFES-118, UFES-174 e UFES-32, com variedade INC-23 superando a média dos ambientes favoráveis para teor de K. Para Ca, destacaram-se as variedades INC-23, INC-44, INC-106, Goytacazes, UFES-9, UFES-11 e UFES-136, com variedade UFES-9 superando a média dos ambientes favoráveis para teor de Ca. Para Mg, destacaram-se as variedades INC-67, INC-81, INC-90, INC-94, Goytacazes, Rio Tibagi, UFES-4, UFES-9, UFES-11, UFES-118, UFES-130, UFES-173, UFES-174 e UFES-136, com variedade Rio Tibagi superando a média dos ambientes favoráveis para teor de Mg. Para Fe, destacaram-se as variedades INC-44, INC-94, INC-95, Rio Tibagi, Capixaba Precoce, UFES-4 e UFES-8, com variedade UFES-8 superando a média dos ambientes favoráveis para teor de Fe. Nos ambientes favoráveis, os genótipos que se destacaram para Zn foram INC-62, Goytacazes, Rio Doce, UFES-4, UFES-19, UFES-10 e UFES-8, com variedade UFES-8 superando a média dos ambientes favoráveis para teor de Zn.

Ao analisar apenas os ambientes desfavoráveis, a variedade que apresentou maior índice de estabilidade para N foi Capixaba Precoce. Para P, Rio Tibagi. Para K, UFES-11. Para Ca, UFES-9. Para Mg, UFES-18. Para Fe, UFES-8. Para Zn, INC-81. Variedades que apresentaram maior estabilidade para os ambientes desfavoráveis, pode indicar melhor comportamento e maior estabilidade também a fatores ambientais adversos como oscilação do volume de chuva, possíveis estresses bióticos e condições inferiores de nutrição e estrutura de solo. Uma vantagem dessa metodologia é discriminar bem as variedades em condições específicas de baixo nível tecnológico facilitando a recomendação de cultivares reduzindo assim o efeito da interação genótipos x ambientes (RONO et al., 2016). Entretanto, também é possível observar uma redução do índice de estabilidade de algumas variedades, como UFES-8 para variável Zn, que apresentou

melhor desempenho para ambientes favoráveis, decaindo quando analisada para todos os ambientes e diminuindo ainda mais quando comparada no ambiente desfavorável.

Foi possível observar que houve oscilação nos índices de estabilidade das variedades quando avaliadas em cada uma das três situações (WiG, WiF e WiD). A variedade UFES-9 foi destaque com os melhores índices em todos os ambientes (geral, favorável e desfavorável), sendo considerada a de maior estabilidade para todos os ambientes em relação a variável Ca. A variedade UFES-8, foi destaque com os melhores índices em todos os ambientes (geral, favorável e desfavorável), sendo considerada a de maior estabilidade para todos os ambientes em relação à variável Fe.

Tabela 8 - Classificação dos seis ambientes de cultivo das trinta e quatro variedades crioulas e comerciais de feijoeiros cultivadas no Espírito Santo e média dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn nos grãos para cada ambiente pelo método Annicchiarico (1992)

Ambiente (local/ano/safra)	N			P			K		
	Média (kg/ha)	Índice	Classe	Média (kg/ha)	Índice	Classe	Média (kg/ha)	Índice	Classe
Linhares 2020/1	37,40	2.39	Favorável	4,29	0,056	Desfavorável	13,08	-1,51	Desfavorável
Linhares 2020/2	33,94	-1,06	Desfavorável	4,37	-0,47	Desfavorável	14,61	0,02	Favorável
VNI 2020/1	35,51	0,50	Favorável	5,14	0,29	Favorável	15,39	0,79	Favorável
VNI 2020/2	33,64	-1,36	Desfavorável	5,19	0,34	Favorável	14,96	0,36	Favorável
Cachoeiro 2020/1	30,25	-4,76	Desfavorável	5,22	0,36	Favorável	15,50	0,90	Favorável
Cachoeiro 2020/2	39,31	4,30	Favorável	4,89	0,03	Favorável	14,02	-0,57	Desfavorável

Continuação....

Ambiente (local/ano/safra)	Ca			Mg			Fe		
	Média (kg/ha)	Índice	Classe	Média (kg/ha)	Índice	Classe	Média (kg/ha)	Índice	Classe
Linhares 2020/1	0,92	-0,31	Desfavorável	1,88	0,15	Favorável	44,78	-1,17	Desfavorável
Linhares 2020/2	0,84	-0,38	Desfavorável	1,67	-0,05	Desfavorável	47,33	1,37	Favorável
VNI 2020/1	1,16	-0,06	Desfavorável	1,68	-0,04	Desfavorável	43,58	-2,37	Desfavorável
VNI 2020/2	1,53	0,29	Favorável	1,77	0,04	Favorável	43,68	-2,27	Desfavorável
Cachoeiro 2020/1	1,74	0,50	Favorável	1,70	-0,03	Desfavorável	51,50	5,54	Favorável
Cachoeiro 2020/2	1,19	-0,03	Desfavorável	1,66	-0,06	Desfavorável	44,86	-1,09	Desfavorável

Continuação....

Ambiente (local/ano/safra)	Zn		
	Média (kg/ha)	Índice	Classe
Linhares 2020/1	28,96	-3,46	Desfavorável
Linhares 2020/2	33,62	1,19	Favorável
VNI 2020/1	35,69	3,25	Favorável
VNI 2020/2	28,52	-3,91	Desfavorável

Cachoeiro 2020/1	32.03	-0.39	Desfavorável
Cachoeiro 2020/2	35.76	3.33	Favorável

Tabela 9. Estimativa dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade pelo método Annicchiarico (1992) para características de qualidade nutricional (N: Nitrogênio, P: Fósforo, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, Fe: Ferro, Zn: Zinco) por planta proveniente da avaliação de trinta e quatro genótipos de feijão comum no Espírito Santo

Genótipos	N			P			K		
	WiG ¹	WiF ²	WiD ³	WiG ¹	WiF ²	WiD ³	WiG ¹	WiF ²	WiD ³
INC-23	101,58	103,70	101,12	89,32	92,98	88,90	104,20	107,52	98,30
INC-44	87,93	91,46	84,18	96,23	92,25	109,40	100,93	102,81	98,19
INC-60	92,89	97,84	88,59	100,96	104,87	94,36	104,47	104,71	102,98
INC-61	101,79	103,13	99,39	96,58	98,46	91,16	93,06	93,07	92,24
INC-62	86,19	89,79	83,33	93,06	93,48	88,71	86,73	86,76	86,44
INC-66	96,95	96,42	97,52	87,29	89,30	86,12	83,10	84,96	77,03
INC-67	96,24	95,54	96,48	85,76	96,29	71,51	102,93	102,16	105,32
INC-81	87,56	75,87	99,69	101,66	99,75	104,63	101,20	98,61	106,84
INC-90	89,02	92,07	86,05	91,51	92,87	87,49	97,04	101,68	90,97
INC-94	91,04	97,10	87,68	98,71	95,84	104,45	92,23	93,24	88,03
INC-95	84,17	81,02	86,57	96,18	106,09	84,13	100,62	99,03	105,15
INC-106	90,79	94,98	87,23	93,08	92,00	93,36	96,46	95,49	98,19
INC-Serrano	97,68	90,39	106,87	94,41	95,52	91,88	100,64	101,35	97,50
INC-Goytacaz	82,49	88,43	79,68	94,27	98,59	89,91	101,52	101,47	104,22
INC-Rio Tibagi	90,78	91,45	88,32	103,02	102,43	110,92	95,18	92,23	101,64
INC-Rio Doce	93,07	82,58	108,74	87,91	90,48	84,48	90,32	88,57	94,05
INC- Capixaba	99,36	103,65	196,14	98,76	97,39	102,66	93,18	90,97	95,88
UFES-4	97,46	95,21	104,48	94,06	99,07	88,11	91,47	93,09	87,85
UFES-9	93,97	94,96	91,88	95,70	101,24	85,15	97,92	98,10	100,71
UFES-11	97,14	104,93	91,68	102,00	101,66	107,26	99,38	97,60	106,98
UFES-19	99,98	96,31	102,49	84,98	82,61	93,07	102,30	101,13	105,15
UFES-118	99,62	98,86	99,65	89,33	90,91	84,00	94,95	104,50	81,70
UFES-130	84,04	94,42	75,98	96,24	96,97	90,90	98,40	99,19	95,78

UFES-1	89,00	92,15	87,19	94,89	95,96	92,18	89,20	89,29	88,03
UFES-81	87,20	85,62	87,87	85,13	86,08	85,05	83,31	91,97	71,70
UFES-111	94,23	92,94	94,97	87,19	84,90	90,72	86,96	87,47	84,88
UFES-10	100,56	105,40	96,28	86,30	85,98	83,64	98,49	98,09	98,82
UFES-133	96,92	97,15	95,90	82,89	90,23	72,06	85,56	88,55	81,83
UFES-14	91,96	91,47	91,84	100,64	101,49	99,32	85,74	90,84	78,96
UFES-173	91,18	91,26	89,69	93,00	91,77	94,58	93,34	94,43	90,94
UFES-174	95,90	97,56	94,79	90,95	85,96	104,58	101,82	100,17	106,80
UFES-32	96,43	100,82	93,14	96,84	97,68	96,08	102,19	101,42	102,69
UFES-8	94,02	93,18	93,21	99,49	96,24	109,71	95,10	95,73	94,05
UFES-136	86,32	90,45	81,67	84,27	89,02	77,14	93,62	93,45	97,50

¹WiG- Estatística de Annicchiarico para calssificação geral; ²WiF- Estatística de Annicchiarico para ambientes favoráveis; ³WiF- Estatística de Annicchiarico para ambientes desfavoráveis.

Continuação...

Genótipos	Ca			Mg			Fe			Zn		
	WiG ¹	WiF ²	WiD ³	WiG ¹	WiF ²	WiD ³	WiG ¹	WiF ²	WiD ³	WiG ¹	WiF ²	WiD ³
INC-23	81,70	102,94	77,23	98,48	96,35	99,09	91,01	88,49	98,03	96,01	90,20	101,18
INC-44	80,40	132,82	75,12	101,55	97,51	103,17	101,88	100,51	105,22	98,51	98,85	102,99
INC-60	60,94	89,96	49,33	97,64	90,79	104,19	96,16	93,66	103,88	94,13	94,99	92,00
INC-61	81,22	63,00	92,44	94,99	98,46	93,24	98,41	97,29	102,01	93,92	94,96	98,35
INC-62	74,24	90,23	66,09	80,73	95,19	75,31	96,77	95,73	99,10	92,42	100,71	88,81
INC-66	40,55	52,99	36,46	81,86	80,83	82,43	85,59	82,55	95,16	82,24	76,99	89,42
INC-67	70,57	69,29	75,31	102,79	103,91	103,02	92,57	91,62	93,95	89,62	90,93	86,88
INC-81	67,43	73,21	64,96	98,57	106,09	96,87	95,71	99,83	87,76	101,51	97,79	106,97
INC-90	28,34	69,51	51,52	93,91	104,38	99,27	90,95	89,81	93,79	95,02	98,05	91,52
INC-94	69,91	78,77	68,93	92,55	101,83	89,30	90,92	101,14	80,81	90,87	94,71	87,88
INC-95	50,54	72,03	40,27	97,73	96,27	98,09	100,50	104,21	97,28	97,29	99,82	93,82
INC-106	66,46	104,07	54,49	97,27	95,19	98,42	91,34	90,97	93,68	88,90	85,96	97,70
INC-Serrano	94,55	94,51	98,59	100,31	98,43	102,28	97,74	93,84	107,01	89,53	98,33	85,49
INC-Goytacaz	110,09	102,89	110,43	102,20	102,15	102,81	86,64	90,13	82,02	96,53	100,73	101,44

INC-Rio Tibagi	95,94	94,38	95,27	97,02	107,25	93,29	101,02	102,11	97,79	92,62	97,63	89,90
INC-Rio Doce	80,92	79,05	90,46	81,63	87,52	78,73	91,36	97,30	102,17	94,26	100,74	89,56
INC- Capixaba	75,41	72,13	83,92	98,36	98,63	98,42	94,88	101,16	89,89	95,77	92,47	100,98
UFES-4	82,11	78,89	81,80	100,00	101,46	99,96	<i>102,29</i>	<i>102,15</i>	<i>100,68</i>	100,28	105,47	94,95
UFES-9	128,48	181,50	115,25	<i>102,51</i>	<i>100,93</i>	<i>102,28</i>	92,93	88,90	104,01	90,09	92,15	88,90
UFES-11	94,75	103,86	88,79	<i>103,77</i>	<i>102,15</i>	<i>106,19</i>	101,70	99,88	104,21	94,52	98,15	90,32
UFES-19	44,02	44,67	49,72	96,86	95,10	98,72	93,75	94,33	89,88	100,91	104,42	95,27
UFES-118	87,28	81,84	93,13	<i>103,91</i>	<i>102,77</i>	106,23	91,22	92,52	89,32	95,86	94,96	95,84
UFES-130	93,85	88,72	96,66	<i>103,69</i>	<i>102,15</i>	<i>106,11</i>	95,04	98,34	87,58	94,48	99,30	91,24
UFES-1	78,07	82,83	74,92	81,36	79,94	80,82	85,65	86,72	88,06	82,48	83,17	82,00
UFES-81	61,64	78,95	56,33	83,51	84,71	82,36	85,98	87,53	82,82	89,02	90,51	86,41
UFES-111	79,03	85,74	80,23	84,92	79,91	87,82	84,07	81,45	88,87	79,26	76,98	81,31
UFES-10	88,69	89,59	89,85	95,49	86,47	102,82	95,72	95,19	98,06	<i>102,30</i>	<i>102,14</i>	<i>100,64</i>
UFES-133	45,69	72,79	33,83	69,44	77,59	65,44	80,10	78,41	82,66	74,30	80,19	72,96
UFES-14	78,53	70,11	80,32	69,85	84,56	64,91	88,28	85,05	95,90	88,75	91,23	86,52
UFES-173	95,76	80,16	101,11	<i>104,27</i>	<i>101,15</i>	<i>105,60</i>	95,78	93,68	101,95	91,55	93,12	90,65
UFES-174	62,18	69,86	57,14	<i>100,81</i>	<i>102,15</i>	<i>101,03</i>	91,46	89,95	100,89	92,50	98,88	87,86
UFES-32	83,10	87,50	79,50	99,46	95,19	103,78	92,46	93,76	93,04	90,29	91,53	87,91
UFES-8	87,10	92,02	81,73	83,29	96,44	77,91	104,80	104,32	108,19	102,72	108,42	98,56
UFES-136	78,73	108,84	68,60	104,87	<i>102,33</i>	<i>105,88</i>	89,97	89,67	91,07	90,28	91,55	91,72

3.3. Método proposto Lin & Binns

As estimativas de adaptabilidade e estabilidade pelo método proposto por Lin & Binns (1988) o qual utiliza o parâmetro P_i , revelou que nenhuma variedade apresentou menor valor de P_i geral (P_iG), ambiente favoráveis (P_iF) e desfavoráveis (P_iD) para todas as variáveis minerais avaliadas (Tabela 10), mostrando que os genótipos apresentaram flutuações em seus teores de minerais com a variação dos ambientes, ou seja, baixa estabilidade.

Com relação às variáveis N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn, os genótipos UFES-19, Rio Tibagi, INC-60, INC-90, INC-90, Rio Doce e Goytacazes, respectivamente, foram os que apresentaram menores valores de P_iG , sendo, portanto, os mais indicados para uma condição ampla de ambientes, tantos aqueles classificados como favoráveis quanto desfavoráveis (Tabela 10).

Para os ambientes favoráveis, temos as variedades UFES-10, INC-95, INC-23, UFES-9, INC-90, Rio Doce e Goytacazes com os menores índices P_i para as variáveis N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn, respectivamente, apresentando-se como os mais estáveis para as respectivamente características (Tabela 10).

Tomando apenas os ambientes desfavoráveis em consideração, os genótipos UFES-4, Rio Tibagi, INC-60, INC-90, UFES-9, UFES-8 e UFES-9 apresentaram menor P_i para as variáveis N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn, respectivamente, mostrando que devem ser indicados para ambientes específicos, visto que apresentam maiores adaptabilidade e estabilidade fenotípica em condições desfavoráveis.

Tabela 10. Estimativa dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade pelo método, Lin & Binns (1988) para características nutricionais de grãos por plantas provenientes da avaliação de 35 genótipos de feijão comum no Espírito Santo

Genótipos	N			P			K			Ca		
	PiG ¹	PiF ²	PiD ³	PiG ¹	PiF ²	PiD ³	PiG ¹	PiF ²	PiD ³	PiG ¹	PiF ²	PiD ³
INC-23	30,05	13,06	47,05	1,12	0,67	2,01	1,57	0,66	3,40	2,82	0,71	3,87
INC-44	69,33	43,86	94,81	0,64	0,73	0,46	2,17	1,12	4,28	2,95	1,27	3,80
INC-60	35,06	26,30	43,81	0,41	0,28	0,66	1,15	1,13	1,18	3,81	2,47	4,48
INC-61	25,00	14,93	35,08	0,73	0,48	1,24	5,41	4,58	7,05	3,01	1,98	3,52
INC-62	71,12	52,49	89,75	0,85	0,58	1,40	8,46	8,38	8,60	3,50	2,34	4,08
INC-66	33,35	30,68	36,02	1,23	1,13	1,42	10,07	8,65	12,90	4,48	4,11	4,67
INC-67	36,98	32,56	41,40	1,41	0,66	2,91	2,09	1,90	2,48	3,40	3,41	3,40
INC-81	47,96	73,86	22,07	0,56	0,48	0,72	2,40	2,49	2,22	3,53	2,99	3,80
INC-90	57,60	34,90	80,31	1,08	0,81	1,62	3,94	2,00	7,81	1,22	3,25	0,20
INC-94	53,09	24,14	82,04	0,63	0,66	0,57	5,18	4,37	6,78	3,44	3,05	3,63
INC-95	73,86	63,47	84,24	0,80	0,24	1,90	2,75	2,64	2,97	3,91	2,64	4,55
INC-106	58,32	36,92	79,71	0,87	0,83	0,94	4,18	4,13	4,28	3,59	2,10	4,33
INC-Serrano	26,10	31,67	20,53	0,99	0,72	1,53	2,60	1,68	4,44	2,82	2,41	3,03
INC-Goytacazes	85,94	51,81	120,06	1,01	0,63	1,77	2,16	2,36	1,76	2,85	1,86	3,35
INC-Rio Tibagi	56,79	40,47	73,11	0,37	0,42	0,27	3,47	4,54	1,31	3,01	2,19	3,43
INC-Rio Doce	35,06	53,88	16,25	1,18	0,75	2,03	6,78	6,62	7,09	2,64	2,89	2,52
INC- Capixaba	21,52	15,38	27,65	0,77	0,65	1,01	5,03	5,01	5,06	2,54	2,92	2,35
UFES-4	18,81	31,69	5,92	0,87	0,42	1,78	6,49	5,40	8,68	3,39	2,68	3,74
UFES-9	47,92	32,79	63,05	0,79	0,41	1,57	3,44	3,40	3,52	2,14	0,00	3,21
UFES-11	32,53	10,70	54,37	0,38	0,39	0,36	2,94	3,23	2,37	2,92	1,92	3,41
UFES-19	18,44	19,56	17,31	1,47	1,56	1,30	2,19	1,80	2,97	4,37	4,36	4,38
UFES-118	30,84	22,50	39,19	1,18	0,91	1,71	4,43	1,22	10,85	2,76	2,74	2,77
UFES-130	76,41	30,42	122,39	0,65	0,49	0,95	3,41	2,38	5,48	3,09	2,46	3,41
UFES-1	59,22	33,39	85,06	0,81	0,66	1,09	6,83	6,85	6,78	3,36	2,57	3,75
UFES-81	67,11	60,28	73,94	1,58	1,24	2,25	9,33	5,39	17,21	3,77	2,98	4,16
UFES-111	50,87	39,98	61,75	1,42	1,38	1,50	8,62	7,67	10,50	3,51	2,69	3,91
UFES-10	30,28	7,05	53,51	1,36	1,18	1,73	3,70	3,05	5,00	2,51	2,40	2,56

UFES-133	40,79	25,30	56,29	1,64	0,97	2,98	9,28	7,13	13,59	4,06	2,83	4,68
UFES-14	54,47	42,66	66,28	0,62	0,36	1,14	9,24	6,80	14,12	3,51	2,91	3,80
UFES-173	40,86	33,11	48,61	1,02	0,90	1,27	5,37	4,01	8,08	2,72	1,94	3,11
UFES-174	40,68	27,01	54,36	1,01	1,14	0,75	2,25	2,22	2,30	3,62	3,04	3,90
UFES-32	37,19	11,82	62,56	0,76	0,67	0,93	2,00	1,81	2,40	3,15	2,44	3,50
UFES-8	45,43	26,35	64,51	0,52	0,52	0,51	4,93	3,86	7,09	2,70	2,15	2,98
UFES-136	69,48	44,29	94,67	1,67	1,16	2,69	4,99	5,27	4,44	3,06	1,14	4,02

¹PiG- Estatística Pi para classificação geral; ²PiF- Estatística Pi para ambientes favoráveis; ³PiD- Estatística Pi para ambientes desfavoráveis

Continuação...

Genótipos	Mg			Fe			Zn		
	PiG ¹	PiF ²	PiD ³	PiG ¹	PiF ²	PiD ³	PiG ¹	PiF ²	PiD ³
INC-23	0,37	0,99	0,06	226,22	410,74	133,95	58,32	84,57	32,07
INC-44	0,35	0,96	0,04	147,35	320,85	60,60	68,35	107,55	29,14
INC-60	0,39	1,11	0,04	186,17	355,69	101,41	98,67	172,28	25,06
INC-61	0,37	0,95	0,07	161,86	345,07	70,26	70,08	105,84	34,31
INC-62	0,47	0,96	0,23	189,17	379,69	93,91	117,88	213,73	22,04
INC-66	0,55	1,36	0,15	262,52	449,44	169,06	147,52	215,39	79,64
INC-67	0,30	0,85	0,03	218,53	430,17	112,70	108,95	179,01	38,89
INC-81	0,32	0,81	0,07	173,43	400,11	60,08	67,06	115,15	18,97
INC-90	0,03	0,02	0,03	228,65	461,68	112,13	97,65	172,01	23,29
INC-94	0,36	0,88	0,09	222,95	560,90	53,98	111,22	199,28	23,16
INC-95	0,37	1,00	0,06	170,76	422,85	44,72	75,95	131,53	20,37
INC-106	0,36	0,96	0,07	228,43	475,53	104,87	70,11	82,97	57,24
INC-Serrano	0,34	0,96	0,03	146,54	246,67	96,47	131,70	236,07	27,34
INC-Goytacazes	0,32	0,88	0,04	260,41	597,13	92,05	36,52	48,81	24,23
INC-Rio Tibagi	0,34	0,79	0,11	164,75	406,25	44,00	115,98	202,89	29,06
INC-Rio Doce	0,53	1,18	0,20	60,66	21,78	80,10	111,30	201,09	21,50
INC- Capixaba	0,36	0,95	0,07	205,78	515,76	50,80	67,18	96,14	38,22
UFES-4	0,32	0,88	0,03	163,48	374,78	57,82	72,22	136,69	7,75
UFES-9	0,31	0,90	0,02	198,72	347,31	124,42	122,27	213,17	31,37

UFES-11	0,31	0,88	0,03	151,49	342,25	56,10	101,94	179,03	24,84
UFES-19	0,37	1,03	0,05	177,93	339,30	97,25	55,60	105,63	5,58
UFES-118	0,31	0,88	0,02	218,45	508,17	73,58	86,96	140,64	33,27
UFES-130	0,31	0,88	0,03	218,33	507,81	73,59	98,42	178,82	18,03
UFES-1	0,55	1,35	0,15	264,57	551,31	121,20	151,40	231,87	70,93
UFES-81	0,48	1,13	0,16	234,84	502,40	101,06	124,14	207,23	41,05
UFES-111	0,55	1,35	0,15	277,42	516,85	157,70	174,85	269,92	79,77
UFES-10	0,43	1,20	0,04	199,96	417,63	91,13	74,25	135,39	13,11
UFES-133	0,70	1,43	0,34	340,46	595,24	213,08	209,29	348,86	69,72
UFES-14	0,65	1,26	0,35	226,73	436,35	121,92	125,78	203,68	47,88
UFES-173	0,28	0,77	0,03	190,80	369,63	101,39	116,39	191,29	41,49
UFES-174	0,31	0,88	0,03	215,28	376,81	134,51	108,02	187,88	28,16
UFES-32	0,34	0,96	0,03	202,95	476,62	66,12	114,06	188,80	39,32
UFES-8	0,43	0,88	0,21	117,13	309,03	21,18	80,11	150,32	9,90
UFES-136	0,27	0,75	0,03	253,38	486,85	136,65	93,39	144,01	42,77

¹PiG- Estatística Pi para classificação geral; ²PiF- Estatística Pi para ambientes favoráveis; ³PiD- Estatística Pi para ambientes desfavoráveis

3.4. Método Ebehart & Russell

As variedades de feijoeiro foram analisadas quanto as suas estimativas de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Ebehart & Russell (1966) (Tabela 11). O método tem sido largamente utilizado em análises de adaptabilidade e estabilidade de feijão em diferentes regiões do país (MACHADO, 2020; ARAÚJO et al., 2003; PEREIRA et al., 2009). Esse método classifica os genótipos com ampla adaptabilidade geral aqueles com coeficiente de regressão igual a 1,0 ($\beta_1 = 1$), ou seja, aquela variedade que consegue se adaptar em ambientes com variações mantendo um desempenho acima da média. Variedades com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis aquelas com coeficiente de regressão superior a 1,0 ($\beta_1 > 1$), ou seja, aquelas variedades que apresentam bom desempenho desde que o ambiente no qual se encontra apresente condições favoráveis. Já variedades que apresentam coeficientes de regressão inferior a 1,0 ($\beta_1 < 1$) são classificadas com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (CRUZ et al., 2012).

Apresentaram ampla adaptabilidade ($\beta_1 = 1$), para variável N, as variedades Rio Tibagi e UFES-9. Para P, INC-61 e Capixaba Precoce (Tabela 11). Para K, INC-61, INC-62, INC-66, INC-67, Serrano, Rio Doce, Capixaba Precoce, UFES-4 e UFES-10. Para Ca, Rio Tibagi, UFES-4, UFES-130, UFES-1, UFES-81, UFES-14 e UFES-174. Para Mg, INC-61, Capixaba Precoce e UFES-173. Para Fe, INC-61, INC-67 e UFES-10. Para Zn, UFES-11 e UFES-111. A variedade INC-61 foi a que apresentou adaptabilidade ampla para maior parte das variáveis analisadas: P, K, Mg e Fe.

Das variedades avaliadas (Tabela 11), observa-se que a INC-23 é indicada para ambientes favoráveis ($\beta_1 > 1$) quando analisados com base em seis, de sete variáveis em estudo: N, P, K, Ca, Fe e Zn. A variedade UFES-133 também é indicada para ambientes favoráveis quando analisados com base em seis, de sete variáveis em estudo: N, P, K, Ca, Mg e Fe. Esses genótipos tiveram melhor capacidade de responderem vantajosamente aos estímulos do ambiente nas seis safras avaliadas para um maior número de variáveis. A adaptação de genótipos a ambientes específicos pode fazer a diferença entre uma cultivar boa e uma excelente (CARDOSO et al., 2012). Variedades que apresentam melhor desempenho em ambientes favoráveis são mais responsivas quando se melhora as condições edafoclimáticas e emprega-se alta tecnologia na produção de feijoeiro, facilitando a sua indicação, uma vez que genótipos que apresentam melhores padrões em

ambientes específicos são mais fáceis de serem recomendados ao cultivo (SILVEIRA et al., 2012).

Para cada variável N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn destacaram-se, respectivamente as variedades UFES-32, INC-95, UFES-118, UFES-9, INC-90, Rio Doce e INC-106, as quais apresentaram elevado valor de estabilidade a ambientes favoráveis ($\beta_1 > 1$) comparado aos demais, mostrando, portanto, serem mais estáveis para as respectivas variáveis analisadas.

Com relação ao parâmetro estabilidade, segundo Eberhart & Russell (1966), é a capacidade de os genótipos mostrarem comportamento altamente previsíveis em função do estímulo do ambiente no qual estão inseridos. Esse método vem sendo um dos mais utilizados no estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em diversas culturas agrícolas, como em feijão (PEREIRA et al., 2016), soja (SILVEIRA et al., 2016) e milho (FARIA et al., 2017). No presente estudo, nenhuma variedade apresentou-se mais estável (S^2d significativos a 5% de probabilidade para todos os genótipos). Resultado que indica baixa estimativa da previsibilidade das variedades frente aos ambientes analisados.

Tabela 11. Estimativa dos parâmetros adaptabilidade e estabilidade pelo método, Eberhart & Russell (1966) para características nutricionais por planta provenientes da avaliação de 34 genótipos de feijão comum no Espírito Santo

Genótipos	N		P		K		Ca	
	β_1	S ² d	β_1	S ² d	β_1	S ² d	β_1	S ² d
INC-23	1,351	0,36**	1,98	0,3659**	1,53	0,75**	2,05	0,51**
INC-44	1,26	7,69**	-0,26	0,2496**	1,28	1,56**	2,0	0,05**
INC-60	0,39	19,71**	0,72	0,6089**	0,69	1,58**	1,32	0,12**
INC-61	0,92	10,35**	1,07	0,2344**	1,10	0,69**	0,87	0,27**
INC-62	1,12	11,92**	0,8	0,6987**	1,00	1,49**	1,38	0,07**
INC-66	0,62	3,64**	0,33	0,4833**	1,01	2,63**	0,61	0,02**
INC-67	0,69	4,48**	2,30	0,1306**	0,88	0,53**	0,45	0,01**
INC-81	0,65	65,8**	0,76	0,1507**	0,42	1,31**	0,76	0,07**
INC-90	1,33	7,30**	1,45	0,1663**	1,92	0,17**	-2,27	4,22**
INC-94	1,35	14,76**	0,53	0,2297**	0,73	2,65**	0,82	0,07**
INC-95	1,38	17,52**	2,07	0,0696**	0,65	0,27**	1,80	0,18**
INC-106	1,12	4,41**	0,85	0,3193**	0,80	0,36**	1,49	0,06**
INC-Serrano	0,63	19,06**	1,09	0,0442**	1,15	1,04**	0,82	0,05**
INC-Goytacaz	1,37	10,29**	1,49	0,0221**	0,36	0,06*	1,50	0,12**
INC-Rio Tibagi	1,02	23,01**	0,36	0,104**	0,07	4,32**	1,03	0,09**
INC-Rio Doce	0,41	31,01**	1,32	0,3543**	1,11	0,94**	0,12	0,09**
INC- Capixaba	0,59	10,61**	1,03	0,0662**	1,06	2,94**	0,11	0,17**
UFES-4	-0,71	11,89**	1,53	0,1409**	0,96	0,38**	1,01	0,08**
UFES-9	0,95	12,02**	1,40	0,2396**	0,55	1,12**	2,92	0,62**
UFES-11	1,46	8,79**	0,33	0,0955**	0,62	0,41**	1,58	0,08**
UFES-19	0,84	22,12**	0,07	0,1019**	0,80	0,47**	0,12	0,10**
UFES-118	0,75	2,07**	1,25	0,2705**	2,63	0,58**	0,52	0,05**

UFES-130	1,79	12,72**	1,26	0,5507**	1,50	0,79**	1,02	0,07**
UFES-1	1,21	18,75**	0,74	0,1205**	0,22	0,64**	1,01	0,02**
UFES-81	0,56	16,49**	1,45	0,1207**	1,68	2,16**	0,98	0,11**
UFES-111	0,85	2,83**	0,71	0,2423**	0,82	0,97**	0,74	0,13**
UFES-10	1,58	9,32**	0,66	0,4202**	1,04	0,28**	0,78	0,15**
UFES-133	1,31	4,05**	1,93	0,1232**	1,21	1,04**	1,37	0,13**
UFES-14	0,83	11,05**	1,12	0,0547**	1,30	0,71**	0,98	0,07**
UFES-173	0,85	21,56**	0,87	0,1124**	1,35	0,67**	0,67	0,10**
UFES-174	0,92	14,34**	0,03	0,3197**	0,67	0,42**	0,97	0,07**
UFES-32	1,99	7,39**	0,77	0,0821**	0,72	0,48**	1,28	0,03**
UFES-8	1,34	25,45**	0,40	0,1198**	1,44	0,27**	1,22	0,16**
UFES-136	1,12	17,04**	1,40	0,0858**	0,58	1,19**	1,80	0,19**

ns, **, * não significativo e significativo a 1 e a 5%, respectivamente, pelo teste F

continuação...

Genótipos	Mg		Fe		Zn	
	$\beta 1$	S ² d	$\beta 1$	S ² d	$\beta 1$	S ² d
INC-23	0,72	0,00**	1,58	8,35**	1,72	34,93**
INC-44	0,40	0,00**	1,16	9,08**	1,45	16,08**
INC-60	-0,34	0,00**	1,43	8,44**	1,28	11,91**
INC-61	0,96	0,01**	0,96	26,40**	1,47	61,45**
INC-62	2,01	0,08**	1,16	2,07**	0,38	4,50**
INC-66	-0,00	0,01**	1,30	12,90**	1,06	7,10**
INC-67	0,73	0,01**	1,02	3,93**	0,69	15,60**
INC-81	1,68	0,00**	-0,12	8,60**	0,83	7,89**
INC-90	8,73	0,18**	0,82	25,24**	1,07	11,35**
INC-94	1,64	0,02**	-0,70	8,23**	0,50	8,98**
INC-95	0,63	0,00**	0,42	15,31**	1,40	16,18**
INC-106	0,84	0,00**	0,77	9,64**	1,73	39,96**
INC-Serrano	0,13	0,00**	1,57	26,92**	0,33	2,45**
INC-Goytacaz	0,81	0,00**	-0,08	67,68**	2,40	73,69**
INC-Rio Tibagi	1,34	0,07**	1,13	13,28**	0,69	2,94**
INC-Rio Doce	0,81	0,08**	2,17	298,54**	0,35	6,60**
INC- Capixaba	0,91	0,00**	0,10	27,03**	1,30	19,03**
UFES-4	0,74	0,01**	1,06	27,08**	0,79	14,37**
UFES-9	0,07	0,05**	1,75	22,09**	0,77	7,45**
UFES-11	0,59	0,00**	1,76	14,04**	1,03	30,03**
UFES-19	0,28	0,00**	0,45	22,97**	0,66	76,09**
UFES-118	0,43	0,00**	0,92	38,87**	1,26	7,77**
UFES-130	0,51	0,00**	1,47	23,40**	0,85	17,33**

UFES-1	0,17	0,03**	0,04	33,51**	1,17	4,00**
UFES-81	1,28	0,01**	0,20	38,02**	0,76	12,03**
UFES-111	0,25	0,00**	1,12	28,03**	0,95	2,93**
UFES-10	-0,61	0,00**	0,94	6,44**	0,76	18,01**
UFES-133	1,20	0,06**	1,38	10,91**	0,24	2,96**
UFES-14	1,85	0,04**	1,52	18,57**	0,90	3,09**
UFES-173	0,88	0,00**	1,29	6,71**	1,22	4,92**
UFES-174	0,74	0,01**	2,04	2,64**	0,54	5,04**
UFES-32	0,24	0,00**	0,72	33,01**	1,28	11,61**
UFES-8	2,06	0,10**	1,06	42,07**	0,77	7,09**
UFES-136	1,17	0,00**	1,48	1,99**	1,26	28,08**

ns, **, * não significativo e significativo a 1 e a 5%, respectivamente, pelo teste F

4. CONCLUSÃO

No feijão comum, existe grande variação da composição das características avaliadas a ser explorada e utilizada pelos melhoristas da cultura, servindo de suporte para os programas de melhoramento no estado do Espírito Santo.

Nenhum genótipo apresentou ótimo desempenho para todas as características, no entanto, é possível alcançar ganhos de seleção para características analisadas.

Teores minerais de cultivares crioulas avaliadas neste estudo foram superiores aos de cultivares comerciais, independente do ambiente de experimento, como UFES-9 para teor de Ca, INC-44 para teor de P e K e UFES-19 para teor de Zn e N, indicando a possibilidade de desenvolvimento de novas cultivares biofortificadas.

Houve interação entre os genótipos de feijão comum e os ambientes avaliados;

Os métodos estatísticos analisados foram concordantes quanto aos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as características N, P, K, Mg e Zn, em condições específicas de ambientes favoráveis;

Os genótipos INC-60, INC-61 e Rio Tibagi são recomendáveis tendo em vista que apresentarem alto teor de K, N e P, respectivamente, em todos os ambientes e ampla adaptabilidade e estabilidade (WiG) pelo método Annicchiarico.

Os ambientes mais favoráveis de acordo com a média geral do teor de nutriente dos ambientes foram Cachoeiro, ano 2020, safra da seca para N e Zn, Cachoeiro, ano 2020, safra das águas P, K, Ca e Fe, Linhares, ano 2020, safra das águas Magnésio.

5. Referências

- ALTOÉ, S. C. **Caracterização química de grãos de feijão comum: crioulos e comerciais**, 2018. 70f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2018.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ARAÚJO, M. S. **Seleção simultânea para múltiplos caracteres, adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi no semiárido piauiense**, 95f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2020.
- ARAÚJO, R.; MIGLIORANZA, É.; MONTALVAN, R.; DESTRO, D.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; MODA-CIRINO, V. Genotype x environment interaction effects on the iron content of common bean grains, **Cropp Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, p. 269-274, 2003.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v.46, p.269-278, 1992.
- BASHIR, E. M. A.; ALI, A. M.; ALI, A. M.; ISMAIL, M. I.; PARZIES, H. K.; HAUSSMANN, B. I. G. Patterns of pearl millet genotype-by-environment interaction for yield performance and grain iron (Fe) and zinc (Zn) concentrations in Sudan. **Field Crops Research**, v. 166, p. 82-91, 2014.
- BEEBE S.; GONZALEZ V. G.; RENGIFO J. Research on trace minerals in the common bean. **Food and Nutrition Bulletin**, v, 21, p. 387–391, 2000.
- BOUIS H. E., WELCH, R. M. Biofortification - A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. **Crop Science**, v. 50, p. 20-32, 2010.
- BOUIS H.E.; HOTZ C.; MCCLAFFERTY B.; MEENAKSHI J. V.; PFEIFFER W.H. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and nutrition bulletin**, v. 32, p. 3-40, 2011.
- BOUIS H. E.; SALTZMAN A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from Harvest-Plus, 2003 through 2016. **Global food security**, v. 12, p. 49–58, 2017.
- BLAIR, M.W. Mineral biofortification strategies for food staples: The example of common bean. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 45, p. 8487-8294, 2013.

BURATTO, J. S.; CIRINO, V. M.; SCHOLZ, M. B. dos S.; LANGAME, D. E. M.; JUNIOR, N. S. F. PRÉTE, C. E. C. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 593-597, 2009.

CARVALHO, M. S. **Pré-melhoramento de feijões crioulo coletados no estado do espírito santo**, 102f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2019.

CASTRO-GUERRERO N. A.; ISIDRA-ARELLANO M. C.; MENDOZA-COZATL D. G.; VALDÉS-LÓPEZ O. Common bean: a legume model on the rise for unraveling responses and adaptations to Iron, Zinc, and phosphate deficiencies. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 600, 2016.

CELLENO L.; TOLAINI M. V.; D'Amore A.; PERRICONE N. V.; PREUSS H. G. A dietary supplement containing standardized *Phaseolus vulgaris* extract influences body composition of overweight men and women. **International Journal of Medical Sciences**, v. 4, p. 45–52, 2007.

CICHY K. A.; CALDAS G. V.; SNAPP S. S.; BLAIR M. W. QTL analysis of seed iron, zinc, and phosphorus levels in an andean bean population, **Crop Science**, v. 49, p. 1742-1750, 2009.

CHEN Y.; Zhang H.; MATS L.; Liu R.; DENG Z.; MINE Y. Anti-inflammatory effect and cellular uptake mechanism of peptides from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk and yogurts in caco-2 mono- and caco-2/EA.hy926 co-culture models. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, p. 8370–8381, 2019.

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

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, 2016.

DELFINI J.; MODA-CIRINO V.; NETO dos S. J.; BURATTO J. S.; RUAS P.M.; GONÇALVES. L. S. A. Diversity of nutritional content in seeds of Brazilian common bean germplasm. **Plos One**, v. 15, n. 9, 2020.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, p. 36-40, 1966.

FAOSTAT Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (accessed on 6 July 2022).

FROSSARD, E.; BUCHER, M.; MACHLER, F.; MOZAFAR, A.; HURRELL, R. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for

human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 7, p. 861-879, 2000.

FERNANDES, S. B.; ABREU, A. F.; RAMALHO, M. A. Genotype x environment interaction and its implication in identification of common bean populations with high calcium content, **Genetics and molecular research**, v. 15, 2016.

FERREIRA, A. S.; NAOZUKA, J.; KELMER, G. A.; OLIVEIRA, P. V. Effects of the domestic cooking on elemental chemical composition of beans species (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Food Processing**, v. 2014, p. 1-6, 2014.

GARCÍA-CORDERO, J. M.; MARTÍNEZ-PALMA, N. Y.; MADRIGAL BUJAJIDAR, E.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; MADRIGAL-SANTILLÁN, E.; MORALES-GONZÁLEZ, J. A.; PANIAGUA-PÉREZ, R.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, I. Phaseolin, a Protein from the Seed of *Phaseolus vulgaris*, Has Antioxidant, Antigenotoxic, and Chemopreventive Properties. **Nutrients**, vol. 13, n. 6, p. 1750, 2021.

GIUSEPPA Di B.; NACCARI C.; GIUSEPPE D. B.; RASTRELLI L.; TURCO V. L.; POTORTÌ A. G.; GIACOMO D. Mineral composition of some varieties of beans from Mediterranean and Tropical areas. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 67, n. 3, p. 239-248, 2016.

GUPTA U. C.; GUPTA S. C. Sources and deficiency diseases of mineral nutrients in human health and nutrition: a review. **Pedosphere**, v. 24, p. 13–38, 2014.

GLAHN, R.; TAKO E.; HART J.; HAAS J.; LUNG' AHO M.; BEEBE S. Iron bioavailability studies of the first generation of iron-biofortified beans released in Rwanda. **Nutrients**, v. 9, n. 7, p. 787, 2017.

HAAS J. D.; LUNA S. V.; LUNG' AHO M. G.; WENGER M. J.; MURRAY-KOLB L.E.; BEEBE S.; GAHUTU J. B.; EGLI I. M. Consuming iron biofortified beans increases iron status in Rwandan women after 128 days in a randomized controlled feeding trial. **The Journal of Nutrition**, v. 146, p. 1586–92, 2016.

HAMAWAKI, R. L. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja pelos métodos de toler e centróide**, 2014. 55f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2014.

HAMBIDGE, M. Human zinc deficiency. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 130, n. 5, p. 1344-1349, 2000.

HAYAT, I.; AHMAD, A.; MASUD, T.; AHMED, A.; BASHIR, S. Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, p. 580–592, 2014.

- ISLAM, F. M. A.; BASFORD, K. E.; JARA, C.; REDDEN, R. J.; BEEBE, S. Seed compositional and disease resistance differences among gene pools in cultivated common bean, **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 49, p. 285–293, 2002.
- KACHINSKI, W. D.; ÁVILA, F. W.; DOS REIS, A. R.; MULLER, M. M. L.; MENDES, M. C.; PETRANSKI, P. H. Agronomic biofortification increases concentrations of zinc and storage proteins in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grains. **Food research international**, v.155: 111105, 2022.
- KUMSSA, D.B.; JOY, E. J. M.; ANDER, E. L.; WATTS, M. J.; YOUNG, S. D.; WALKER, S.; BROADLEY, M. R. Dietary calcium and zinc deficiency risks are decreasing but remain prevalent, **Scientific Reports**, v.5. n. 10974, p. 1–11, 2015.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, p. 193-198, 1988.
- MAHAN, L.K. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9.ed. São Paulo: Roca, 1998. 1179p.
- MACHADO, A. B. **Adaptabilidade e estabilidade de variedades crioulas de feijão**, 2020. 58f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Paraná, 2020.
- MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo Cesar; OLIVEIRA, Sebastião Alberto de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.
- MARTINS, S, M.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C.; SOUZA, T. S. P. O.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S. Genetic parameters and breeding strategies for high levels of iron and zinc in *Phaseolus vulgaris* L. **Genetics and Molecular Research**, v. 2, n. 15, p. 1-14, 2016.
- MIGLIORANZA, E.; ARAÚJO, R. de; ENDO, R. M.; SOUZA, J. R. P. de; MONTANARI, M. A. Teor de cálcio em frutos de diferentes cultivares de feijão-vagem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 158-161, 2003.
- MCCLEAN P. E.; MOGHADDAM S. M.; LOPÉZ-MILLÁN A-F.; BRICK M. A.; KELLY J. D.; MIKLAS P. N.; OSORNO J.; PORCH G. T.; URREA C. A.; SOLTANI A.; GRUSAK M. A. Phenotypic diversity for seed mineral concentration in North American dry bean germplasm of middle american ancestry, **Crop Science**, v. 57, p. 3129–3144, 2017.
- MURANAKA, S.; SHONO, M.; MYODA, T.; TAKEUCHI, J.; FRANCO, J.; NAKAZAWA, Y.; BOUKAR, O.; TAKAGI, H. Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. **Plant Genetic Resources**, v. 14, p. 67-76, 2016.

- OLIVEIRA, D. S.; FRANCO, L. J. D.; JÚNIOR, J. A. N. M.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; NEVES, A. C.; SOUSA, F. M. Adaptability and stability of the zinc density in cowpea genotypes through GGE-Biplot method. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 783-791, 2017.
- OLIVEIRA, D. G.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; SÁ, F. V.; LIMA, L. R. L.; RESENDE, M. D. V. 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, p. 1-11, 2017.
- OLIVEIRA, I. C. M.; GUILHEN, J. H. S.; RIBEIRO, P. C. de O.; GEZAN, S. A.; SCHAFFERT, R. E.; SIMEONE, M. L. F.; DAMASCENO, C. M. B.; CARNEIRO, J. E. de S.; CARNEIRO, P. C. S.; PARRELLA, R. A. da C.; PASTINA, M. M. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis of biomass sorghum hybrids using factor analytic models and environmental covariates. **Field Crops Research**. v. 257:107929, 2020.
- PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C.; PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p.29-37, 2009.
- PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 32-42, 2014.
- PEREIRA H. S.; DEL PELOSO M. J.; BASSINELLO P. Z.; GUIMARÃES C.M.; MELO L.C.; FARIA L. C. Genetic variability for iron and zinc content in common bean lines and interaction with water availability. **Genetics and molecular research**, v.21, n. 2022, 2014.
- PEREIRA, T.; COELHO, C. M. M.; SANTOS, J. C. P.; BOGO, A.; MIQUELLUTI, D. J. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 3, 2011.
- PETRY N.; BOY E.; WIRTH J. P.; HURRELL R.F. Review: The Potential of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) as a vehicle for iron biofortification. **Nutrients**, v. 7. p. 1144–1173, 2015.
- PINHEIRO C.; BAETA J. P.; PEREIRA A. M.; DOMINGUES H.; RICARDO C. P. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, p. 319–325, 2010.
- PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; DE REZENDE, S.T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes

cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v.16, p. 157–162, 2005.

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L.; CHIORATO, A. F.; J; GONÇALVES, G. R.; CARBONELL S. A. M. Evaluation of the stability and adaptability of genotypes of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through multivariate analysis of genotype performance. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 34, n. 2, 2010.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 1367- 1376, 2010.

RIBEIRO, L. A. B. **Caracterização físico-química e do potencial para armazenamento de cultivares de feijão do grupo carioca**. 2020. 88f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Conservacionista). Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Paraná, 2020.

RIBEIRO N. D.; RODRIGUES J. DE A.; PRIGOL M., NOGUEIRA C. W., STORCK L., GRUHN E. M. Evaluation of special grains bean lines for grain yield, cooking time and mineral concentrations, **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, p. 15–22, 2014.

RIOS, S. A.; PAES, M. C. D.; ABREU, S. C.; CARDOSO, W. S. Deficiências nutricionais e a biofortificação de alimentos, In: BORÉM, A.; RIOS, S. A. (Ed.). **Milho biofortificado**, Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 9-21, 2011.

RONO, J. K.; CHERUIYOT, E. K.; OTHIRA, J. O.; NJUGUNA, W. V.; MACHARIA, J.K; OWUOCHE, J; OYIER, M; KANGE, A.M. Adaptability and Stability Study of Selected Sweet Sorghum Genotypes for Ethanol Production under Different Environments Using AMMI Analysis and GGE Biplots. **The Scientific World Journal** v.1, p.1-14, 2016.

SANTOS, A.; TORRES, F. E.; RODRIGUES, E.; PANTALEÃO, A. A.; TEODORO, L. P. R.; BHERING, L. L.; TEODORO, P. E. Nonlinear regression and multivariate analysis used to study the phenotypic stability of Cowpea Genotypes. **Hortscience**, v. 54, p. 1682-1685, 2019.

SANTOS, C. A. F.; BOITEUX, L. S. Breeding biofortified cowpea lines for semi-arid tropical areas by combining higher seed protein and mineral levels. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6782-6789, 2013.

SILVA, D. O. M. **Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para produção de grãos, teores de proteínas e minerais em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) no semiárido brasileiro**. 190f. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2018.

SINGHAL, T.; SATYAVATHI, C. T.; KUMAR, A.; SANKAR, S. M.; SINGH, S. P.; BHARADWAJ, C.; ARAVIND, J.; ANURADHA, N.; MEENA, M. C.; SINGH, N. Genotype × environment interaction and genetic association of grain iron and zinc content with other agronomic traits in RIL population of pearl millet. **Crop & Pasture Science**, v. 69, p. 1092-1102, 2018.

SILVA C. A.; ABREU Â. DE F. B.; RAMALHO M. A. P.; MAIA L. G. S. Chemical composition as related to seed color of common bean, **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.12, p. 132–137, 2012.

SILVA, D. O. M.; SANTOS, C. A. F. Adaptability and stability parameters of iron and zinc concentrations and grain yield in cowpea lines in the Brazilian Semiarid region. **Crop Science**, v. 57, n. 1, p. 2922- 2931, 2017.

SEBASTIÁ, V.; BARBERÁ, R.; FARRÉ, R.; LAGARDA, M. J. Effects of legume processing on calcium, iron and zinc contents and dialysabilities. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 1180-1185, 2001.

THOMPSON H. J.; McGinley J. N.; Neil E. S.; Brick M. A. Beneficial effects of common bean on adiposity and lipid metabolism. **Nutrients**, v. 9, p. 998, 2017.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CESAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n. 2, p. 124-133, 2009.

VALENÇA A. W.; BAKE A.; BROUWER I. D.; GILLER K. E. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa, **Global Food Security**, v. 12, p. 8-14, 2017.

WHO, G. Use of multiple micronutrient powders for point-of-use fortification of foods consumed by infants and young children aged 6–23 months and children aged 2–12 years. **World Health Organization**, Geneva, 2016.

ZANOTTI, R. F.; LOPES, J. C.; MOTTA, L. B.; MENGARDA, L. H. G.; MARÇAL, T. S.; GUILHEN J. H. S.; PAIVA, C. E. C. Genetic variability and heritability of biofortified grain beans genotypes. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba. v. 6, n.5, p. 29381-29395, 2020.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
MARCIA FLORES DA SILVA FERREIRA - SIAPE 1615391
Departamento de Agronomia - DA/CCAE
Em 06/07/2023 às 14:53

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/743865?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
ADESIO FERREIRA - SIAPE 1573758
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento -
PPGGM/CCAE
Em 07/07/2023 às 14:41

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/744743?tipoArquivo=O>