

ISABELA RODRIGUES MIRANDA

POTENCIAL DE LINHAGENS DE FEIJÃO PARA FINS DE RECOMENDAÇÃO

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

Orientador: Pedro Crescêncio S. Carneiro

Coorientadores: José Eustáquio S. Carneiro
Kaio Olímpio G. Dias

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

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

T

M672p
2024

Miranda, Isabela Rodrigues, 1992-
Potencial de linhagens de feijão para fins de recomendação
/ Isabela Rodrigues Miranda. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (69 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Biologia Geral, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.598>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Feijão - Seleção. 3. Teoria bayesiana de decisão estatística. I. Carneiro, Pedro Crescêncio Souza, 1966-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Geral. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. III. Título.

CDD 22. ed. 635.65223


ISABELA RODRIGUES MIRANDA

POTENCIAL DE LINHAGENS DE FEIJÃO PARA FINS DE RECOMENDAÇÃO


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

APROVADA: 16 de julho de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 ISABELA RODRIGUES MIRANDA
Data: 18/09/2024 12:07:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Isabela Rodrigues Miranda
Autor

Documento assinado digitalmente
 PEDRO CRESCENCIO SOUZA CARNEIRO
Data: 18/09/2024 14:18:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pedro Crescêncio Souza Carneiro
Orientador

Aos meus pais, Sebastião e Tereza.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por toda a proteção concedida.

Aos meus pais, Sebastião e Tereza, pelo amor incondicional, apoio, incentivo e compreensão em todos os momentos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a graduação e pós-graduação.

Ao Departamento de Biologia (DBG) e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento (PPGGM), por toda a estrutura disponibilizada, pelo corpo docente e administrativo de qualidade, e principalmente pela oportunidade de cursar o Doutorado.

Ao meu orientador, Pedro Crescêncio Souza Carneiro, e coorientadores, José Eustáquio de Souza Carneiro e Kaio Olímpio das Graças Dias, por todos os ensinamentos, auxílios e paciência ao longo desses anos.

Aos amigos e colaboradores do Programa Feijão, por todo companheirismo e ajuda durante a trajetória acadêmica.

Às instituições do Convênio de Feijão do estado de Minas Gerais: UFV, UFLA, Embrapa e EPAMIG, pela cessão dos dados do VCU – 2016 a 2018 para realização desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por todo amparo financeiro ao Programa Feijão UFV.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito Obrigada!

"Na vida, não existe nada a temer, mas a entender".
(Marie Curie)

RESUMO

MIRANDA, Isabela Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2024. **Potencial de linhagens de feijão para fins de recomendação.** Orientador: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Kaio Olímpio das Graças Dias.

A recomendação de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) apoia-se nos resultados alcançados com o ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) da cultura. Por sua vez, o êxito da recomendação é consequência de toda a cadeia de desenvolvimento do programa de melhoramento. Modelos estatísticos que consideram o risco de insucesso (análises bayesianas) dos genótipos ao longo dos ambientes em que são avaliados podem resultar em uma recomendação de cultivares mais informada e segura. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de linhagens de feijão visando uma futura recomendação. No Capítulo I, os dados de produtividade de grãos dos ensaios de VCU – 2016 a 2018 foram analisados sob a abordagem de modelos Bayesianos probabilísticos para fins de recomendação. No capítulo II, além dos dados de produtividade de grãos, os dados de arquitetura de plantas, acamamento, severidade a doenças, qualidade tecnológica e outras características morfoagronômicas foram utilizados para avaliar o comportamento da nova cultivar de feijão vermelho (BRSMG Marte) e caracterizá-la conforme as exigências para registro e proteção de cultivares. Em ambas as abordagens estudadas, a cultivar BRSMG Marte se destacou entre os demais genótipos do grupo comercial vermelho. Como principais conclusões, o método Bayesiano probabilístico mostrou-se eficiente na análise de dados de feijão, atingindo um poder de inferência maior do que é usualmente verificado com outros métodos; e a cultivar BRSMG Marte foi recomendada para Minas Gerais e os demais estados avaliados, devido às peculiaridades ainda não observadas em outras cultivares em uso desse tipo de grão. Com isso, conclui-se que os procedimentos utilizados para fins de recomendação de cultivares nesse trabalho são passíveis de replicação em futuras análises de dados de ensaios de VCU.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; Recomendação de cultivares; Modelos Bayesianos probabilísticos.

ABSTRACT

MIRANDA, Isabela Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2024. **Potential of bean lines for recommendation purposes.** Adviser: Pedro Crescêncio Souza Carneiro. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Kaio Olímpio das Graças Dias.

Recommendation of bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) is supported by Value for Cultivation and Use (Valor de Cultivo e Uso - VCU) trials. In turn, the successful recommendation of a variety is the consequence of its performance throughout the entire development chain of a breeding program. Statistical models that account for risk of genotype failure across environments (Bayesian analyses) can lead to more informed and reliable variety recommendations. Therefore, the present study aimed to assess the potential of bean lines for future recommendation. In the 1st Chapter, yield data from 2016 to 2018 VCU trials were analyzed using a Bayesian probabilistic modeling approach to pinpoint superior lines. In the 2nd Chapter, besides yield, we also used data from plant architecture, lodging, disease severity, grain quality, as well as other morpho-agronomic traits to evaluate the performance and characterize the new red bean variety (BRSMG Marte) according to the requirements for variety registration and protection. In both approaches, the variety BRSMG Marte stood out among the other genotypes from the red group. Our results reveal that the Bayesian probabilistic method proved to be efficient in analyzing bean data as it had higher inference power than what is usually observed with other methods; and that the variety BRSMG Marte can be recommended for Minas Gerais and the other States assessed in this study because of its unique traits not yet observed in other varieties of this type of grain. Therefore, we concluded that the procedures for varieties recommendation used here are suitable for replication in future VCU trials data analyses.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; Varietal recommendation; Bayesian probabilistic model.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO I. Uso da abordagem de modelos Bayesianos probabilísticos na recomendação de cultivares de feijão	15
Resumo	16
1. Introdução	17
2. Material e Métodos	20
2.1. Metodologia de Dias et al. (2022)	21
3. Resultados	23
4. Discussão	31
5. Conclusão	33
6. Referências	34
7. Material Suplementar	37
CAPÍTULO II. BRSMG Marte: nova cultivar de feijão vermelho	46
Resumo	47
1. Introdução	48
2. Material e Métodos	52
2.1. Avaliação do comportamento da cultivar BRSMG Marte no VCU	52
2.2. Caracterização da cultivar BRSMG Marte	53
2.3. Qualidade tecnológica dos grãos da cultivar BRSMG Marte	55
3. Resultados e Discussão	57
3.1. Avaliação do comportamento da cultivar BRSMG Marte no VCU	57
3.2. Caracterização da cultivar BRSMG Marte	59
3.3. Qualidade tecnológica dos grãos da cultivar BRSMG Marte	61
4. Conclusão	63
5. Referências	64
6. Material Suplementar	67
CONCLUSÕES GERAIS	69

INTRODUÇÃO GERAL

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa originária do continente americano, com três centros de origem localizados na América Latina: centro mesoamericano, centro norte-andino e centro-sul andino. O centro mesoamericano compreende desde o sudeste do Estados Unidos, passando pelo México, Guatemala, até o Panamá, os quais deram origem as mais diversas espécies de feijão, principalmente as de grãos pequenos. O centro norte-andino abrange a Colômbia, a Venezuela e o Norte do Peru, revelando menos espécies que o centro mesoamericano. O centro sul-andino inicia-se no sul do Peru até o noroeste da Argentina, sendo responsável pela origem dos feijões de grãos maiores (Gepts, Debouck, 1991). A vinda do feijão (mesoamericano) para o Brasil se fez pelo México, passando pelas ilhas do Caribe, Colômbia e Venezuela (Gepts, Debouck, 1991), com registros de consumo desde os tempos coloniais e imperiais (Carneiro, 2005).

O Brasil é considerado o maior produtor e consumidor de feijão-comum no mundo, com destaque aos estados do Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso, responsáveis pelo maior volume produzido. A área total utilizada para plantio vem diminuindo, porém, a produtividade tem aumentado em virtude ao potencial das novas cultivares e ao sucesso do manejo em que são submetidas (CONAB, 2024).

O feijão é um alimento nutritivo, rico em fibras, carboidratos, proteína e minerais, com destaque para o Ferro, essenciais para a dieta humana. O consumo per capita no Brasil no ano de 2022 chegou a 12,8 kg/habitante (Embrapa Arroz e Feijão, 2024), aquém dos 19,0 kg/habitante registrados para 2007 (AGRIANUAL, 2012), perdendo espaço para os produtos processados.

Há feijões de diferentes cores, formatos e tamanhos. A preferência de consumo por algum tipo comercial varia de região para região. O feijão carioca por exemplo, é o mais popular no Brasil, sendo consumido na maioria dos estados. O feijão preto é preferido nas regiões sul do país e no Rio de Janeiro. Já o feijão vermelho é mais consumido na Zona da Mata de Minas Gerais (Ramalho, Abreu, 2015).

As pesquisas com feijão no Brasil foram iniciadas em 1930, com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizado em São Paulo, e a Escola Superior de Agricultura e Veterinária (Esav), em Viçosa, Minas Gerais, hoje conhecida como Universidade Federal de Viçosa (UFV) (Vieira, 1996; Voysest, 2000). Na década de

1950 ocorreram os primeiros testes de cultivares no país com materiais locais, regionais e introduzidos de outros países. Até 1960, as pesquisas agronômicas eram realizadas por institutos regionais, chamados institutos agronômicos, e por estações experimentais. A Esav juntamente com a Estação Experimental de Patos de Minas, lançaram a primeira cultivar para o estado de Minas Gerais, a cultivar Rico 23, introduzida da Costa Rica em 1954 (Vieira, 1959).

A década de 1970 também promoveu muitos feitos importantes para o melhoramento do feijoeiro. Houve o lançamento de um novo tipo comercial de feijão, o carioca, de cor creme e rajas marrons; a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa); o estabelecimento do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na Colômbia; e o início de estudos com feijão em outras universidades federais, como na Universidade Federal de Lavras (UFLA) (Carneiro et al., 2017).

Para coordenar os experimentos de feijão no país, foi criada a Comissão Regional de Avaliação e Recomendação de Cultivares de Feijão (CRC-Feijão), pela Portaria nº 178, de 21 de julho de 1981 (BRASIL, 1981). A Embrapa, por sua vez, cria Comissões Técnicas Regionais, para auxiliar a CRC. Essas comissões técnicas seguiram uma estratégia de avaliação de linhagens em todas as instituições de pesquisa do país, por meio de ensaios nacionais, em que as melhores linhagens eram selecionadas para integrar ensaios estaduais. A partir de 1993 cria-se também os ensaios regionais, em substituição aos ensaios estaduais, hoje conhecido como ensaio final (Carneiro et al., 2017).

Atualmente, as responsabilidades com a recomendação de cultivares passou a ser do obtentor da cultivar, o qual pleiteia o direito de proteção das cultivares conforme a Lei de Proteção de Cultivares no Brasil – Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997 (BRASIL, 1997) e suas respectivas portarias. No mesmo ano foram extinguidas as antigas CRC's e instituído o Registro Nacional de Cultivares (RNC), que habilita a comercialização de sementes no país (BRASIL, 1998a). Em seguida, em 1998, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) estabeleceu as regras para a condução dos experimentos, a fim de identificar o valor das novas cultivares, denominado ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU), exigido para o registro de cultivar no RNC (BRASIL, 1998b) (Carneiro et al., 2017).

A fim de impulsionar o melhoramento de feijão em Minas Gerais, em 2002, a UFV, a UFLA, a Embrapa e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) estabeleceram o convênio “Melhoramento de Feijão para o Estado de

Minas Gerais”. Por meio deste, muitas cultivares melhoradas têm sido recomendadas no estado. Cada instituição fica responsável pela condução de experimentos nos locais que a compete, avaliando as mesmas linhagens sob o mesmo delineamento experimental. Ao final de dois anos, uma ou mais cultivares estão disponíveis para recomendação (Ramalho, Abreu, 2015).

Os critérios mínimos para implantação do VCU de feijão estão relacionados aos ensaios, ao delineamento experimental e as características a serem avaliadas. Os ensaios precisam ser conduzidos em pelo menos 18 ambientes (3 locais x 3 safras x 2 anos), com o uso de irrigação somente para o estabelecimento da população inicial, sem o controle de doenças, apenas o controle de pragas. O delineamento experimental requer precisão mínima igual ao de blocos casualizados com três repetições; as parcelas deverão ser constituídas de no mínimo quatro fileiras de 4 m de comprimento; as testemunhas sejam pelo menos duas cultivares do mesmo grupo de cor utilizadas na região; e os resultados das análises estatísticas obtenham coeficiente de variação (CV) de no máximo 25% ou F significativo a 5% de probabilidade. As características a serem avaliadas abrangem desde o descritor de antocianina no hipocótilo, cor da flor e presença de venações na testa; as características agrônômicas de arquitetura, uniformidade da cor da flor, cor e uniformidade das vagens, cor, forma, brilho e peso das sementes, o grupo comercial que pertencem e o ciclo; reação a doenças; reação a adversidades do clima; produtividade; até qualidade tecnológica (BRASIL, 2006).

O melhoramento do feijoeiro tem como objetivo desenvolver cultivares que apresentem alta produtividade de grãos, porte ereto de planta, resistência às principais doenças, aspectos comerciais de grãos, boas propriedades culinárias e alta estabilidade de produção (Singh, Schwartz, 2010). As estratégias utilizadas para atingir o objetivo são diversas, mas basicamente estão relacionadas com a escolha dos genitores utilizados nos cruzamentos; o método de condução das populações segregantes, que dependerá do tipo de cultivar a ser desenvolvido e dos caracteres alvos na etapa de seleção; e os ensaios comparativos finais e ensaios de VCU (Ramalho et al., 2012). Além dessas estratégias, os procedimentos utilizados nas análises estatísticas dos dados também são de grande importância.

A análise estatística viabiliza a compreensão e interpretação dos dados, o que possibilita identificar padrões e tendências, tornando-a essencial para tomadas de decisões mais informadas e seguras. Em caso de experimentos conduzidos em

multiambientes, ocorre, em geral, interação de genótipos por ambientes (GxA) com efeito significativo. Isto torna, muitas vezes, a recomendação de cultivares mais complexa, ficando a cargo do melhorista optar por uma ou mais metodologias de análises que melhor tratem a interação GxA (Resende, 2004).

Para estudar a interação GxA é fundamental que seja realizada uma análise de variância (ANOVA) conjunta dos dados. Caso seja confirmado o comportamento diferencial dos genótipos com a variação do ambiente, prossegue-se com a análise de adaptabilidade e estabilidade, que tem como finalidade identificar cultivares previsíveis e responsivas às condições ambientais de um modo geral ou específico (Cruz, Regazzi, Carneiro, 2012).

As metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade são muitas, iniciando com as metodologias baseadas em estatística paramétrica, não-paramétrica, multivariada, modelos mistos, até modelos bayesianos. Estudos mais recentes têm utilizado os modelos mistos e os modelos bayesianos para melhor lidar com a interação GxA, devido levarem em consideração de forma mais apropriada os cenários complexos da experimentação (Dias et al., 2022; Resende, 2004). Assim, é percebido que o êxito na recomendação de cultivares é o reflexo de um programa de melhoramento bem estruturado em todas as suas diferentes fases.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Feijão. São Paulo: FNP, 2012.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25 de 23 de maio de 2006. Art. 10. Estabelece os critérios mínimos a serem observados para a determinação do valor de cultivo e uso - VCU de feijão e os respectivos formulários anexos para inscrição de cultivares no Registro Nacional de Cultivares. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 de junho de 2006. Seção 1, p.16.

BRASIL. Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 de abril de 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 178, de 21 de julho de 1981. Institui, em âmbito nacional, o Sistema Brasileiro de Avaliação e Recomendação de Cultivares. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 de julho de 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 527, de 31 de dezembro de 1997. Institui o Registro Nacional de Cultivares – RNC, junto à secretaria de Desenvolvimento Rural – SDR, com finalidade de promover a inscrição prévia das cultivares, habilitando-as para a produção e comercialização de sementes e mudas no País. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 01 de janeiro de 1998a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Rural. Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998. Estabelece os critérios mínimos a serem observados nos ensaios para determinação do Valor de Cultivo e Uso – VCU de cultivares de algodão, arroz, batata, milho, soja, sorgo e trigo e os respectivos formulários de solicitação de inscrição de cultivares no Registro Nacional de Cultivares – RNC, na forma dos anexos I à VIII desta Portaria. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 16 de outubro de 1998b.

CARNEIRO, H. S. Comida e sociedade: significados sociais a história da alimentação. **História: Questões & Debates**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 71-80, 2005.

CARNEIRO, J. E. S.; POSSOBOM, M. T. D. F., BARILI, L. D.; VALE, N. M.; CARNEIRO, P. C. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F. Cultivares brasileiras de feijão: contribuições do melhoramento genético. In: PAULA JÚNIOR, T. J.; MARTINS, F. A. D. Inovações tecnológicas para a produção de feijão. **Informe Agropecuário**, EPAMIG, Belo Horizonte, MG, v. 38, n. 298, p. 44-51, 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas: feijão total (1ª, 2ª e 3ª Safras)** – Safra 2022/23 – Brasil. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/info-agro/safra-serie-historica-das-safra/feijao>. Acesso em: 31 de janeiro de 2024.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, v. 1, n. 4, p. 110-178, 2012.

DIAS, K. O. G.; SANTOS, J. P. R.; KRAUSE, M. D.; PIEPHO, H. -P.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; GARCIA, A. A. F. Leveraging probability concepts for cultivar recommendation in multi-environment trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 135, n. 4, p. 1385-1399, 2022.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária em Arroz e Feijão. Socioeconomia. **Consumo Per capita de Arroz (*Oryza sativa* L.) e de Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), no Brasil, de 1985 a 2022** – Brasil. Disponível em: <https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 12 de março de 2024.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Origin, domestication and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. **Common beans research for crop improvement**. Wallingford: CAB International; Cali: CIAT, p. 7-53, 1991.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Obtenção de Cultivares. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 96-111, 2015.

RAMALHO, M. A. P., ABREU, A. F. B., SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA, p. 365-456, 2012.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 57 p., 2004.

SINGH, S. P.; SCHWARTZ, H. F. Breeding common bean for resistance to diseases: a review. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2199-2223, 2010.

VIEIRA, C. **O feijão e eu: memórias de um ex-aluno da ESAV**. Viçosa, MG: UFV, 178 p., 1996.

VIEIRA, C. Rico 23, nova variedade de feijão preto para Zona da Mata, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 11, n. 61, p. 22-26, 1959.

VOYSEST, O. V. **Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999**. Cali, Colombia: CIAT, 195 p., 2000.

CAPÍTULO I

USO DA ABORDAGEM DE MODELOS BAYESIANOS PROBABILÍSTICOS NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO

Resumo

A recomendação de novas cultivares apoia-se nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Para uma recomendação mais segura é preciso identificar metodologias que melhor explorem a interação genótipos por ambientes (GxA). A metodologia proposta por Dias et al. (2022) é uma alternativa para aproveitar de maneira vantajosa a interação GxA, a qual aborda conceitos de modelos bayesianos e métodos de probabilidade de análise de adaptabilidade e estabilidade num único modelo, classificando os genótipos quanto ao possível sucesso a partir de uma intensidade de seleção definida. Com isso, objetivou-se com o presente trabalho explorar o uso do método Bayesiano probabilístico de Dias et al. (2022) para fins de recomendação de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Para tanto, foram utilizados dados de produtividade de grãos de 15 genótipos de feijão avaliados em 42 ambientes, distribuídos em diferentes safras, anos e locais, referentes aos ensaios de VCU conduzidos entre 2016 e 2018. Sob uma intensidade de seleção predefinida de 30%, os genótipos com maior probabilidade marginal de desempenho superior foram G01, G14, G07, G11 e G02. Os genótipos de maior probabilidade marginal de estabilidade superior foram G06, G07, G04, G03 e G12. Já considerando a probabilidade conjunta de desempenho superior e a estabilidade de produção, os genótipos G07, G14, G01, G11 e G04 se destacaram. Portanto, o método Bayesiano probabilístico se mostrou promissor na recomendação de cultivares de feijão.

1. Introdução

O processo de obtenção e recomendação de cultivares melhoradas não é uma tarefa fácil, pois os objetivos do programa de melhoramento precisam estar alinhados às demandas do produtor, da indústria e do consumidor final. No melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) além da alta produtividade de grãos busca-se por plantas mais eretas, resistentes às principais doenças, que apresentem grãos com aspectos comerciais, boas propriedades culinárias e alta estabilidade de produção (Singh, Schwartz, 2010). Para isso, um bom planejamento do programa é fundamental, incluindo desde a fonte de germoplasma até o lançamento da cultivar.

No Brasil, as cultivares de feijão são recomendadas por estado, onde recebe os ensaios experimentais em áreas representativas da região. O ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) é um teste comparativo de linhagens promissoras com as cultivares de sucesso existentes no mercado, em diferentes anos, safras e locais. Esse ensaio antecede a recomendação de cultivares, sendo obrigatório para a inscrição das respectivas cultivares no Registro Nacional de Cultivares (RNC), o qual habilita a comercialização. A condução dos ensaios de VCU deve obedecer a critérios mínimos preestabelecidos pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), específico para cada espécie vegetal.

Os genótipos quando expostos a muitos ambientes é comum que apresentem comportamentos discrepantes ao longo do gradiente ambiental, denominado de interação genótipos por ambientes (GxA). A interação GxA pode ser de natureza simples quando não há a mudança de posição de desempenho dos genótipos nos diferentes ambientes, e complexa quando há a inversão na classificação dos mesmos. Essa última é vista como um desafio para o melhoramento de plantas pois expressa a inconsistência de superioridade, tornando assim mais difícil a recomendação. Para melhor compreender a interação GxA são realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade, as quais auxiliam na identificação de genótipos com comportamentos previsíveis nos diferentes ambientes (Crossa, 2012; Cruz, Regazzi, Carneiro, 2012; Malosetti, Ribaut, van Eeuwijk, 2013).

A literatura traz várias metodologias de análises de adaptabilidade e estabilidade, que se distinguem basicamente pelo conceito adotado e pelo princípio estatístico empregado (Crossa, 2012; Cruz, Regazzi, Carneiro, 2012; Malosetti, Ribaut, van Eeuwijk, 2013). Essas metodologias são classificadas quanto a sua

abordagem estatística, as quais se baseiam em análise de variância (Plaisted, Peterson, 1959; Shukla, 1972; Wricke, 1965), em regressão não linear (Toler, 1990), em regressão linear (Eberhart, Russell, 1966; Finlay, Wilkinson, 1963), em regressão bissegmentada (Cruz, Torres, Vencovsky, 1989; Verma, Chahal, Murty, 1978), em estatística não-paramétrica (Annicchiarico, 1992; Lin, Binns, 1988), em análise multivariada (Gauch, Zobel, 1988; Yan et al., 2000), em modelos mistos (Dias et al., 2018; Piepho, 1997; Smith, Cullis, Thompson, 2001), em modelos bayesianos hierárquicos (Josse et al., 2014; Cotes et al., 2006; Crossa et al., 2011) e mais recentemente em modelos bayesianos probabilísticos (Dias et al., 2022).

A metodologia que mais se difundiu ao longo dos anos foi a de Eberhart e Russell, com o maior número de citações em trabalhos científicos. Esta também é a mais popularizada na cultura do feijão (Carneiro et al., 2018; Melo et al., 2022), destacando-se pela simplicidade na interpretação dos dados e por disponibilizar simultaneamente os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Recentemente, as metodologias baseadas em modelos lineares mistos apresentaram um aumento expressivo no uso (Piepho et al., 2008). Os modelos bayesianos também vêm sendo utilizados (van Eeuwijk, Bustos-Korts, Malosetti, 2016). Portanto, modelos lineares e modelos bayesianos têm potencial de uso por melhor tratarem dados de experimentos multiambientais, considerando dados desbalanceados, heterogeneidade de variâncias genéticas e correlações entre ambientes, tendências espaciais de campo e probabilidades a posteriori (Crossa, 2012; Dias et al., 2022; Malosetti, Ribaut, van Eeuwijk, 2013; Smith, Cullis, Thompson, 2005).

A estratégia que utiliza de probabilidades para inferir sobre o comportamento dos genótipos quanto à adaptabilidade e à estabilidade, é uma metodologia recente, proposta por Dias et al. (2022). Basicamente são definidas as *prioris* e a verossimilhança, com o algoritmo Hamiltonian Monte Carlo (HMC) chega-se a posteriori, pertencente à classe dos não conjugados, que a partir dos dados e da *priori* procura o modelo que apresenta a melhor forma de a posteriori. A partir de então são calculadas probabilidades marginais de desempenho e estabilidade, probabilidades aos pares de desempenho e estabilidade, probabilidades condicionais de desempenho, e probabilidades conjuntas de desempenho e estabilidade, partindo de uma intensidade de seleção predefinida.

A metodologia probabilística bayesiana se destaca por combinar informações de diferentes métodos no mesmo, fazer uso de informações a priori, e trabalhar com

a ideia de rank, que através de uma intensidade de seleção predefinida organiza os genótipos em ordem decrescente de superioridade. O método também permite sanar vários questionamentos importantes, como a probabilidade de um novo genótipo superar os existentes, e a probabilidade de desempenho dos genótipos em ambientes distintos, detectando o risco de falha de dado genótipo em um ambiente específico. Assim, o poder de inferência atingido com o método probabilístico bayesiano é maior do que encontrado em outros modelos (Dias et al., 2022; Przystalski, Lenartowicz, 2023).

Mesmo com o avanço dos estudos destinados a compreender e explorar a interação GxA através da adaptabilidade e estabilidade, o melhoramento de plantas ainda necessita de metodologias visivelmente mais claras e que promovam uma recomendação de cultivares mais segura (Smith, Cullis, 2018). Pensando nisso, a metodologia proposta por Dias et al. (2022) faz-se forte candidata a facilitar o processo de tomada de decisão para recomendação de cultivares. Assim, o presente trabalho tem como objetivo explorar o uso do método Bayesiano probabilístico na recomendação de cultivares de feijão.

2. Material e Métodos

O conjunto de dados utilizado foi obtido dos ensaios de VCU de feijão-comum referentes ao ciclo de 2016 a 2018, em diferentes safras e locais da federação brasileira, totalizando 42 ambientes. A descrição dos ambientes e dos locais são apresentados nas informações suplementares (Tabelas S1, S2 e Figura S1). Dentre os genótipos avaliados compreenderam-se dez linhagens e cinco cultivares, sendo quatro destas testemunhas. Os genótipos usados foram desenvolvidos pelo convênio firmado entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com três repetições, e parcelas constituídas de quatro fileiras de 4 metros de comprimento, espaçadas em 0,5 metros. As análises estatísticas realizadas basearam-se apenas nos dados de produtividades de grãos. Primeiro foram realizadas análises de variância (ANOVA) individual para cada ambiente, com o objetivo de avaliar a existência de variabilidade genética entre os genótipos, a precisão de cada experimento e a homogeneidade das variâncias residuais. Posteriormente foi feita a ANOVA conjunta, num esquema fatorial simples. Sob confirmação da presença de interação GxA realizou-se a decomposição da interação em partes simples e complexa pelo método de Cruz e Castoldi (1991). Em seguida foram obtidas as estimativas de adaptabilidade e estabilidade pela metodologia de Dias et al. (2022). Para tanto foram utilizados o software Genes (Cruz, 2013) e o pacote ProbBreed (Chaves et al., 2024) do R (R Core Team, 2023).

Também fornecemos quatro modelos clássicos frequentemente usados para estudar a interação GxA: análise de regressão conjunta (Eberhart, Russell, 1966), variância de estabilidade de Shukla (Shukla, 1972), método AMMI (análise de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa) (Gauch, Zobel, 1988) e GGE biplot (efeitos principais do genótipo e genótipo x ambiente) (Yan et al., 2000). Esses resultados são apresentados nas figuras S2, S3, S4, S5 e na tabela S3.

2.1. Metodologia de Dias et al. (2022)

A metodologia de Dias et al. (2022) usa de métodos probabilísticos baseados em modelos bayesianos. Inicialmente propõe-se diferentes modelos para o conjunto de dados, que se distinguem pelos efeitos considerados e pela natureza do desvio padrão da verossimilhança para cada ambiente. Dessa forma, um experimento com g genótipos, a ambientes e r repetições pode se ajustar a dois modelos, um com desvio padrão homogêneo ($S^{[\sigma]}$) e outro com desvio padrão heterogêneo ($S^{[\sigma_k]}$), conforme apresentado na Tabela 1:

Tabela 1. Resumo dos modelos Bayesianos ajustados para um experimento com g genótipos, a ambientes e r repetições.

Modelo	Desvio Padrão	Esperança
M1	Homogêneo ($S^{[\sigma]}$)	$E[Y_{ijk}] = \mu + g_j + a_j + r_{k(j)} + (ga)_{ij}$
M2	Heterogêneo ($S^{[\sigma_k]}$)	$E[Y_{ijk}] = \mu + g_j + a_j + r_{k(j)} + (ga)_{ij}$

$E[Y_{ijk}]$ é a esperança do valor fenotípico do i -ésimo genótipo, avaliado no k -ésimo bloco no j -ésimo ambiente; μ a média geral, g_j o efeito do genótipo, a_j o efeito do ambiente, $r_{k(j)}$ o efeito do bloco, $(ga)_{ij}$ o efeito da interação genótipo por ambiente.

Os modelos apresentam uma verossimilhança normal condicional $Y_{ijk} \sim N(E[Y_{ijk}], \sigma)$, e as seguintes prioris para os parâmetros: $\mu \sim N(S^{[\mu]})$, $g_i \sim N(0, S^{[g]})$, $a_j \sim N(0, S^{[a]})$, $r_{k(j)} \sim N(0, S^{[r]})$, $(ga)_{ij} \sim N(0, S^{[ga]})$ e $\sigma \sim \text{HalfCauchy}(0, S^{[\sigma]})$ ou $\sigma_k \sim \text{HalfCauchy}(0, S^{[\sigma_k]})$ quando o modelo considera desvio padrão heterogêneo. As distribuições normais e HalfCauchy são centradas em zero com diferentes hiperparâmetros de escala $S^{[\theta]}$. Para eliminar a subjetividade na escolha de hiperparâmetros ($\emptyset = \max(Y) \times 10$) foram consideradas as seguintes hiperprioris: $S^{[\mu]} \sim \text{HalfCauchy}(0, \emptyset)$, $S^{[g]} \sim \text{HalfCauchy}(0, \emptyset)$, $S^{[a]} \sim \text{HalfCauchy}(0, \emptyset)$, $S^{[r]} \sim \text{HalfCauchy}(0, \emptyset)$ e $S^{[ga]} \sim \text{HalfCauchy}(0, \emptyset)$.

As estimativas a posteriori são obtidas através do algoritmo HMC com auxílio do pacote RStan da linguagem R. Para esse trabalho em específico, cada modelo rodou 4 cadeias com 20.000 iterações, descartando como burn-in a primeira metade das iterações, restando 40.000 amostras para análise das etapas seguintes, a fim de calcular probabilidades de adaptabilidade e estabilidade.

A seleção do modelo a ser utilizado para o tratamento dos dados leva em consideração alguns critérios. O fator de redução de escala potencial estimado (\hat{R}), que avalia a qualidade das amostras de Monte Carlo via Cadeia de Markov (MCMC),

é ideal que apresente valor próximo de 1, o que indica convergência dos modelos. Para avaliar quanto dos dados gerados se aproximam dos dados observados realizam-se plotagens gráficas, que são autoexplicativas, e utilizam também de p-valores bayesianos de estatística máxima, mínima, média, mediana e desvio padrão dos dados gerados, os quais precisam estar próximos a 0,5 para serem mais semelhantes possíveis aos dados observados. E por fim o Critério de Informação de Watanabe-Akaike 2 (WAIC2), utilizado para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos, sendo considerado o de menor valor.

O modelo selecionado é submetido a cálculos de probabilidades de análises de adaptabilidade e estabilidade com intensidade de seleção predefinida (Ω), como a probabilidade de desempenho superior $\Pr(g_i \in \Omega|y) = \frac{1}{s} \sum_{s=1}^s I(g_i^{(s)} \in \Omega|y)$, a probabilidade par a par de desempenho superior $\Pr(g_i > g_j|y) = \frac{1}{s} \sum_{s=1}^s I(g_i^{(s)} > g_j^{(s)}|y)$, a probabilidade de desempenho superior dentro do ambiente $\Pr(g_{ij} \in \Omega_{ij}|y) = \frac{1}{s} \sum_{s=1}^s I(g_{ij}^{(s)} \in \Omega_{ij}|y)$, a probabilidade de estabilidade superior $\Pr(\text{var}(g_{a_{ij}}) \in \Omega|y) = \frac{1}{s} \sum_{s=1}^s I(\text{var}(g_{a_{ij}}^{(s)})|y)$, e a probabilidade conjunta de desempenho superior e estabilidade $\Pr(g_i \in \Omega, \text{var}(g_{a_{ij}}^{(s)}) \in \Omega) = \Pr(g_i \in \Omega|y) \times \Pr(\text{var}(g_{a_{ij}}) \in \Omega|y)$.

3. Resultados

Pela ANOVA individual observou-se efeito significativo de genótipos sobre a produtividade de grãos para 37 dos 42 ensaios instalados (Tabela 2). A produtividade de grãos variou de 916,60 a 4045,3 kg ha⁻¹, com média superior a duas vezes a produtividade alcançada pelo Brasil no mesmo período agrícola, de 1090,3 kg ha⁻¹ segundo registros da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAOSTAT, 2024). Os valores de coeficiente de variação (CV) estiveram dentro dos 25% tolerado pelo MAPA, com restrição aos ambientes 5 e 36, que apresentaram CV iguais a 25,8% e 26,5%, respectivamente. Na ANOVA conjunta tanto os genótipos, quanto os ambientes e a interação GxA apresentaram efeitos significativos a 5% de probabilidade pelo teste F (Tabela 3).

Tabela 2. Resultados das análises de variância individuais para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 15 genótipos de feijão avaliados em 42 ambientes (A01 – A42), referentes aos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Ambiente	Descrição - local, safra, ano	QM genótipo	QM erro	Média	CV(%)
A01	Lavras, MG - seca 2016	895058,5*	244338,9	2941,2	16,8
A02	Patos de Minas, MG - seca 2016	618801,1*	71513,9	1896,4	14,1
A03	Lavras, MG - inv. 2016	597514,6*	253221,1	2595,0	19,4
A04	Lambari, MG - inv. 2016	908149,8*	275931,9	2569,0	20,4
A05	Patos de Minas, MG - inv. 2016	1391733,6*	634108,6	3079,1	25,8
A06	Sete Lagoas, MG - inv.2016	692681,7*	214651,3	3986,9	11,6
A07	Sete Lagoas, MG - inv. 2016	96102,2*	22230,7	1579,2	9,4
A08	Lavras, MG - águas 2016	357938,1*	132455,1	1602,3	22,7
A09	Lambari, MG - águas 2016	531588,5*	154884,3	2736,3	14,4
A10	Patos de Minas, MG- águas 2016	1103959,8*	181600,4	2070,0	20,5
A11	Sete Lagoas, MG - águas 2016	2327712,8*	369614,6	2470,3	24,6
A12	Lavras, MG - seca 2017	384710,9*	164371,9	2286,8	17,7
A13	Lambari, MG - seca 2017	130490,9 ^{ns}	267366,7	2457,4	21,0
A14	Patos de Minas, MG- seca 2017	550897,8*	92256,4	2611,1	11,6
A15	Lambari, MG - inv. 2017	1527123,8*	257055,4	2278,9	22,2
A16	Patos de Minas, MG - inv. 2017	1058297,1*	54337,9	1814,0	12,8
A17	Lavras, MG - águas 2017	821875,7*	46770,8	1725,6	12,5
A18	Lambari, MG - águas 2017	394661,7*	150367,9	1819,8	21,3
A19	Patos de Minas, MG - águas 2017	781766,8*	311601,7	3046,1	18,3
A20	Lavras, MG - seca 2018	356784,1*	77815,5	1395,4	20,0
A21	Lambari, MG - seca 2018	144602,7 ^{ns}	156546,5	2020,5	19,6
A22	Patos de Minas, MG - seca 2018	187389,9 ^{ns}	100360,1	2470,0	12,8

Continua...

Ambiente	Descrição - local, safra, ano	QMgenótipo	QMerro	Média	CV(%)
A23	Coimbra, MG – seca 2016	291851,8 ^{ns}	164239,2	2864,0	14,1
A24	Viçosa, MG - inv. 2016	1438447,4*	224670,9	3196,3	14,8
A25	Coimbra, MG - inv. 2016	387235,3*	32584,3	2813,0	6,4
A26	Oratórios, MG - inv. 2016	846373,7*	191227,1	2799,4	15,6
A27	Florestal, MG - inv. 2016	596395,4*	177253,4	1762,3	23,9
A28	Viçosa, MG - seca 2017	170988,0 ^{ns}	112293,5	2515,6	13,3
A29	Coimbra, MG - seca 2017	455311,8*	113817,4	2246,0	15,0
A30	Florestal, MG - seca 2017	1541933,0*	316545,0	2770,3	20,3
A31	Coimbra, MG - inv. 2017	747708,9*	171339,8	4045,3	10,2
A32	Oratórios, MG - inv. 2017	635156,7*	176253,9	2363,0	17,7
A33	Sto. A. de Goiás, GO - inv. 2016	911196,6*	126915,1	2072,6	17,2
A34	Sooretama, ES - inv. 2016	375633,1*	114190,0	2545,0	13,3
A35	Ponta Grossa, PR - águas 2016	957359,7*	178191,0	2615,8	16,1
A36	Ponta Grossa, PR - seca 2017	402990,9*	168089,3	1548,5	26,5
A37	Cáceres, MT - inv. 2017	83352,4*	36676,0	987,2	19,4
A38	Brasília, DF - inv. 2017	462864,1*	186060,5	1918,3	22,5
A39	Sete Lagoas, MG - águas 2017	1097469,4*	235974,7	2287,1	21,2
A40	Brasília, DF - águas 2017	1258446,3*	127629,8	3392,1	10,5
A41	Linhares, ES - águas 2017	33050,3*	4395,3	916,6	7,2
A42	Ponta Grossa, PR - águas 2017	446372,4*	45532,2	1786,2	11,9

^{ns} Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 15 genótipos de feijão avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

FV	GL	SQ	QM
Blocos/Ambientes	84	54334961,6	646844,8
Genótipo (G)	14	114513930,4	8179566,4*
Ambiente (A)	41	855009234,8	20853883,8*
G x A	574	291485790,0	507814,9*
Resíduo	1176	199843856,7	169935,2
Média (kg ha ⁻¹)	2354,7		
CV (%)	17,5		

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Ao decompor a interação GxA foi observado a presença predominante de interações do tipo complexa, que mostra a tendência dos melhores genótipos em um determinado ambiente não serem os melhores em outro, dificultando a prática de seleção e recomendação. Sendo assim, justifica-se o uso da metodologia bayesiana probabilística para a recomendação mais segura de cultivares.

Foram propostos dois modelos bayesianos para o conjunto de dados de feijão, conforme especificações na Tabela 1. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo M2 (com desvio padrão heterogêneo), devido ao seu menor valor de WAIC2. Além disso, também foi o que melhor assemelhou os dados observados dos dados gerados (Figura 1). Ambos os modelos apresentaram estatística \hat{R} próxima de 1 e p-valores próximos de 0,5.

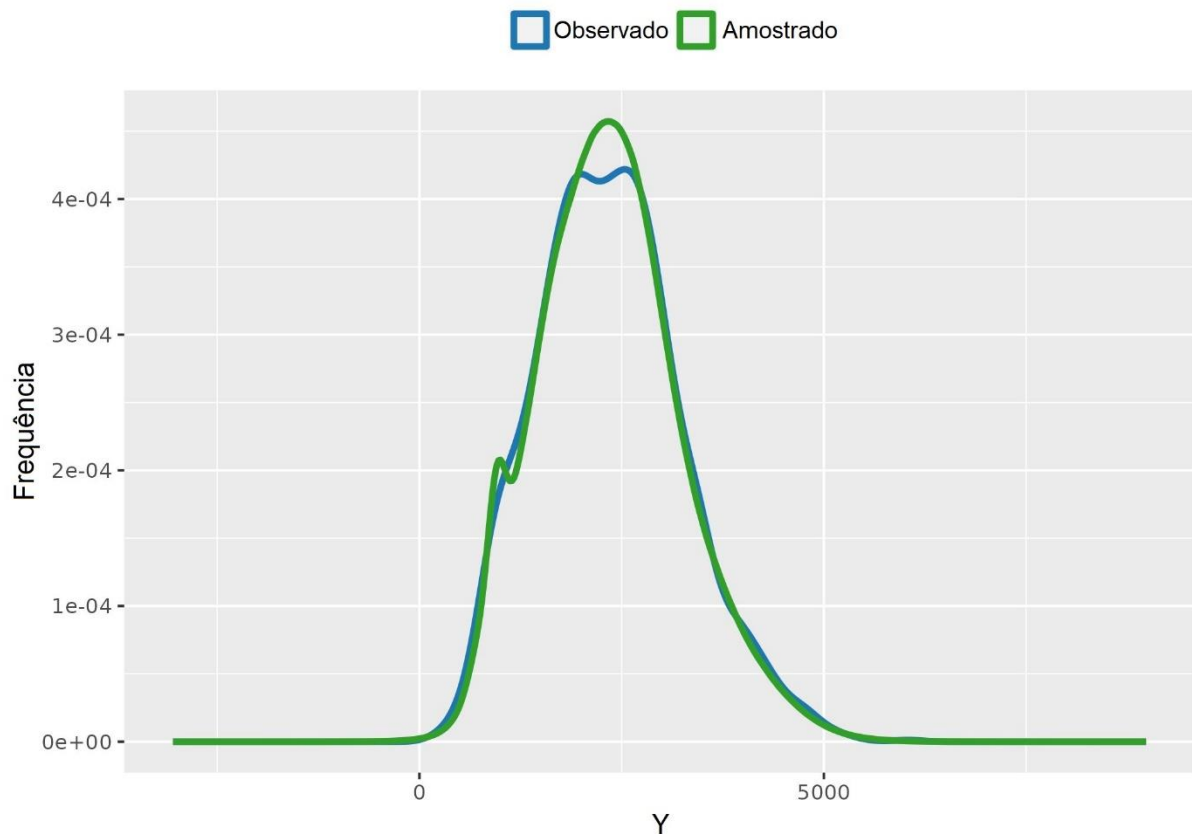


Figura 1. Distribuição Bayesiana dos dados observados e amostrados, referente a produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

A partir do modelo selecionado e de uma intensidade de seleção de 30%, algumas probabilidades foram calculadas visando a recomendação de cultivares, como evidenciado nas Figuras de 2 a 6. Quanto à probabilidade marginal de desempenho superior (Figura 2), percebe-se um ordenamento decrescente do comportamento produtivo dos genótipos, com destaque para o genótipo G01 que apresentou melhor desempenho em relação aos demais. Os genótipos G01, G14, G07, G11 e G02 estão entre os mais prováveis a pertencer ao subconjunto de 30%

de genótipos superiores. Os genótipos G01, G07, G11 e G14 também apresentaram os maiores valores genotípicos pela metodologia de Eberhart e Russell (Figura S3), AMMI (Figura S4) e GGE biplot (Figura S5).

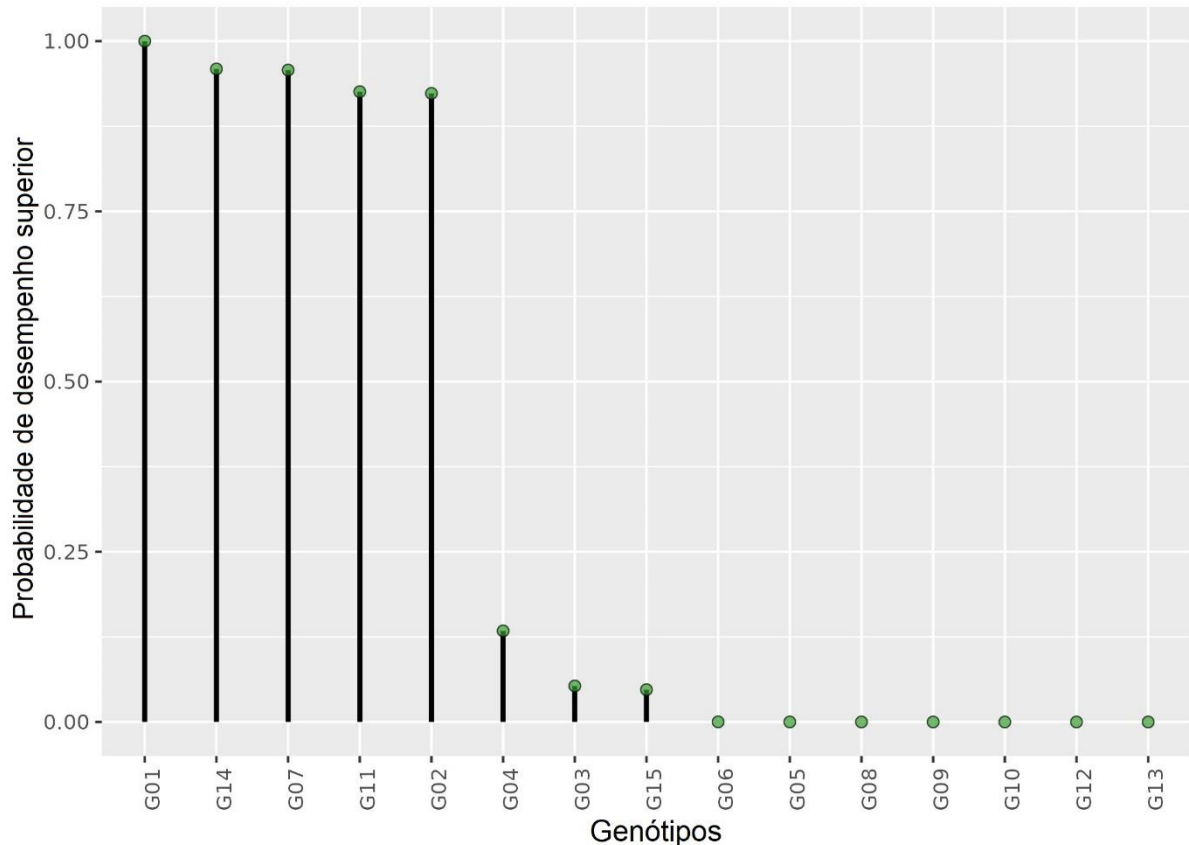


Figura 2. Probabilidade marginal de desempenho superior para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

A probabilidade de desempenho também pode ser explorada par a par, como evidenciado no mapa de calor da Figura 3. Este permite comparações entre todas as combinações possíveis, inclusive de uma linhagem superar uma testemunha. Como exemplo temos a linhagem G10 com probabilidade muito pequena (0,05) de superar a cultivar testemunha G12, representada em tom azul escuro no mapa. Em contrapartida, G01 apresenta altíssimas probabilidades de superar quaisquer genótipos, incluindo as testemunhas.

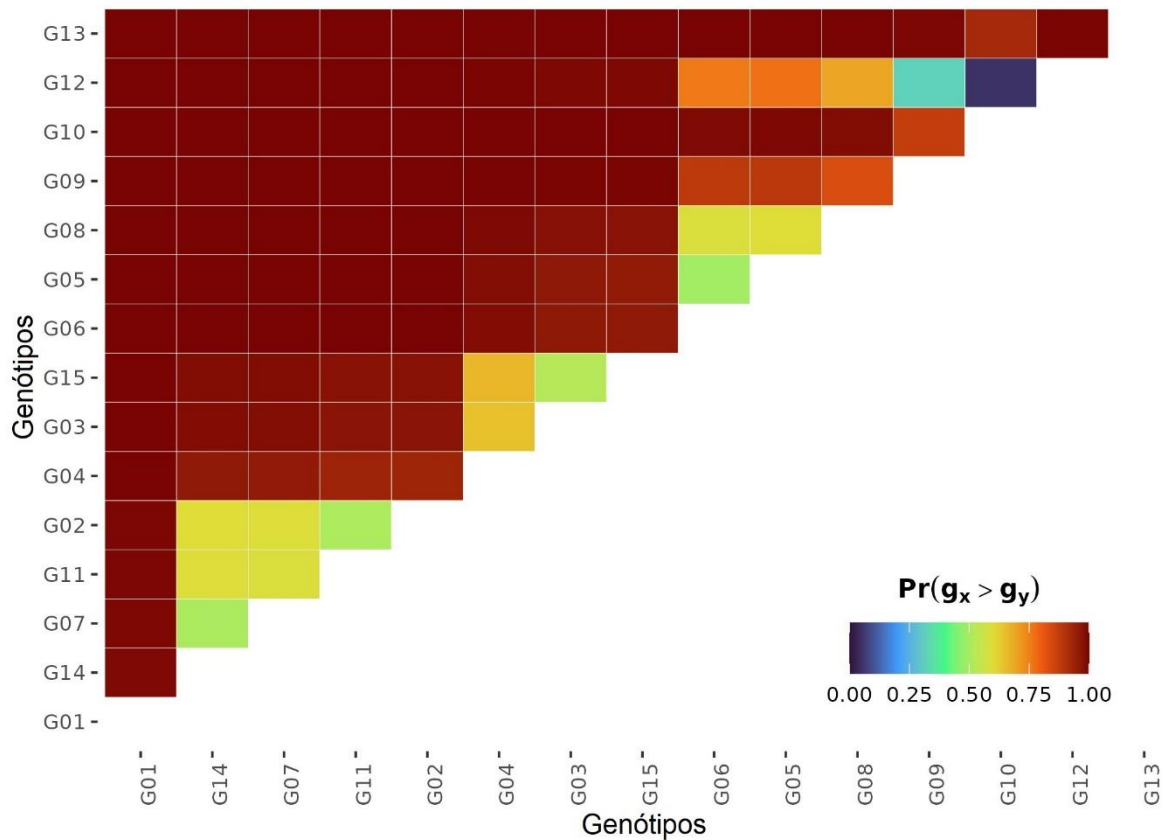


Figura 3. Probabilidade par a par de desempenho superior para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) entre 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Com base no desempenho dos genótipos em cada ambiente é possível observar que G01, adaptado a maioria dos ambientes, pode falhar em A10, A28 e A36, o qual pode ser substituído por outros genótipos que apresentem desempenhos superiores nessas condições (Figura 4). Para o ambiente A10 pode-se recomendar os genótipos G02, G07 e G11.

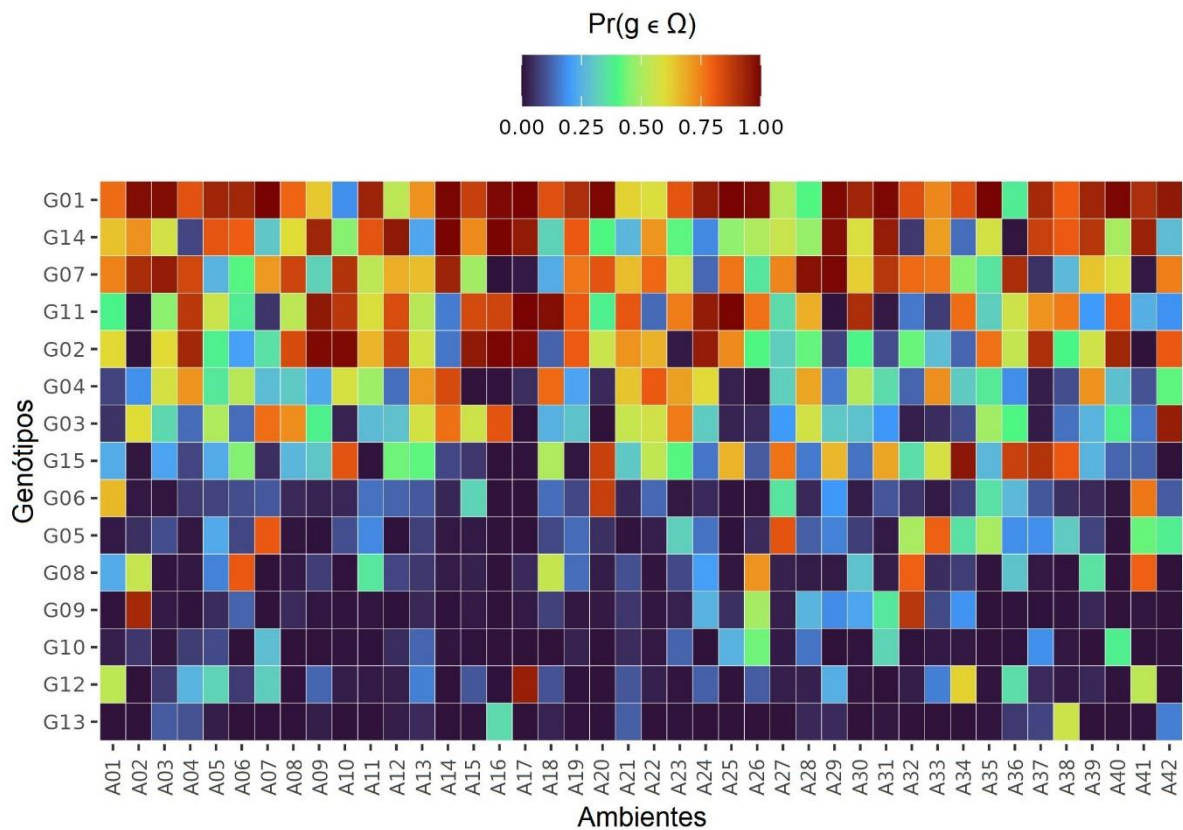


Figura 4. Probabilidade de desempenho superior para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados dentro de 42 ambientes (A01 – A42), referentes aos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Os genótipos também foram classificados quanto à estabilidade de produção (Figura 5), mostrando um ordenamento discrepante ao observado na probabilidade de desempenho marginal. Porém, o G07 se manteve entre os 5 selecionados em ambos os parâmetros, classificado como o terceiro mais produtivo e o segundo mais estável. Além deste genótipo, G14, G01, G11 e G04 destacaram-se quanto a probabilidade conjunta de desempenho e estabilidade (Figura 6). Comparando a estabilidade dos genótipos pelos métodos empregados neste trabalho, G06 e G07 foram classificados entre os genótipos mais estáveis pela probabilidade de estabilidade superior (Figura 5) e pelos modelos clássicos de Eberhart e Russell (Figuras S2 e S3), Shukla (Tabela S3), AMMI (Figura S4) e GGE biplot (Figura S5).

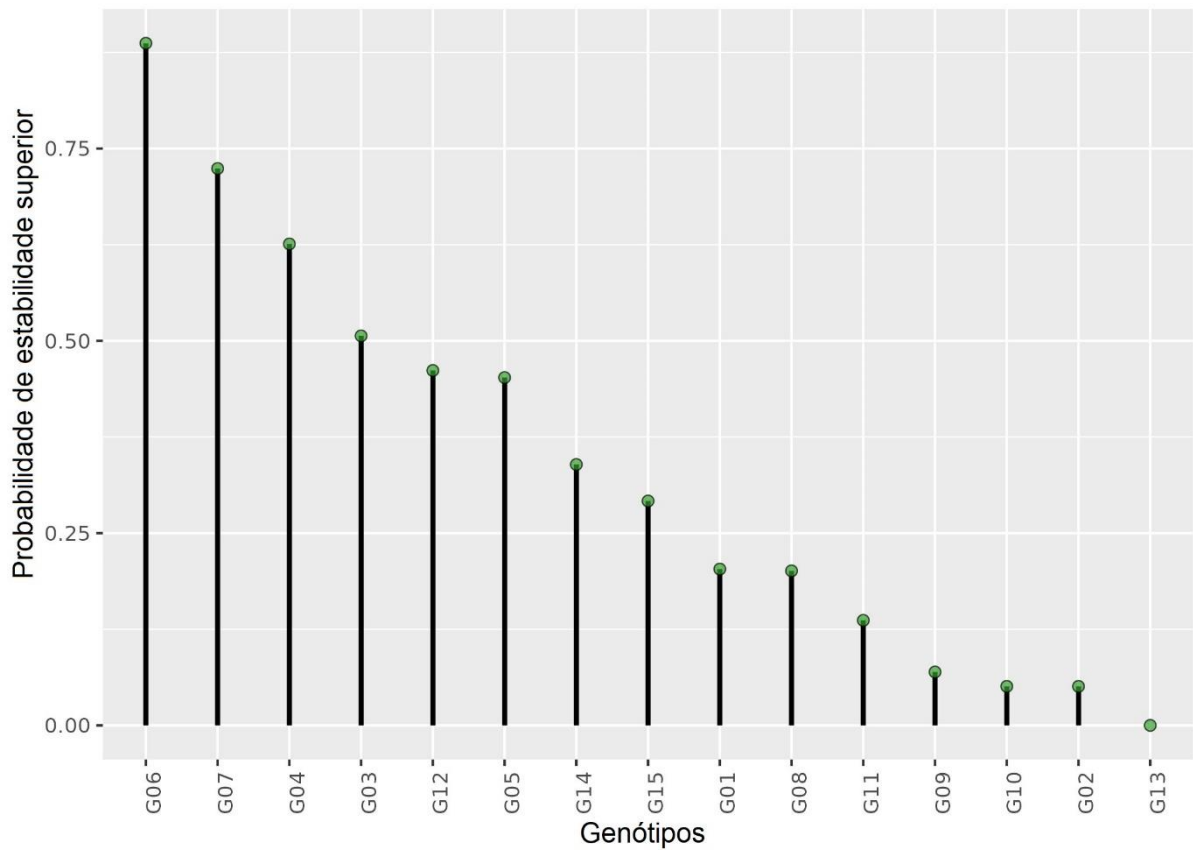


Figura 5. Probabilidade de estabilidade superior para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

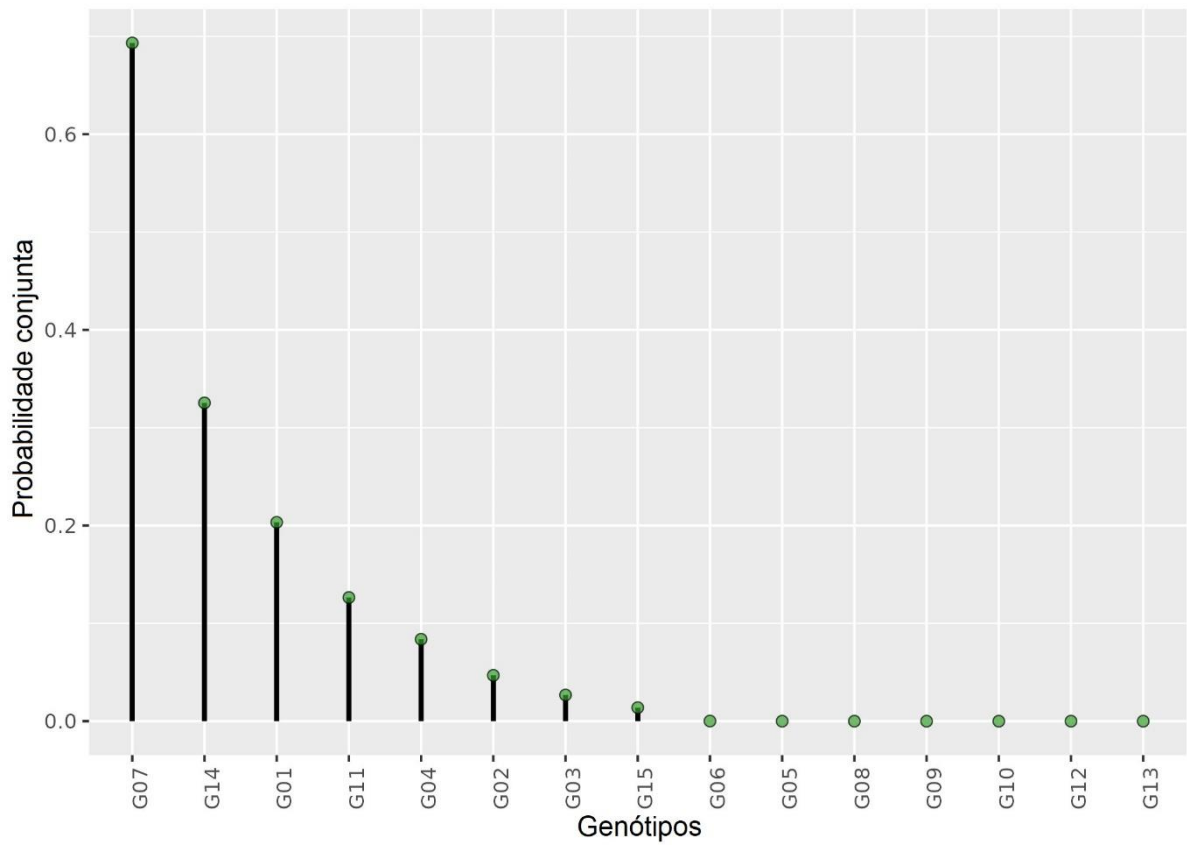


Figura 6. Probabilidade conjunta de desempenho superior e estabilidade para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

4. Discussão

A média produtiva dos genótipos (Tabela 3) alcançou um quantitativo maior do que a média nacional (1090 kg ha^{-1}), mas aquém ao potencial que possuem. O comportamento dos genótipos no ambiente 31 exemplifica como genótipos podem se desenvolver melhor em um ambiente específico, atingindo valores máximos de produtividade (Tabela 2). Isso nos leva a pensar que a indicação de plantio possa ocorrer de maneira mais direcionada, indo ao contrário do que recomenda os órgãos regulamentadores, e que implicaria em uma recomendação mais assertiva.

A abordagem bayesiana probabilística de Dias et al. (2022) traz uma junção de várias metodologias utilizadas no estudo da interação GxA, fazendo analogia a diversos métodos para propor suas probabilidades de desempenho. Os modelos propostos por ela, trata a incerteza de cada parâmetro e a escolha por um deles tem relação com sua superioridade, podendo o ajuste obtido com o desvio padrão heterogêneo (WAIC2 = 29015,1) ser melhor do que o encontrado com o desvio padrão homogêneo (WAIC2 = 29340,3), como no presente trabalho. Em Przystalski e Lenartowicz (2023) os valores obtidos para o WAIC2 foram estatisticamente iguais em ambos modelos propostos, ficando a escolha por um deles condicionada a simplicidade de execução.

O desempenho máximo atingido por G01 (Figura 2) confirma a sua superioridade em Minas Gerais, como esperado, visto que esta é uma cultivar comercial com desempenho ótimo em outros 19 estados (Souza et al., 2019). No mesmo subconjunto de genótipos superiores encontra-se a testemunha G14 e as linhagens G07, G11 e G02, que apresentam potencial para recomendação junto a G01 que terá sua recomendação estendida para Minas Gerais.

A probabilidade par a par de desempenho superior (Figura 3) se faz muito importante nas fases finais de um programa de melhoramento, pois antecede a recomendação e possibilita identificar um ou mais genótipos com desempenho superior às cultivares lançadas no mercado. Nesse trabalho, o G01 apresentou altíssimas probabilidades de superar todas as testemunhas, o que mostra seu potencial para recomendação nas regiões avaliadas. O genótipo de segundo melhor desempenho, a testemunha G14, que tem probabilidade superior a 0,96 de superar a maioria dos genótipos, com exceção de G01, G07, G11 e G02, de probabilidades de 0,008, 0,50, 0,59 e 0,60, respectivamente, tem a possibilidade de ser superado por

essas exceções, principalmente por G01 ($\Pr(G01>G14)=0,99$). Essa probabilidade par a par faz analogia ao modelo Plackett-Luce, atribuído conjuntamente a Plackett (1975) e Luce (1959), que realizaram classificações em termo de ordenação, com o auxílio do axioma de Luce que rege as probabilidades de escolha (Guiver, Snelson, 2009).

No intuito de observar conjuntamente a adaptabilidade e a estabilidade de genótipos, a probabilidade de desempenho superior em cada ambiente é ideal (Figura 4). Com ela é possível analisar o padrão de comportamento dos genótipos ao longo dos ambientes (performance), evidenciando sua probabilidade de êxito e de fracasso (plasticidade), e verificar a estabilidade a partir da invariância ou pouca variância dos genótipos nos ambientes. Para complementar a inferência sobre a estabilidade, a probabilidade de estabilidade superior faz-se necessária (Figura 5), pela qual nota-se genótipos estáveis com pouco desempenho produtivo, e também o contrário, genótipos instáveis altamente produtivos, como afirmando por Cruz, Regazzi e Carneiro (2012). A medida de variância usada para cálculos de estabilidade na metodologia bayesiana é semelhante ao método proposto por Shukla (1972), mas poderia perfeitamente ter se utilizado outro método.

Os genótipos estáveis com alta produtividade (Figura 6) atendem às características almejadas pelo melhorista em uma cultivar, além de diminuir o risco de falha com a recomendação. O risco de falha é uma preocupação da grande maioria dos agricultores, que transfere aos melhoristas a missão de controlá-la. Em 1990, Eskridge propôs um índice de cuidado para quantificar o risco de insucesso de cultivares, o qual se assemelha à probabilidade conjunta de desempenho superior e estabilidade de Dias et al. (2022), uma vez que os dois trabalham com desempenho médio e variância de estabilidade. O trabalho de Dias et al. (2022) comparou a própria estratégia com a de Eskridge (1990), utilizando um conjunto de dados de milho, chegando à conclusão de que os métodos são concordantes, mas com as vantagens da sua metodologia apresentar informações probabilísticas e realizar perguntas adicionais de interesse prático para recomendação de cultivares.

5. Conclusão

As probabilidades propostas por Dias et al. (2022) possibilitam identificar genótipos estáveis com adaptabilidade ampla ou específica a algum ambiente pretendido, culminando em uma recomendação de cultivares mais assertiva. E partindo do pressuposto que a recomendação de feijão é realizada por estado, os genótipos G07, G14, G01, G11 e G04, pertencentes ao subconjunto de genótipos superiores quanto a probabilidade conjunta de desempenho e estabilidade, apresentam maior chance de sucesso, estando no rank top 5 dos mais aptos para recomendação.

6. Referências

- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 46, p. 269-278, 1992.
- CARNEIRO, V. Q.; PRADO, A. L. D.; CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; NASCIMENTO, M.; CARNEIRO, J. E. S. Fuzzy control systems for decision-making in cultivars recommendation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, p. 1807-8621, 2018.
- CHAVES, S. F. S.; KRAUSE, M. D.; DIAS, L. A. S.; GARCIA, A. A. F.; DIAS, K. O. G. ProbBreed: A novel tool for calculating the risk of cultivar recommendation in multi-environment trials. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, jkae013, 2024.
- COTES, J. M.; CROSSA, J.; SANCHES, A.; CORNELIUS, P. L. A Bayesian approach for assessing the stability of genotypes. **Crop Science**, v. 46, n. 6, p. 2654-2665, 2006.
- CROSSA, J. From genotype x environment interaction to gene by environment interaction. **Currente Genomics**, v. 13, n. 3, p. 225-244, 2012.
- CROSSA, J.; PEREZ-ELIZALDE, S.; JARQUIN, D.; COTES, J. M.; VIELE, K.; LIU, G.; CORNELIUS, P. L. Bayesian estimation of the additive main effects and multiplicative interaction model. **Crop Science**, v. 51, n. 4, p. 1458-1469, 2011.
- CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Ceres**, v. 38, n. 219, 422-430, 1991.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, v. 1, n. 4, p. 110-178, 2012.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Brazilian Journal of Genetics**, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.
- DIAS, K. O. G.; GEZAN, S. A.; GUIMARÃES, C. T.; PARENTONI, S. N.; GUIMARÃES, P. E. O.; CARNEIRO, N. P.; PORTUGAL, A. F.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANONI, C. O.; MAGALHÃES, J. V.; SOUZA, J. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M. Estimating genotype × environment interaction for and genetic correlations among drought tolerance traits in maize via factor analytic multiplicative mixed models. **Crop Science**, v. 58, n. 1, p. 72-83, 2018.
- DIAS, K. O. G.; SANTOS, J. P. R.; KRAUSE, M. D.; PIEPHO, H. -P.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; GARCIA, A. A. F. Leveraging probability concepts for cultivar recommendation in multi-environment trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 135, n. 4, p. 1385-1399, 2022.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A.. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

ESKRIDGE, K. M. Selection of stable cultivars using a safety-first rule. **Crop Science**, v. 30, n. 2, p. 369-374, 1990.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Production: **Crops and livestock products**. 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 31 de janeiro de 2024.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 6, p. 742-754, 1963.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 1, p. 1-10, 1988.

GUIVER, J.; SNELSON, E. Bayesian inference for Plackett-Luce ranking models. **In proceedings of the 26th annual international conference on machine learning**. p. 377-384, 2009. ACM Digital Library.

JOSSE, J.; VAN EEUWIJK, F. A.; PIEPHO, H. -P.; DENIS, J. -B. Another look at Bayesian analysis of AMMI models for genotype-environment data. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, v. 19, n. 2, p. 240-257, 2014.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: A new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 3, p. 425-430, 1988.

LUCE, R. D. **Individual choice behavior: A theoretical analysis**. Wiley. 1959.

MALOSETTI, M.; RIBAUT, J. -M.; VAN EEUWIJK, F. A. The statistical analysis of multi-environment data: Modeling genotype by environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in Physiology**, v. 4, p. 1-17, 2013.

MELO, G. G.; SANTOS, P. R.; GONÇALVES, R. J. S.; NASCIMENTO, M. R.; COSTA, A. F.; SILVA, J. W. Adaptability and stability of carioca bean pre-cultivars in Agreste-Sertão Pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 3, 2022.

PIEPHO, H. -P. Analyzing genotype-environment data by mixed models with multiplicative terms. **Biometrics**, v. 53, n. 2, p. 761-766, 1997.

PIEPHO, H. P.; MÖHRING, J.; MELCHINGER, A. E.; BÜCHSE, A. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, v. 161, n. 1, p. 209-228, 2008.

PLACKETT, R. L. The analysis of permutations. **Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics**, v. 24, n. 2, p. 193-202, 1975.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, v. 36, p. 381-385, 1959.

PRZYSTALSKI, M.; LENARTOWICZ, T. Organic system vs. conventional – a Bayesian analysis of Polish potato post-registration trials. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, n. 1, p. 97-108, 2023.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2023.

SINGH, S. P.; SCHWARTZ, H. F. Breeding common bean for resistance to diseases: a review. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2199-2223, 2010.

SHUKLA, G. K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. **Heredity**, v. 29, n. 2, p. 237-245, 1972.

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. 8, p. 1-19, 2018.

SMITH, A. B.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. Analyzing variety by environment data using multiplicative mixed models and adjustments for spatial field trend. **Biometrics**, v. 57, n. 4, p. 1138-1147, 2001.

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, n. 6, p. 449-462, 2005.

SOUZA, T. L. P. O.; PEREIRA, H. S.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; WENDLAND, A.; DÍAZ, J. L. C.; MAGALDI, M. C. S.; AGUIAR, M. S.; CARVALHO, H. W. L.; SOUZA FILHO, B. F.; MELO, C. L. P.; COSTA, A. F.; ALMEIDA, V. M.; POSSE, S. C. P.; MELO, L. C. BRS FP403: high-yielding black-seeded common bean cultivar with superior grain quality and moderate resistance to fusarium wilt. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 2, p. 240-244, 2019.

TOLER, J. E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays**. [Thesis (Ph.D.), Clemson University]. Clemson University, South Carolina, USA, 1990.

VAN EEUWIJK, F. A.; BUSTOS-KORTS, D.; MALOSETTI, M. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype x environment interactions? **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2119-2140, 2016.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 53, n. 2, p. 89-91, 1978.

WRICKE, G. Zur berechnung der ökovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzuchtung**, v. 52, n. 2, p. 127-138, 1965.

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.

7. Material Suplementar

O material suplementar é dividido nas duas seções a seguir:

7.1. Figuras e tabelas suplementares;

7.2. Resultados (figuras e tabelas) dos modelos clássicos frequentemente usados para estudar GxA.

7.2.1. Eberhart e Russel (Eberhart, Russell, 1966)

7.2.2. Shukla (Shukla, 1972)

7.2.3. AMMI (Gauch, 2013)

7.2.4. GGE biplot (Yan et al., 2000)

7.2.5. Referências

*Os resultados foram computados com o pacote metan (Olivoto, Lúcio, 2020) no ambiente de programação R (R Core Team, 2023).

7.1. Figuras e tabelas suplementares:

Tabela S1. Descrição dos 42 ambientes (A01 – A42) com suas respectivas latitudes, longitudes, altitudes (m), classificações de solo, médias anuais de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), e precipitações anuais (mm), referentes aos ensaios de VCU de feijão – 2016 a 2018.

Ambiente	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Classificação de solo	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitação (mm)
A01	21°12'05"S	44°58'48"W	951	AVAe	20,6	1383,4
A02	18°32'20"S	46°27'31"W	875	LVd	21,5	1464,2
A03	21°12'05"S	44°58'48"W	951	AVAe	20,6	1383,4
A04	21°56'18"S	45°18'23"W	880	AVd	18,7	1654,3
A05	18°32'20"S	46°27'31"W	875	LVd	21,5	1464,2
A06	19°28'00"S	44°10'25"W	731	LVd	21,5	1334,8
A07	19°28'00"S	44°10'25"W	731	LVd	21,6	1334,9
A08	21°12'05"S	44°58'48"W	951	AVAe	20,6	1383,4
A09	21°56'18"S	45°18'23"W	880	AVd	18,7	1654,3
A10	18°32'20"S	46°27'31"W	875	AVd	21,5	1464,2
A11	19°28'00"S	44°10'25"W	731	AVd	21,5	1334,8
A12	21°12'05"S	44°58'48"W	951	AVAe	20,6	1383,4
A13	21°56'18"S	45°18'23"W	880	AVd	18,7	1654,3
A14	18°32'20"S	46°27'31"W	875	LVd	21,5	1464,2
A15	21°56'18"S	45°18'23"W	880	AVd	18,7	1654,3
A16	18°32'20"S	46°27'31"W	875	LVd	21,5	1464,2
A17	21°12'05"S	44°58'48"W	951	AVAe	20,6	1383,4

Continua...

Ambiente	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Classificação de solo	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
A18	21°56'18"S	45°18'23"W	880	AVd	18,7	1654,3
A19	18°32'20"S	46°27'31"W	875	LVd	21,5	1464,2
A20	21°12'05"S	44°58'48"W	951	AVAe	20,6	1383,4
A21	21°56'18"S	45°18'23"W	880	AVd	18,7	1654,3
A22	18°32'20"S	46°27'31"W	875	LVd	21,5	1464,2
A23	20°49'43"S	42°45'54"W	714	LVAAd	20,2	1261,6
A24	20°45'45"S	42°49'27"W	670	LVAAd	20,2	1261,6
A25	20°49'43"S	42°45'54"W	714	LVAAd	20,2	1261,6
A26	20°24'09"S	42°48'58"W	470	LVAAd	20,2	1261,6
A27	19°52'37"S	44°24'51"W	746	AVAe	20,3	1393,4
A28	20°45'45"S	42°49'27"W	670	LVAAd	20,2	1261,6
A29	20°49'43"S	42°45'54"W	714	LVAAd	20,2	1261,6
A30	19°52'37"S	44°24'51"W	746	AVAe	20,3	1393,4
A31	20°49'43"S	42°45'54"W	714	LVAAd	20,2	1261,6
A32	20°24'09"S	42°48'58"W	470	LVAAd	20,2	1261,6
A33	16°29'52"S	49°17'45"W	803	LVd	22,5	1461,0
A34	19°13'26"S	40°03'51"W	46	AA	24,2	1257,6
A35	25°09'30"S	50°04'30"W	882	LVd	17,8	1554,0
A36	25°09'30"S	50°04'30"W	882	LVd	17,8	1554,0
A37	16°09'05"S	57°37'51"W	157	LVAAd	25,7	1270,7
A38	15°54'16"S	48°00'45"W	1090	LV	21,4	1478,8
A39	19°28'00"S	44°10'25"W	731	LVd	21,5	1334,8
A40	15°54'16"S	48°00'45"W	1090	LV	21,4	1478,8
A41	19°25'02"S	40°04'44"W	18	AA	24,0	1267,2
A42	25°09'30"S	50°04'30"W	882	LVd	17,8	1554,0

AA, Argissolo Amarelo; AVd, Argissolo Vermelho distrófico; AVAe, Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico; LV, Latossolo Vermelho; LVd, Latossolo Vermelho distrófico; LVAAd, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

Tabela S2. Descrição dos locais e seus respectivos experimentos, referentes aos ensaios de VCU de feijão – 2016 a 2018.

SIGLA	LOCAL	2016			2017			2018
		Águas	Seca	Inverno	Águas	Seca	Inverno	Seca
Lav	Lavras – MG	A08	A01	A03	A17	A12		A20
Pat	Patos de Minas – MG	A10	A02	A05	A19	A14	A16	A22
Lam	Lambari – MG	A09		A04	A18	A13	A15	A21
SL	Sete Lagoas – MG	A11		A06-A07†	A39			
Coi	Coimbra – MG		A23	A25		A29	A31	
Ora	Oratórios – MG			A26			A32	
Flo	Florestal – MG			A27		A30		

Continua...

SIGLA	LOCAL	2016			2017			2018
		Águas	Seca	Inverno	Águas	Seca	Inverno	Seca
Vic	Viçosa – MG			A24		A28		
Sag	Sto. A. Goiás – GO			A33				
Soo	Sooretama – ES			A34				
Pon	Ponta Grossa – PR	A35			A42	A36		
Lin	Linhares – ES				A41			
Cac	Cáceres – MT						A37	
Bra	Brasília – DF				A40		A38	

† Sete Lagoas (SL) – MG conduziu dois experimentos em datas diferentes na safra de inverno de 2016. MG, Minas Gerais; GO, Goiás; ES, Espírito Santo; PR, Paraná; MT, Mato Grosso; DF, Distrito Federal.

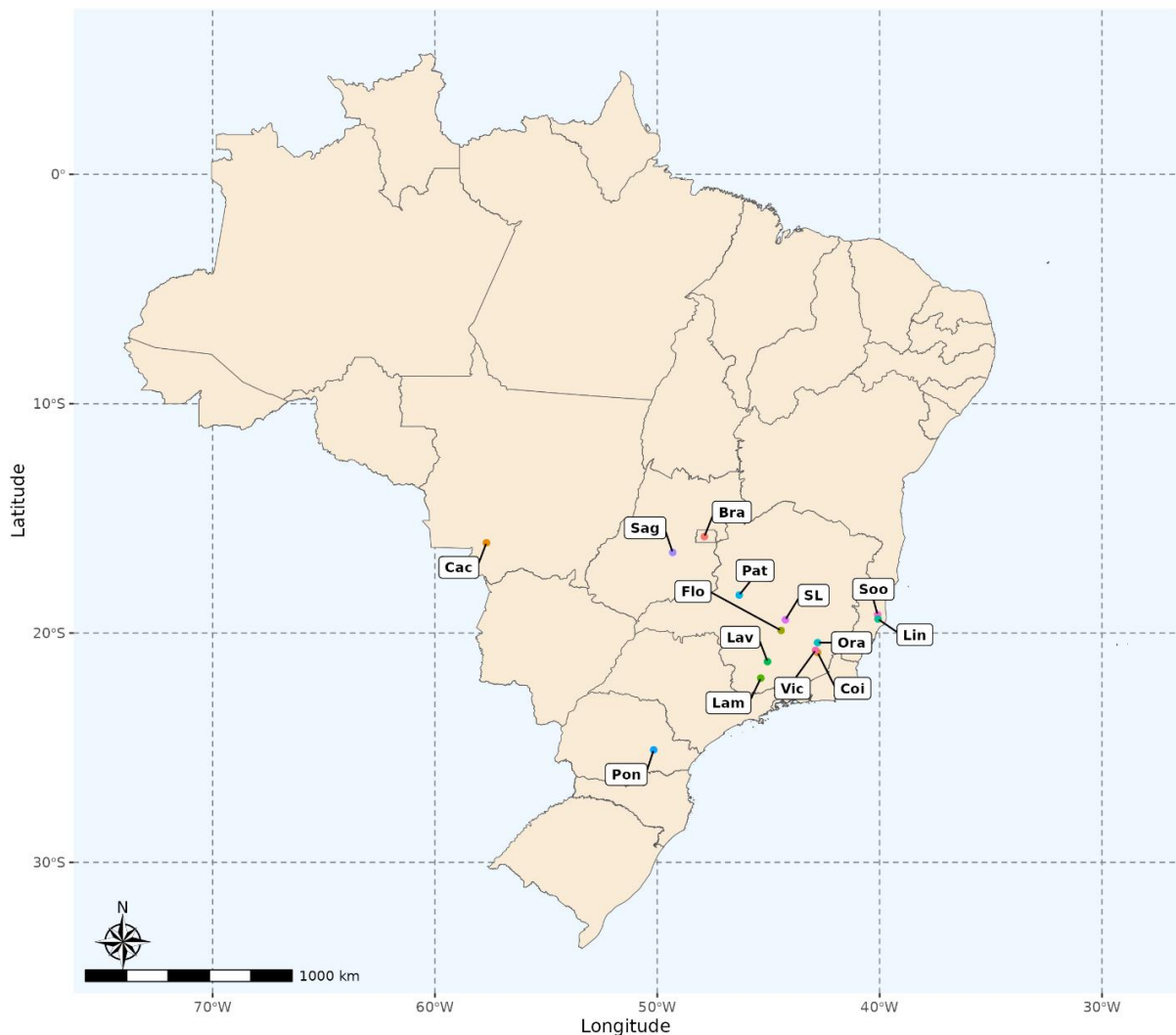


Figura S1. Distribuição geográfica das localidades experimentais referentes aos ensaios de VCU de feijão – 2016 a 2018. Lav, Lavras; Pat, Patos de Minas; Lam, Lambari; SL, Sete Lagoas; Coi, Coimbra; Ora, Oratórios; Flo, Florestal; Vic, Viçosa; Sag, Sto. Antônio de Goiás; Soo, Sooretama; Pon, Ponta Grossa; Lin, Linhares; Cac, Cáceres; Bra, Brasília.

7.2. Resultados (figuras e tabelas) dos modelos clássicos frequentemente usados para estudar a interação GxA

Para comparar os resultados do modelo probabilístico bayesiano, analisamos o conjunto de dados do feijão-comum com os seguintes modelos:

7.2.1. Eberhart e Russell (Eberhart, Russell, 1966)

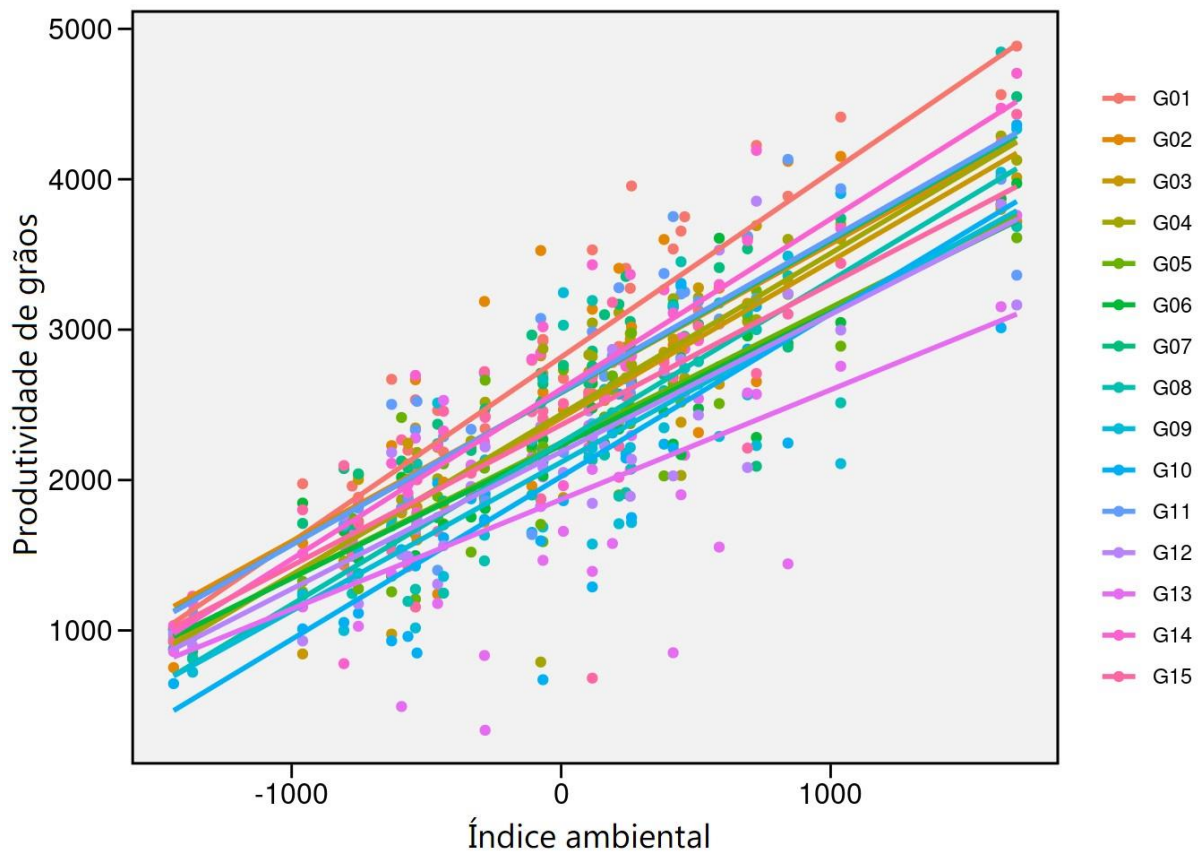


Figura S2. Retas ajustadas da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15), em resposta às variações ambientais, conforme o método de Eberhart e Russell.

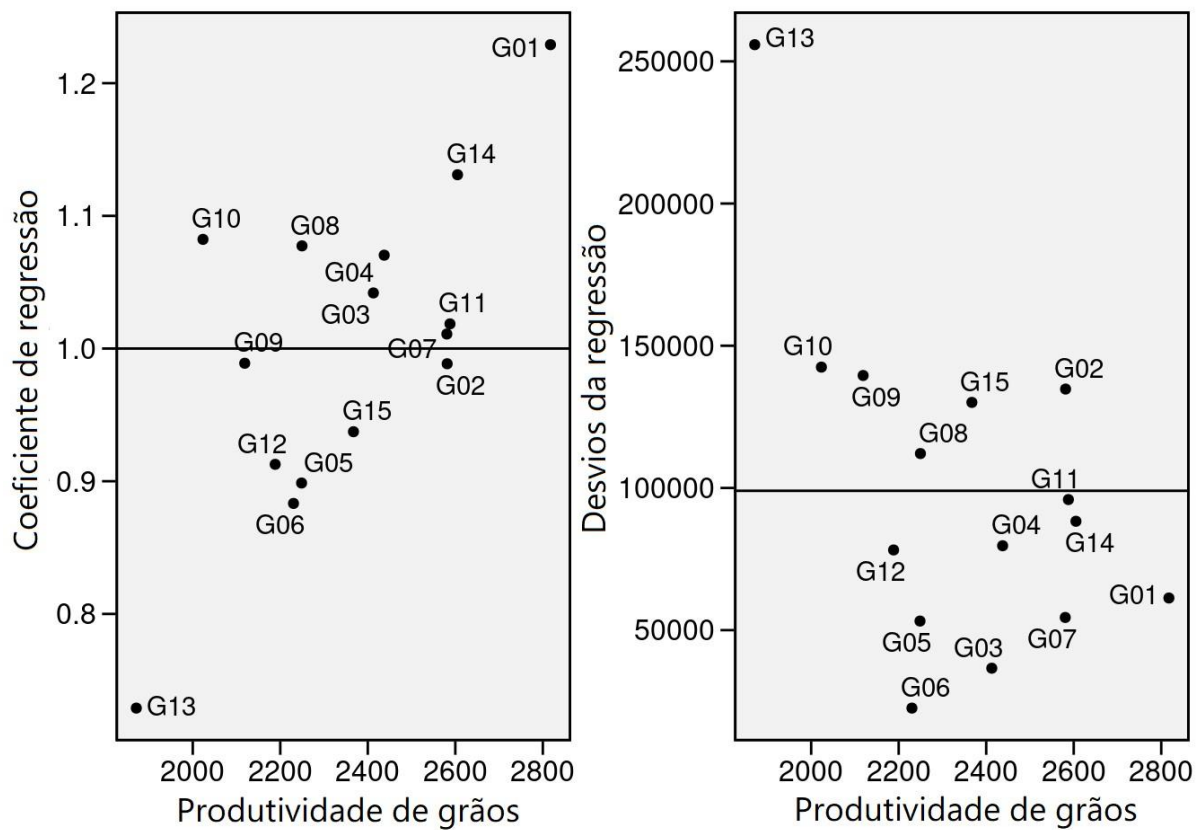


Figura S3. Comportamento dos 15 genótipos de feijão (G01 – G15) quanto a adaptabilidade e estabilidade baseada em análise de regressão para produtividade de grãos (kg ha⁻¹), referente aos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

7.2.2. Shukla (Shukla, 1972)

Tabela S3. Parâmetro de variância de estabilidade de Shukla (ShuklaVar) para genótipos (GEN), onde Y é a produtividade média entre ambientes em kg ha⁻¹, rMean a classificação quanto à média, rShuklaVar a classificação quanto à variância e ssiShuklaVar o índice de seleção simultânea (rMean + rShuklaVar), referentes aos ensaios de VCU de feijão – 2016 a 2018.

GEN	Y	ShuklaVar	rMean	rShuklaVar	ssiShuklaVar
G06	2230	83458	11	1	12
G03	2413	92897	7	2	9
G07	2581	112106	5	3	8
G05	2249	116115	10	4	14
G12	2188	142836	12	5	17
G04	2438	143083	6	6	12
G01	2817	147796	1	7	8
G11	2588	158893	3	8	11
G14	2605	159292	2	9	11
G08	2250	180122	9	10	19
G15	2367	199271	8	11	19
G02	2581	202521	4	12	16
G09	2119	207893	13	13	26
G10	2023	214759	14	14	28
G13	1871	378032	15	15	30

7.2.3. AMMI (Gauch, 2013)

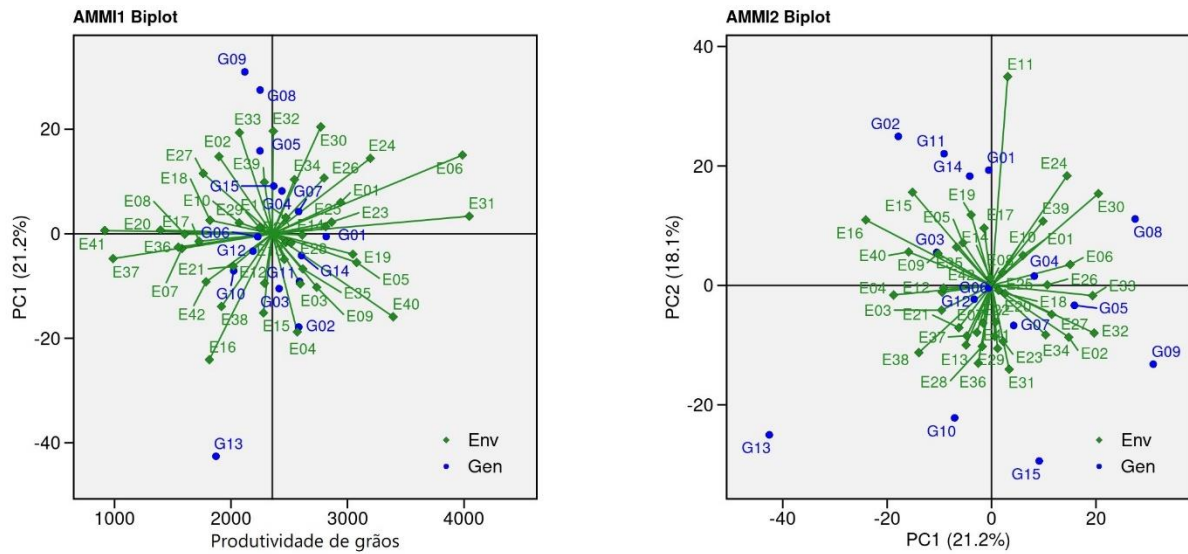


Figura S4. Gráficos do modelo AMMI. (a) Produtividade de grãos vs. primeiro componente principal (PC1); e (b) PC1 vs. PC2, para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados em 42 ambientes (E01 – E42), referentes aos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

7.2.4. GGE biplot (Yan et al., 2000)

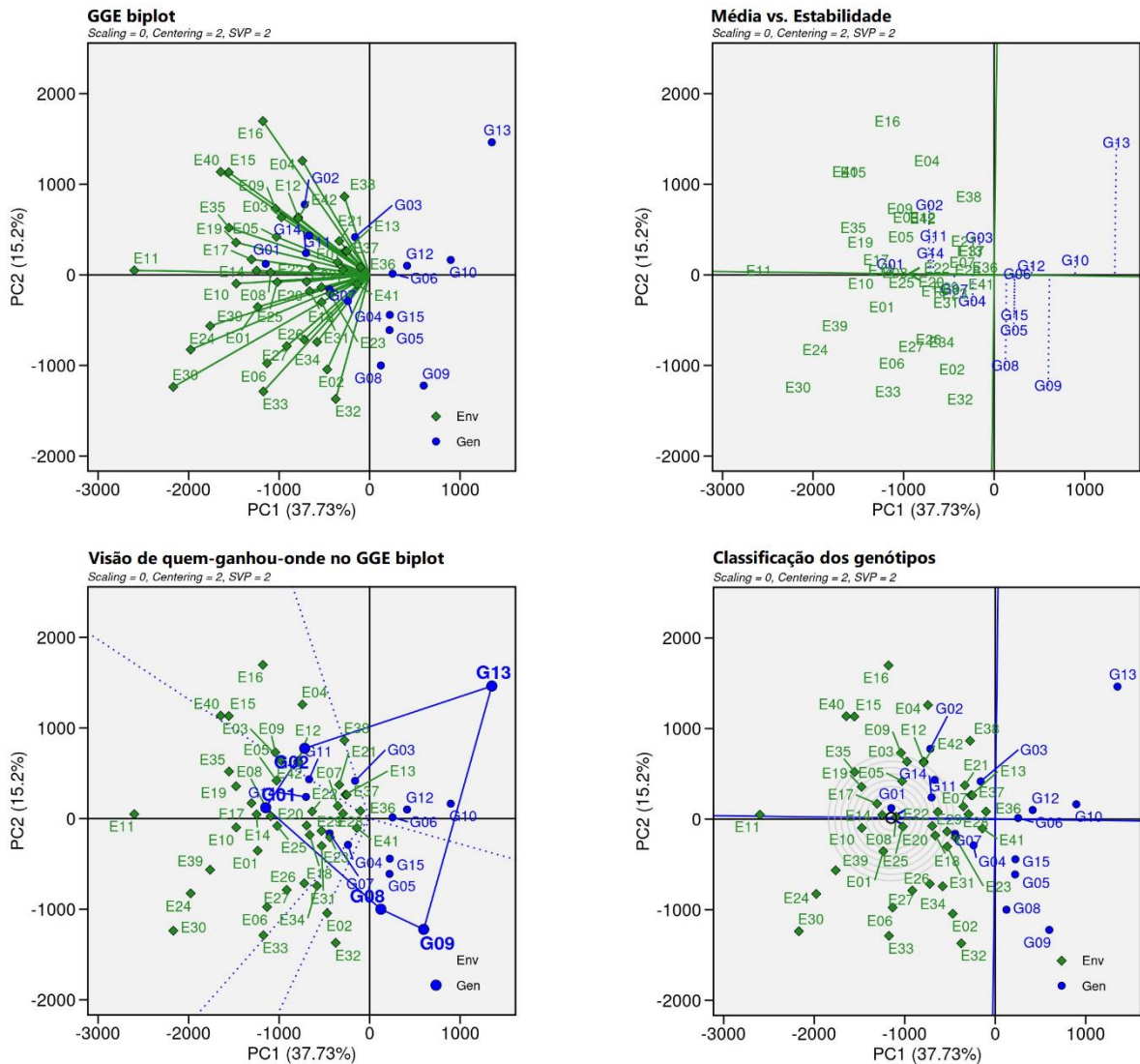


Figura S5. Gráficos do modelo GGE biplot (G + GE). (a) GGE biplot; (b) Média vs. Estabilidade; (c) Visão de quem-ganhou-onde no GGE biplot; e (d) Classificação de genótipos, para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados em 42 ambientes (E01 – E42), referentes aos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

7.2.5. Referências

EBERHART, S. T.; RUSSELL, W. Stability parameters for comparing varieties. **Crop science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

GAUCH, H. G. "A simple protocol for AMMI analysis of yield trials". **Crop science**, v. 53, n. 5, p. 1860-1869, 2013.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783-789, 2020.

R Core Team, R. (2023). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.

SHUKLA, G. K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. **Heredity**, v. 29, p. 237-245, 1972.

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.

CAPÍTULO II

BRSMG MARTE: NOVA CULTIVAR DE FEIJÃO VERMELHO

Resumo

O melhoramento genético de feijão vermelho tornou-se realidade após o consumo desse tipo de grão cair no gosto dos consumidores da Zona da Mata Mineira. Há relatos de cultivo de quatro cultivares de feijão vermelho em Minas Gerais, sendo três delas devidamente registradas. A primeira cultivar de feijão vermelho utilizada pelos produtores, denominada Vermelhinho, trata-se de uma cultivar muito prostrada e de baixa produtividade. Na sequência, outras cultivares melhoradas foram recomendadas no estado de Minas Gerais: Vermelho 2157, Ouro Vermelho e BRSMG Marte. As duas últimas cultivares são as preferidas dos produtores, com a BRSMG Marte ocupando atualmente a maior parte das áreas cultivadas com feijão vermelho. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho da cultivar BRSMG Marte quanto a caracteres agronômicos e de qualidade tecnológica, além da sua caracterização morfológica. A avaliação da BRSMG Marte ocorreu em dois momentos, o primeiro durante o ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) e o segundo em um ensaio comparativo entre a BRSMG Marte e a Ouro Vermelho. Para avaliar o comportamento da BRSMG Marte com base nos ensaios de VCU foram utilizados os dados de produtividade, massa de 100 grãos, arquitetura de planta, acamamento e severidade a doenças, no período de 2016 a 2018, em diferentes safras e locais, totalizando 42 ambientes. O ensaio de VCU contou com 15 genótipos, sendo quatro do grupo comercial vermelho. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao caso, com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas de 0,5 m. Os dados obtidos para produtividade de grãos foram submetidos a análises de variância (ANOVA) individuais e conjunta, e as médias dos genótipos submetidas ao procedimento de comparações múltiplas, pelo teste de Dunnett. No ensaio comparativo da cultivar BRSMG Marte e a Ouro Vermelho foi utilizado também o delineamento em blocos casualizados, com três repetições e parcelas de seis linhas de 4 m. Nesse ensaio foram avaliadas as características morfoagronômicas e de qualidade tecnológica. Os resultados das análises distinguiram a cultivar BRSMG Marte das demais cultivares, concluindo sobre sua superioridade quanto a arquitetura de planta, acamamento, massa de grãos, uniformidade de maturação, precocidade e resistência à mancha-angular.

1. Introdução

As primeiras pesquisas com relação a feijão no Brasil iniciaram-se no ano de 1930, com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a Escola Superior de Agricultura e Veterinária (Esav), hoje denominada Universidade Federal de Viçosa (UFV). Estas instituições realizavam avaliações sobre a capacidade produtiva dos feijões comercializados na época, sendo eles de tamanho pequeno, dos grupos comerciais preto, roxo, amarelo, mulatinho, pardo e outros (Viera, 1996; Voysest, 2000).

A partir de 1970 o padrão de comercialização de grãos de feijão foi reformulado com o lançamento da cultivar “Carioca” pelo IAC (Almeida, 2000). A cultivar Carioca apresenta características particulares, seus grãos possuem tonalidade creme com listras marrons, e sua produtividade muito superior às cultivares até então disponibilizadas, o que propiciou a ampliação da área de cultivo com esse tipo de grão. Desde então, os feijões do grupo carioca passaram a ser cada vez mais produzidos e comercializados no país, recebendo assim maior atenção dos programas de melhoramento (Carneiro et al., 2017).

O feijão vermelho, por sua vez, é mais popular no estado de Minas Gerais, precisamente na região da Zona da Mata Mineira, onde apresenta alto valor de mercado, atingindo às vezes o dobro do preço dos demais tipos comerciais. A preferência por esse tipo de feijão se deu no início da década de 1980, substituindo em parte o consumo de feijão preto no estado (Vieira, 1996; Ramalho, Abreu, 1998; Silva, 2005; Borém, Carneiro, 2015).

A crescente procura pelo feijão vermelho careceu de novas cultivares, e com isso os programas de melhoramento precisaram se adaptar para suprir a demanda. Desde então, a UFV vem se empenhando para obter cultivares de feijão vermelho mais produtivas, de porte ereto, com boa qualidade comercial e tecnológica, e resistentes às principais doenças. Segundo Vieira et al. (2005), para a aceitação comercial, os grãos de feijão vermelho precisam apresentar tamanho médio (100 grãos com massa de aproximadamente 25 g), aspecto brilhante e formato elíptico (relação de comprimento/largura de 1,43 a 1,65 mm). Os estudos de Farinelli e Lemos (2010) mostram a preferência por feijões de melhor qualidade tecnológica, caracterizada pela rápida hidratação dos grãos e baixo tempo de cozimento. Contudo,

o ideal é que a cultivar apresente o maior número de fenótipos favoráveis possíveis quanto aos caracteres de interesse.

As cultivares de arquitetura ereta têm sido priorizadas na formação de lavouras devido aos benefícios trazidos por essa condição. As plantas eretas permitem realizar os tratamentos culturais com maior facilidade, melhora a qualidade dos grãos em razão das vagens não alcançarem o solo, diminui a severidade de doenças favorecidas pelas condições de umidade, e possibilita a colheita mecanizada (Ramalho, Abreu, Carneiro, 2004; Abreu et al., 2018).

O tempo de cozimento é outro fator de grande interesse almejado pelos consumidores de feijão. Esse afeta diretamente o dispêndio de tempo e dinheiro no preparo do alimento, sendo ideal que os grãos cozinhem em até 30 minutos. Estudos mais recentes afirmam que o tempo médio desejável para o cozimento dos grãos seja de até 25 minutos (Ribeiro et al., 2013; Santos, Ribeiro, Maziero, 2016; Steckling et al., 2017). Além disso, os feijões que levam menos tempo para cozinhar retêm mais nutrientes durante o processo de cozimento e têm mais Ferro biodisponível (Wiesinger et al., 2018). Para reduzir o tempo de cozimento aconselha-se hidratar os grãos antes de levá-los ao fogo, podendo esse processo durar de 2 a 18 horas, a depender da cultivar (Pérez Herrera et al., 2002; Rodrigues et al., 2005).

A capacidade de hidratação dos grãos, por sua vez, está associada a fatores relacionados ao tegumento do grão (Bassinello, 2023). O tegumento funciona como uma espécie de barreira, exercendo funções de proteção ao eixo embrionário e ao tecido de reserva (Carvalho, Nakagawa, 2000). As características de espessura, composição química e física do tegumento, e as condições fisiológicas e de temperatura em que os grãos são acondicionados, influenciam a absorção de água pelos grãos (Souza, 2003). Assim, os grãos que passam pelo processo de armazenamento, seja para esperar boas oportunidades de venda ou para ofertar o alimento durante o período de escassez (entressafra), podem apresentar alterações na cor, na textura, no sabor e no tempo de cozimento. Essas alterações são intensificadas quando sob alta temperatura (30 a 40 °C) e alta umidade (> 75%) (Coelho et al., 2007).

O número de cultivares de feijão vermelho disponíveis no mercado ainda é pequeno, o que pode ser explicado pelo seu consumo regionalizado, justificando assim o baixo dispêndio do melhoramento de feijão para com esse tipo de grão. Os primeiros registros de cultivo e comercialização de feijão vermelho foram

observados com a cultivar Vermelhinho, assim denominada pelos produtores rurais da época. A cultivar Vermelhinho apresenta baixa produtividade, grãos vermelho brilhante, plantas muito prostradas e suscetibilidade à maioria das doenças que acometem a cultura, dentre elas a ferrugem (*Uromyces appendiculatus*), a mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*), o crestamento-bacteriano-comum (*Xantomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*) e o mosaico-comum (*Bean common mosaic virus*) (Vieira, Araújo, Cardoso, 2000). Segundo Alzate-Marin et al. (2006), a Vermelhinho também não possui resistência à antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*).

Em 1998, a UFV e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) lançaram a cultivar Vermelho 2157, material de origem do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), com maior produtividade e resistência a doenças do que a Vermelhinho, porém, apresenta desuniformidade na coloração dos grãos (Vieira, Araújo, Cardoso, 2000; Vieira, 2005; Prado, 2014).

Até então, as avaliações de linhagens eram realizadas por meio de ensaios nacionais e regionais, sob responsabilidade das instituições de pesquisa. A partir de 1997, as avaliações de linhagens passaram a ser realizadas mediante os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), com regras determinadas pelo MAPA, por meio da Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998 (BRASIL, 1998). A condução do VCU é obrigatória para fins de registros de novas cultivares no Registro Nacional de Cultivares (RNC), que por sua vez habilita a comercialização de sementes das respectivas cultivares.

Desde então, acreditava-se que empresas privadas se interessariam pelo melhoramento da cultura do feijão no país, mas não foi o que aconteceu. Assim, a UFV, a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a EPAMIG e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), juntaram forças para trabalhar em prol do melhoramento do feijoeiro, estabelecendo o convênio “Melhoramento de Feijão para o estado de Minas Gerais”. E dessa maneira tem sido feito, disponibilizando ao mercado muitas opções de cultivares melhoradas de diferentes grupos comerciais de feijão (Ramalho, Abreu, 2015; Carneiro et al., 2017).

Os ensaios de VCU de feijão precisam atender aos requisitos mínimos para condução dos experimentos. Os mesmos devem ser instalados em pelo menos 18 ambientes (3 locais x 3 safras x 2 anos), com delineamento experimental de igual ou maior precisão que o em blocos casualizados, com três repetições, compostos por parcelas de no mínimo quatro fileiras de 4 m, desprezando as duas fileiras laterais. As

características avaliadas abrangem: presença de antocianina no cotilédono, hipocótilo e caule; dimensões da folha, da semente e da guia; cor da flor, da vagem e da semente; presença de brilho na semente; peso de 1000 sementes; arquitetura de planta; ciclo; reação a doenças e a adversidades do clima; produtividade de grãos e qualidade tecnológica (BRASIL, 2006).

O primeiro ensaio de VCU coordenado pelo convênio de Minas Gerais, no período de 2002 a 2004, resultou na recomendação da cultivar de grão vermelho denominada Ouro Vermelho. Desde o seu lançamento em 2006 até os dias atuais ela é utilizada pelos produtores. A Ouro Vermelho advém do cruzamento entre AN9022180 e Vermelhinho, com retrocruzamento para Vermelhinho. Essa apresentou à época rendimento médio 31% maior que o Vermelhinho e maior tolerância à mancha-angular e ferrugem (Silva, 2005; Carneiro et al., 2006).

Hoje, o mercado conta também com a cultivar BRSMG Marte, resultante da seleção de Linha Pura na linhagem SER 198, introduzida pela UFV a partir do CIAT, localizado na Colômbia. A BRSMG Marte está disponível para comercialização desde 2021, quando teve sua inscrição realizada no RNC pelo convênio de Minas (MAPA, 2021). Essa é amplamente conhecida por apresentar fenótipos favoráveis em relação a algumas características, ausentes nas cultivares anteriores, como porte ereto da planta e tolerância às principais doenças que acometem o feijão. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento dessa nova cultivar (BRSMG Marte) e caracterizá-la conforme as exigências para registro e proteção de cultivares.

2. Material e Métodos

2.1. Avaliação do comportamento da cultivar BRSMG Marte no VCU

O ensaio de VCU que culminou na recomendação da cultivar BRSMG Marte contou com a avaliação de 15 genótipos de feijão preto e vermelho, sendo 11 linhagens e quatro testemunhas (Tabela 1). Esses genótipos foram avaliados no período de 2016 a 2018, em 42 ambientes, distribuídos em diferentes safras, anos, e locais dos estados de Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso, Espírito Santo, Goiás e Distrito Federal. O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao caso, com três repetições e parcelas constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas de 0,5 m.

Tabela 1. Descrição dos 15 genótipos de feijão (G01 – G15) avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Nº do genótipo	Identificação do genótipo	Grupo comercial	Origem
Linhagens:			
G01	CNFP 10794 (BRS FP 403)	Preto	Embrapa Arroz e Feijão
G02	CNFP 11979	Preto	Embrapa Arroz e Feijão
G03	CNFP 15194	Preto	Embrapa Arroz e Feijão
G04	CNFP 15677	Preto	Embrapa Arroz e Feijão
G05	CNFP 15680	Preto	Embrapa Arroz e Feijão
G06	VP 33	Preto	UFV
G07	VP 34	Preto	UFV
G08	VR 19	Vermelho	UFV
G09	VR 20 (BRSMG Marte)	Vermelho	UFV
G10	VR 21	Vermelho	UFV
G11	VP 22	Preto	UFV
Testemunhas:			
G12	Ouro Vermelho	Vermelho	UFV
G13	BRSMG Tesouro	Roxo	Embrapa Arroz e Feijão
G14	BRS Esteio	Preto	Embrapa Arroz e Feijão
G15	BRS Campeiro	Preto	Embrapa Arroz e Feijão

Avaliou-se arquitetura de plantas (ARQ), acamamento (ACAM), severidades de mancha-angular (MA), crestamento-bacteriano-comum (CBC), murcha-de-curtobactéria (CURTO), mofo-branco (MB), murcha-de-fusário (FOP) e ferrugem (FE), produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (PROD) e massa de 100 grãos em gramas (M100). Nas avaliações de ARQ, ACAM, MA, CBC, CURTO, MB, FOP e FE utilizou-se escala

com notas de 1 a 9, sendo a nota 1 atribuída ao fenótipo favorável e a nota 9 ao fenótipo desfavorável.

Os dados foram submetidos a análise de variância individual para todos os caracteres avaliados. Para os caracteres avaliados em mais de um ambiente foram realizadas análises conjuntas, considerando o efeito de genótipo como fixo e o efeito de ambiente como aleatório, conforme o modelo a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : valor observado do i-ésimo genótipo, no j-ésimo ambiente e no k-ésimo bloco;

μ : média geral do ensaio;

G_i : efeito do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, g$);

A_j : efeito do j-ésimo ambiente; ($j = 1, 2, \dots, a$);

GA_{ij} : efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

B/A_{jk} : efeito do bloco k dentro do ambiente A_j ($k = 1, 2, \dots, r$); e

ε_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

As médias de produtividade de grãos dos genótipos foram comparadas às testemunhas pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade de erro, dentro de cada grupo comercial.

Para a realização das análises estatísticas foram utilizados os recursos do software Genes (Cruz, 2013).

2.2. Caracterização da cultivar BRSMG Marte

Para caracterizar a cultivar BRSMG Marte conduziu-se um experimento à parte utilizando a cultivar BRSMG Marte e a Ouro Vermelho, como testemunha. O experimento foi instalado na safra da seca de 2021, na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção e Melhoramento Genético de Grandes Culturas (UEPE MGGC – Coimbra), no município de Coimbra-MG, localizada a 714 m de altitude, 20°49'53" S de latitude e 42°45'54" W de longitude, pertencente ao Departamento de Agronomia da UFV.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com três repetições e parcelas constituídas de seis fileiras de 4 m de comprimento, desprezando-se as duas fileiras laterais.

Após a maturidade fisiológica, as plantas de cada parcela foram colhidas manualmente e amarradas. Logo em seguida foram levadas para um galpão onde permaneceram até a completa secagem dos grãos (aproximadamente 15% de umidade). Posteriormente realizou-se o beneficiamento das parcelas por meio de uma trilhadora estacionária.

Durante o desenvolvimento das cultivares foram avaliados os descritores do feijoeiro segundo os requisitos para registro de cultivares, acrescido de algumas exigências para a proteção dos mesmos. Avaliou-se desde cotilédone, hipocótilo, caule, folha, flor, vagem, semente, arquitetura, ciclo e reação a doenças, até produtividade e qualidade tecnológica dos grãos pós beneficiamento.

Para as estruturas de cotilédone, hipocótilo e caule analisou-se a presença ou a ausência de antocianina. Para a folha observou-se a intensidade da cor verde (clara, média ou escura), a rugosidade (presença ou ausência), a forma do folíolo terminal (triangular, circular ou quadrangular), o comprimento e a largura na fase de floração. Para as flores recém abertas foram observadas uniformidade ou desuniformidade da coloração, com cor da asa e do estandarte podendo variar de branco, rosa e roxo. Para a vagem avaliou-se a cor na maturação fisiológica (amarelo, verde ou roxo) e a cor na maturação de colheita (uniforme ou desuniforme). Observou-se também o grau de curvatura da vagem (ausente, fraca, média, forte ou muito forte), a forma da curvatura (côncava, em forma de "S" ou convexa), a forma da parte distal (aguda, aguda a truncada ou truncada), a curvatura do dente apical (ausente, fraca, média, forte ou muito forte) e a posição do dente apical (marginal ou não marginal). Na semente analisou-se a coloração predominante do tegumento; a cor do halo (mesma cor da semente ou cor diferente da semente); venações na testa (presença ou ausência); o aspecto da cor (opaco, intermediário ou brilhoso); a forma em seção longitudinal (circular, circular a elíptica, elíptica, reniforme ou retangular); a relação comprimento/largura (coeficiente J) que determina se a forma da semente é esférica, elíptica, oblonga/reniforme curta, média ou longa; e a relação espessura/largura (coeficiente H), classificando a semente como achatada, semi-cheia ou cheia. E por fim o peso médio de 1000 sementes.

As avaliações de arquitetura foram realizadas por meio da identificação do hábito de crescimento da planta (determinado, tipo I; indeterminado, tipo II; indeterminado, tipo III; ou indeterminado, tipo IV), do porte (ereto, prostrado ou trepador) e do comprimento da guia (curto, médio ou longo). O ciclo foi obtido em dois momentos: da emergência ao florescimento e da emergência à maturação fisiológica. A reação à doença mancha-angular, ferrugem, mofo-branco, crestamento-bacteriano-comum, murcha-de-fusário e murcha-de-curtobactéria foi classificada como resistente, moderadamente resistente, suscetível ou sem informação. A produtividade de grãos calculada com base na produção de grãos das quatro fileiras centrais de cada parcela, transformada em quilogramas por hectare. E a qualidade tecnológica obtida pela capacidade de hidratação dos grãos, conforme a fórmula de absorção de água (Berrios et al., 1999), e pelo tempo médio de cozimento dos grãos, determinada no cozedor de Mattson (Proctor, Watts, 1987).

Cada avaliação de campo incluiu 150 plantas, sendo essas igualmente divididas nas três repetições. Para auxiliar nas avaliações das características de formato da folha, da vagem e da semente, foram utilizadas as ilustrações disponibilizadas ao final do formulário para proteção de cultivares. Já para medir a qualidade tecnológica utilizou-se grãos recém colhidos sob hidratação de 16 horas.

2.3. Qualidade tecnológica dos grãos da cultivar BRSMG Marte

Para mensurar a qualidade tecnológica dos grãos da cultivar BRSMG Marte utilizou-se os grãos colhidos das parcelas úteis do experimento referente ao tópico 2.2 acima, o mesmo utilizado na caracterização da cultivar.

Foram avaliadas a capacidade de hidratação dos grãos em porcentagem (CH) e o tempo de cozimento em minutos (TC), das cultivares BRSMG Marte e Ouro Vermelho, a cada dois meses, ao longo de um ano de armazenamento. As parcelas foram armazenadas em sacos de papel sob condições ambiente (médias anuais de 20°C e 74% de umidade relativa).

Para a avaliação da capacidade de hidratação dos grãos foi retirada uma amostra homogênea de 50 sementes de cada parcela para cada cultivar. Essas amostras foram pesadas ainda secas e depois colocadas para hidratar em água destilada (100 ml) por 16 h. Após as 16 h de hidratação, as amostras foram pesadas

novamente e por diferença chegou-se à porcentagem de água absorvida, conforme a fórmula (Berrios et al., 1999):

$$\text{Absorção de água (\%)} = [(P2 - P1) / P1] \times 100$$

onde:

P1 = peso inicial e

P2 = peso final.

O tempo de cozimento das cultivares foi obtido logo após a pesagem das amostras hidratadas. As 50 sementes hidratadas de cada parcela formaram duas repetições para determinação do cozimento, obtendo assim repetição dentro de repetição. Os feijões hidratados foram distribuídos em dois cozedores, que por sua vez, foram colocados simultaneamente em duas panelas de pressão sem tampa, contendo cada uma 2 L de água destilada já em ebulição e mantidos em fogo médio de fogão a gás para o cozimento dos grãos. O cozedor utilizado é o desenvolvido por Mattson e modificado por Proctor e Watts (1987). Esse cozedor corresponde a uma estrutura em metal com 25 hastes, cada haste pesa 90 gramas e apresenta uma ponta de 1 mm de diâmetro. As hastes ficam apoiadas sobre os grãos de feijão durante o cozimento e os perfuram quando cozidos. O tempo médio de cozimento dos feijões foi considerado quando as 13 primeiras hastes (metade do número de hastes mais um) perfuraram os grãos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Comportamento da cultivar BRSMG Marte no VCU

Houve efeito significativo da interação genótipos por ambientes (GxA) para produtividade de grãos, assim como para o estudo dos efeitos separadamente (Tabela 2). A comparação dos fatores foi realizada somente para genótipo dentro da média dos ambientes, de forma a verificar o comportamento da nova cultivar frente aos ambientes (Tabela 3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância conjunta para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 15 genótipos de feijão avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

FV	GL	SQ	QM
Genótipo (G)	14	114513930,4	8179566,4*
Ambiente (A)	41	855009234,8	20853883,8*
G x A	574	291485790,0	507814,9*
Resíduo	1176	199843856,7	169935,2
Média (kg ha ⁻¹)	2354,7		
CV (%)	17,5		

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3. Médias de produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), massa de 100 grãos (M100, g), arquitetura de plantas (ARQ, notas de 1 a 9) e acamamento (ACAM, notas de 1 a 9) para os genótipos de feijão vermelho avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Genótipo	PROD ¹	M100 ²	ARQ ³	ACAM ⁴
- Linhagens:				
VR-19	2250 a	24,8	3,1	2,8
VR-20 (BRSMG Marte)	2119 a	24,0	2,8	2,5
VR-21	2023 a	22,8	7,8	7,8
- Testemunha:				
Ouro Vermelho	2188 a	21,3	7,5	7,8

¹Média de 42 ambientes; ²Média de 7 ambientes; ³Média de 28 ambientes; ⁴Média de 25 ambientes.

A produtividade média alcançada pelos genótipos (Tabela 2) ultrapassou a produtividade de grãos de feijão-comum registrada para o Brasil (1125 kg ha⁻¹), e para o estado de Minas Gerais (1707 kg ha⁻¹), segundo o último senso 2022/2023 (CONAB,

2024). Produtividade essa que tende a aumentar quando sob ótimas condições de manejo e ambientes adequados, podendo assim expressar o seu potencial máximo.

A qualidade do ensaio de VCU – 2016 a 2018 ficou evidenciada com os valores de coeficiente de variação (CV) apresentados na Tabela S1. A grande maioria dos ambientes obtiveram CV abaixo dos 25% tolerado pelo MAPA, com exceção aos ambientes 5 e 36 (A05 e A36), que apresentaram CV iguais a 25,8% e 26,5%, respectivamente. Desta maneira enfatiza a boa precisão experimental, tornando os resultados confiáveis.

Os genótipos do grupo comercial vermelho não diferiram entre si para produtividade de grãos, mostrando que as linhagens apresentaram o mesmo desempenho que a testemunha correspondente, Ouro Vermelho. A BRSMG Marte atingiu a segunda maior massa de 100 grãos, valor próximo a 25 g, aceitável para comercialização conforme Vieira et al. (2005). Para arquitetura de plantas e acamamento, as notas mais próximas do desejável foram observadas com a BRSMG Marte, o que a torna mais resistente ao acamamento e a doenças favorecidas pela umidade e pelo contato com o solo, favorecendo assim sua colheita mecanizada (Tabela 3).

O comportamento produtivo da BRSMG Marte e da Ouro Vermelho foi também verificado nas diferentes safras (Tabela 4). A BRSMG Marte atingiu maiores produtividades nas safras da seca e inverno, enquanto a Ouro Vermelho foi mais produtiva apenas no inverno. Porém, quando comparadas, não diferem entre si. Desta maneira observamos que a BRSMG Marte oferece o mesmo desempenho da testemunha Ouro Vermelho, independentemente da safra, mas quando tratamos somente do potencial da cultivar, a BRSMG Marte se sobressai em duas épocas do ano. Os níveis de produtividade de grãos alcançados na safra de inverno podem ser explicados pelo uso intensivo de tecnologia na produção, uma característica desse período.

Tabela 4. Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) das cultivares Ouro Vermelho e BRSMG Marte, por safra, avaliadas nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Safra	Nº ensaios	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	
		Ouro Vermelho	BRSMG Marte
Águas (A)	12	1940,5 B a	1779,9 B a
Seca (S)	13	2086,9 B a	2140,2 A a
Inverno (I)	17	2440,9 A a	2341,5 A a
A + S + I	42	2188,4 a	2118,8 a

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey e Dunnett, respectivamente.

Os resultados para severidade a doenças mostram a BRSMG Marte mais próxima ao fenótipo favorável à tolerância ao MB (Tabela 5). Isso leva a concluir que a BRSMG Marte deve ser priorizada em ambientes com histórico de ocorrência dessa doença. Essa maior tolerância ao MB pode ser explicada pela sua arquitetura ereta e baixa capacidade de acamamento, características essas que impedem o acúmulo de umidade entre plantas, o que desfavorece a instalação do patógeno (Ramalho, Abreu, Carneiro, 2004).

Tabela 5. Severidade (notas de 1 a 9) de mancha-angular (MA), crestamento-bacteriano-comum (CBC), murcha-de-curtobactéria (CURTO), mofo-branco (MB), murcha-de-fusário (FOP) e ferrugem (FE) nos genótipos de feijão vermelho avaliados nos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Genótipo	MA ¹	CBC ²	CURTO ³	MB ⁴	FOP ⁵	FE ⁵
- Linhagens:						
VR-19	4,0	5,6	4,8	3,9	5,0	5,7
VR-20 (BRSMG Marte)	4,4	4,5	4,8	3,4	6,0	5,3
VR-21	4,6	4,4	3,8	5,7	4,0	2,0
- Testemunha:						
Ouro Vermelho	3,6	5,4	5,8	5,4	3,5	6,3

¹Média de 10 ambientes; ²Média de 8 ambientes; ³Média de 2 ambientes; ⁴Média de 3 ambientes; ⁵Média de 1 ambiente.

3.2. Caracterização da cultivar BRSMG Marte

Os descritores mínimos utilizados para caracterizar a cultivar BRSMG Marte também foram avaliados na cultivar Ouro Vermelho, permitindo um comparativo entre elas (Tabela 6). As características que merecem destaque são peso de 1000 sementes, arquitetura de plantas, ciclo, maturação das vagens e reação a doenças.

Assim, a BRSMG Marte pode ser apresentada como uma cultivar de sementes mais graúdas, plantas eretas, ciclo mais precoce, de maturação uniforme e resistente a MA.

Tabela 6. Caracterização das cultivares Ouro vermelho e BRSMG Marte, avaliadas na safra da seca de 2021, em Coimbra, MG.

Características Avaliadas		
Descritor	Detalhamento	
	Ouro Vermelho	BRSMG Marte
- Presença de antocianina		
Cotilédones	Ausente	Ausente
Hipocótilo	Presente	Ausente
Caule	Ausente	Ausente
- Folha		
Intensidade da cor verde	Escura	Escura
Rugosidade	Ausente	Ausente
Forma do folíolo terminal	Triangular	Triangular
Comprimento (C)	9,83	11,52
Largura (L)	6,93	7,88
Índice comprimento/largura (I _{CLF})	1,42	1,46
- Flor		
Cor da flor	Uniforme	Uniforme
Cor da asa	Branca	Branca
Cor do estandarte	Branca	Branca
- Vagem		
Cor na maturação fisiológica	Roxa claro	Amarela
Cor na maturação de colheita	Desuniforme	Uniforme
Grau de curvatura	Fraca	Fraca
Forma da curvatura	Côncava	Côncava
Forma da parte distal	Aguda a Truncada	Aguda a Truncada
Curvatura do dente apical	Média a Forte	Média a Forte
Posição do dente apical	Marginal	Marginal
- Semente		
Cor do tegumento	Vermelho	Vermelho
Cor do halo	Mesma cor da semente	Mesma cor da semente
Venações na testa	Ausente	Ausente
Brilho	Brilhoso	Brilhoso
Forma em seção longitudinal	Circular a Elíptica	Circular a Elíptica
Relação comprimento/largura (J)	Elíptica	Oblonga/reniforme curta
Relação espessura/largura (H)	Achatada	Semi-cheia
Peso de 1000 sementes	228 g	245 g

Continua...

Características Avaliadas		
Descritor	Detalhamento	
	Ouro Vermelho	BRSMG Marte
- Arquitetura		
Hábito de crescimento	Indeterminado, Tipo III	Indeterminado, Tipo II
Porte	Semi-ereto	Ereto
Comprimento médio da guia	Médio	Curto
- Ciclo		
da emergência ao florescimento	40 dias	34 dias
da emergência à maturidade fisiológica	90 dias	78 dias
- Reação a doenças		
Mancha-angular	Suscetível	Resistente
Ferrugem	Sem informação	Sem informação
Mofo-branco	Sem informação	Sem informação
Crestamento-bacteriano-comum	Sem informação	Sem informação
Murcha-de-fusário	Sem informação	Sem informação
Murcha-de-curtobactéria	Sem informação	Sem informação
- Rendimento		
Produtividade	2.645 kg ha ⁻¹	2.537 kg ha ⁻¹
- Qualidade tecnológica		
Capacidade de hidratação	134 %	95 %
Tempo de cozimento	17 min	18 min

3.3. Qualidade tecnológica dos grãos da BRSMG Marte

Os resultados para capacidade de hidratação (CH) mostram que ambas as cultivares hidrataram bem quando colocadas de molho por 16 h, mantendo essa hidratação ao longo do armazenamento. Para o tempo de cozimento (TC) as cultivares também apresentaram o mesmo padrão de comportamento entre elas, porém conforme foram ficando mais velhas aumentou-se o TC (Tabela 7).

A alta CH observada nas cultivares Ouro Vermelho e BRSMG Marte não influenciou no cozimento dos grãos mais velhos. Nesse caso, a CH não apresentou correlação com o TC, conforme afirmado nos trabalhos de Pérez Herrera et al. (2002) e Rodrigues et al. (2005). Porém, essa situação é explicada pela alteração do tegumento dos grãos quando armazenados por muito tempo. Segundo Bassinello (2023), a casca dos grãos de feijão recém-colhidos contribui em média com 55% do tempo de cozimento, e em caso de grãos de feijão armazenados a contribuição chega a mais de 75% desse tempo.

Assim, ambas as cultivares apresentaram TC desejáveis, menor do que os 25 minutos propostos por Ribeiro et al. (2013); Santos, Ribeiro e Maziero (2016) e

Steckling et al. (2017), até os dois primeiros meses de armazenamento. A partir dos 6 meses de armazenamento, além do maior tempo de cozimento, espera-se maior perda nutricional, escurecimento e endurecimento dos grãos.

Tabela 7. Médias de capacidade de hidratação (CH, %) e tempo de cozimento (TC, min), sob 16 h de hidratação, para as cultivares Ouro Vermelho e BRSMG Marte, avaliadas na safra da seca de 2021, em Coimbra, MG.

Armazenamento	CH (%)		TC (min)	
	Ouro Vermelho	BRSMG Marte	Ouro Vermelho	BRSMG Marte
0 meses	134	94	17	18
2 meses	112	120	23	22
4 meses	114	113	34	32
6 meses	109	105	45	43
8 meses	107	103	50	51
10 meses	107	105	49	54
12 meses	110	111	60	59

4. Conclusão

A cultivar BRSMG Marte é mais uma excelente opção para as áreas de produção de feijão vermelho, pois apresenta potencial de produção semelhante a cultivar Ouro Vermelho e destaca-se pela arquitetura ereta, resistência ao acamamento, resistência à doença mancha-angular, uniformidade de maturação das vagens, precocidade e maior tamanho de grãos.

5. Referências

ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; SOUZA, T. L. P. O.; PAULA JÚNIOR, T. J.; SOUZA, E. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; DEL GIÚDICE, M. P.; VIEIRA, R. F. BRSMG Uai: cultivar de feijão tipo carioca com planta de arquitetura ereta. **Comunicado Técnico**, **246**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2018.

ALMEIDA, L. D'A. **O feijão Carioca**: reflexos de sua adoção. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 6p. (Folder)

ALZATE-MARIN, A. L.; SOUZA, T. L. P. O.; ARRUDA, K. M. A.; SILVA, M. G. D. M.; CHAGAS, J. M.; BARROS, E. G.; MOREIRA, M. A. Reação do cultivar de feijoeiro-comum “vermelhinho” à ferrugem, antracnose e mancha-angular. **Ceres**, v. 56, n. 306, p. 164-170, 2006.

BASSINELO, P. Z. Cultivo de feijão. **Pós-produção: Grãos**. Brasil, DF: Embrapa Arroz e Feijão, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/graos>. Acesso em: 25 de junho de 2024.

BERRIOS, J. D. J.; SWANSON, B. G.; CHEONG, W. A. Physico-chemical characterization of stored black beans. **Food Research International**, v. 32, n. 10, p. 669-676, 1999.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 9-14, 2015.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25 de 23 de maio de 2006. Art. 10. Estabelece os critérios mínimos a serem observados para a determinação do valor de cultivo e uso - VCU de feijão e os respectivos formulários anexos para inscrição de cultivares no Registro Nacional de Cultivares. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 de junho de 2006. Seção 1, p.16.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Rural. Portaria nº 294, de 14 de outubro de 1998. Estabelece os critérios mínimos a serem observados nos ensaios para determinação do Valor de Cultivo e Uso – VCU de cultivares de algodão, arroz, batata, milho, soja, sorgo e trigo e os respectivos formulários de solicitação de inscrição de cultivares no Registro Nacional de Cultivares – RNC, na forma de anexos I à VIII desta portaria. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 16 de outubro de 1998.

CARNEIRO, J. E. S.; POSSOBOM, M. T. D. F., BARILI, L. D.; VALE, N. M.; CARNEIRO, P. C. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; VIEIRA, R. F. Cultivares brasileiras de feijão: contribuições do melhoramento genético. In: PAULA JÚNIOR, T. J.; MARTINS, F. A. D. Inovações tecnológicas para a produção de feijão. **Informe Agropecuário**, EPAMIG, Belo Horizonte, MG, v. 38, n. 298, p. 44-51, 2017.

CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, L. C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; ARAUJO, G. A. A.; CARNEIRO, P. C. S.; DEL GIÚDICE, M. P.; MENEZES JÚNIOR, A. N.; RAMALHO, M. A. P.; DEL PELOSO, M. J.; ABREU, A. F. B.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G.

“OURO VERMELHO”: NEW RED BEAN CULTIVAR FOR MINAS GERAIS, BRAZIL. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 49, p. 281-282, 2006.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 588p., 2000.

COELHO, C. M. M.; BELLATO, C. M.; SANTOS, J. C. P.; ORTEGA, E. M. M.; TSAI, S. M. Effect of phytate and storage conditions on the development of the ‘hard-to-cook’ phenomenon in common beans. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 7, p. 1237-1243, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas: feijão total (1ª, 2ª e 3ª Safras)** – Safra 2022/23 – Brasil. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/feijao>. Acesso em: 31 de janeiro de 2024.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade, eficiência agronômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 165-172, 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares – RNC. BRSMG Marte – Phaseolus vulgaris L. Descritores**. 2021. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

PÉREZ HERERA, P.; ESQUIVEL, G.; ROSALES SERNA, R.; ACOSTA GALEGS, J. A. Caracterización física, culinária y nutricional de frijol del altiplano sobhúmedo de México. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 52, n. 2, p. 172-180, 2002.

PRADO, A. L. **Potencial de famílias e linhagens de feijão-vermelho do programa de seleção recorrente da Universidade Federal de Viçosa**. Viçosa, MG, 2014. 46 p. Dissertação (Mestrado) - UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2014.

PROCTOR J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Can. Inst. Food Science and Tecn. Journal**, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. **Feijão: Aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, 596 p., 1998.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Obtenção de cultivares. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 96-114, 2015.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S. C. Cultivares. In: LACERDA, V. **Feijão de Alta Produtividade. Informe Agropecuário**, EPAMIG, Belo Horizonte, MG, v. 25, n. 223, p. 21-32, 2004.

RIBEIRO, N. D.; MAMBRIN, R. B.; STORCK, L.; PRIGOL, M.; NOGUEIRA, C. W. Combined selection for grain yield, cooking quality and minerals in the common bean. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 869-877, 2013.

RODRIGUES J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005.

SANTOS, G. G.; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M. Evaluation of common bean morphological traits identifies grain thickness directly correlated with cooking time. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 1, p. 35-42, 2016.

SILVA, L. C. **Recomendação de cultivares de feijão-vermelho para o estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG, 2005. 77 p. Tese (Doutorado) – UFV, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SOUZA, L. V. Estimção de parâmetros genéticos e fenotípicos associados com a qualidade fisiológica de sementes de feijão. Lavras, MG, 2003. 52 p. Dissertação (Mestrado) – UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2003.

STECKLING, S. M; RIBEIRO, N. D.; ARNS, F. D.; MEZZOMO, H. C.; POSSOBOM, M. T. D. F. Genetic diversity and selection of common bean lines based on technological quality and biofortification. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.

VIEIRA, C. **O feijão e eu: memórias de um ex-aluno da ESAV**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 178 p., 1996.

VIEIRA, C. **Memórias de meio século de estudos sobre a cultura do feijão**. Viçosa, MG: Divisão de Gráfica Universitária, 214 p., 2005.

VIEIRA, C., ARAÚJO, G. A. A.; CARDOSO A. A. Triagem de germoplasma de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em busca de fontes de tolerância à baixa temperatura II. **Ceres** v. 47, n. 271, p. 337-348, 2000.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P.; CARNEIRO, J. E. S. Melhoramento do Feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Ed. UFV, ed. 2, p. 301-392, 2005.

VOYSEST, O. V. **Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999**. Cali, Colombia: CIAT, 195 p., 2000.

WIESINGER, J. A.; CICHY, K. A.; TAKO, E.; GLAHN, R. P. The fast cooking and enhanced iron bioavailability properties of the Manteca yellow bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Nutrients**, v. 10, n. 11, p. 1609, 2018.

6. Material Suplementar

Tabela S1. Resultados das análises de variância individuais para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 15 genótipos de feijão avaliados em 42 ambientes (A01 – A42), referentes aos ensaios de VCU – 2016 a 2018.

Ambiente	Descrição - local, safra, ano	QMgenótipo	QMerro	Média	CV(%)
A01	Lavras, MG - seca 2016	895058,5*	244338,9	2941,2	16,8
A02	Patos de Minas, MG - seca 2016	618801,1*	71513,9	1896,4	14,1
A03	Lavras, MG - inv. 2016	597514,6*	253221,1	2595,0	19,4
A04	Lambari, MG - inv. 2016	908149,8*	275931,9	2569,0	20,4
A05	Patos de Minas, MG - inv. 2016	1391733,6*	634108,6	3079,1	25,8
A06	Sete Lagoas, MG - inv.2016	692681,7*	214651,3	3986,9	11,6
A07	Sete Lagoas, MG - inv. 2016	96102,2*	22230,7	1579,2	9,4
A08	Lavras, MG - águas 2016	357938,1*	132455,1	1602,3	22,7
A09	Lambari, MG - águas 2016	531588,5*	154884,3	2736,3	14,4
A10	Patos de Minas, MG- águas 2016	1103959,8*	181600,4	2070,0	20,5
A11	Sete Lagoas, MG - águas 2016	2327712,8*	369614,6	2470,3	24,6
A12	Lavras, MG - seca 2017	384710,9*	164371,9	2286,8	17,7
A13	Lambari, MG - seca 2017	130490,9 ^{ns}	267366,7	2457,4	21,0
A14	Patos de Minas, MG- seca 2017	550897,8*	92256,4	2611,1	11,6
A15	Lambari, MG - inv. 2017	1527123,8*	257055,4	2278,9	22,2
A16	Patos de Minas, MG - inv. 2017	1058297,1*	54337,9	1814,0	12,8
A17	Lavras, MG - águas 2017	821875,7*	46770,8	1725,6	12,5
A18	Lambari, MG - águas 2017	394661,7*	150367,9	1819,8	21,3
A19	Patos de Minas, MG - águas 2017	781766,8*	311601,7	3046,1	18,3
A20	Lavras, MG - seca 2018	356784,1*	77815,5	1395,4	20,0
A21	Lambari, MG - seca 2018	144602,7 ^{ns}	156546,5	2020,5	19,6
A22	Patos de Minas, MG - seca 2018	187389,9 ^{ns}	100360,1	2470,0	12,8
A23	Coimbra, MG - seca 2016	291851,8 ^{ns}	164239,2	2864,0	14,1
A24	Viçosa, MG - inv. 2016	1438447,4*	224670,9	3196,3	14,8
A25	Coimbra, MG - inv. 2016	387235,3*	32584,3	2813,0	6,4
A26	Oratórios, MG - inv. 2016	846373,7*	191227,1	2799,4	15,6
A27	Florestal, MG - inv. 2016	596395,4*	177253,4	1762,3	23,9
A28	Viçosa, MG - seca 2017	170988,0 ^{ns}	112293,5	2515,6	13,3
A29	Coimbra, MG - seca 2017	455311,8*	113817,4	2246,0	15,0
A30	Florestal, MG - seca 2017	1541933,0*	316545,0	2770,3	20,3
A31	Coimbra, MG - inv. 2017	747708,9*	171339,8	4045,3	10,2
A32	Oratórios, MG - inv. 2017	635156,7*	176253,9	2363,0	17,7
A33	Sto. A. de Goiás, GO - inv. 2016	911196,6*	126915,1	2072,6	17,2
A34	Sooretama, ES - inv. 2016	375633,1*	114190,0	2545,0	13,3
A35	Ponta Grossa, PR - águas 2016	957359,7*	178191,0	2615,8	16,1
A36	Ponta Grossa, PR - seca 2017	402990,9*	168089,3	1548,5	26,5

Continua...

Ambiente	Descrição - local, safra, ano	QMgenótipo	QMerro	Média	CV(%)
A37	Cáceres, MT - inv. 2017	83352,4*	36676,0	987,2	19,4
A38	Brasília, DF - inv. 2017	462864,1*	186060,5	1918,3	22,5
A39	Sete Lagoas, MG - águas 2017	1097469,4*	235974,7	2287,1	21,2
A40	Brasília, DF - águas 2017	1258446,3*	127629,8	3392,1	10,5
A41	Linhares, ES - águas 2017	33050,3*	4395,3	916,6	7,2
A42	Ponta Grossa, PR - águas 2017	446372,4*	45532,2	1786,2	11,9

^{ns} Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

CONCLUSÕES GERAIS

O método de análise de adaptabilidade e estabilidade baseado em modelos Bayesianos probabilísticos mostrou-se eficiente para a cultura do feijão. Com isso, espera-se que esse procedimento seja utilizado em futuras análises de dados de ensaios de VCU de feijão, ampliando assim a chance de sucesso na recomendação.

A cultivar BRSMG Marte foi recomendada para os estados de Minas Gerais, Goiás, Espírito Santo, Paraná, Distrito Federal e Mato Grosso, devido as características de porte ereto, resistência ao acamamento, resistência à mancha-angular, massa de grãos, uniformidade de maturação e precocidade, ainda não observadas em outras cultivares do mesmo grupo comercial.