



UFG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE AGRONOMIA (EA)
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE
PLANTAS

JOÃO PEDRO MIRANDA CAETANO

**Estabilidade e potencial produtivo de linhagens de feijão-
comum desenvolvidas sob fixação biológica de nitrogênio
avaliadas em multi-ambientes**

GOIÂNIA
2023



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES
E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[x] Dissertação [] Tese [] Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

João Pedro Miranda Caetano

3. Título do trabalho

Estabilidade e potencial produtivo de linhagens de feijão-comum desenvolvidas sob fixação biológica de nitrogênio avaliadas em multi-ambientes

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **João Pedro Miranda Caetano, Discente**, em 30/11/2023, às 14:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patricia Guimaraes Santos Melo, Professora do Magistério Superior**, em 06/12/2023, às 17:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4231430** e o código CRC **C32AAE50**.

JOÃO PEDRO MIRANDA CAETANO

Estabilidade e potencial produtivo de linhagens de feijão-comum desenvolvidas sob fixação biológica de nitrogênio avaliadas em multi-ambientes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.
Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Patrícia
Guimarães Santos Melo

Coorientador: Dr. Leonardo Cunha
Melo

GOIÂNIA
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Caetano, João Pedro Miranda

Estabilidade e potencial produtivo de linhagens de feijão-comum desenvolvidas sob fixação biológica de nitrogênio avaliadas em multi ambientes [manuscrito] / João Pedro Miranda Caetano. - 2023.
66 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Patrícia Guimarães Santos Melo; co orientadora Dra. Leonardo Cunha Melo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Goiânia, 2023.

Bibliografia.

Inclui mapas, tabelas.

1. Phaseolus vulgaris L.. 2. FBN. 3. interação GxA. 4. estabilidade.
5. WAASB. I. Melo, Patrícia Guimarães Santos, orient. II. Título.

CDU 633



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 120 da sessão de Defesa de Dissertação de João Pedro Miranda Caetano que confere o título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, na área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas.

Aos trinta e um dias do mês de outubro de dois mil e vinte e três, a partir das oito horas, na Escola de Agronomia - Auditório Roland Vencovsky, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "Estabilidade de linhagens de feijão-comum em ambientes de fixação biológica e adubação de nitrogênio". Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Doutora Patrícia Guimarães Santos Melo (PPGGMP/UFG), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Miriam Suzane Vidotti (EA/UFG), membro titular interna, Doutora Polianna Alves Silva Dias (IFGOIANO), membro titular externa e Doutor Leonardo Cunha Melo (EMBRAPA), membro titular externo (coorientador). Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato APROVADO pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Estabilidade e potencial produtivo de linhagens de feijão-comum desenvolvidas sob fixação biológica de nitrogênio avaliadas em multi-ambientes



Documento assinado eletronicamente por **Patricia Guimaraes Santos Melo, Professora do Magistério Superior**, em 31/10/2023, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Miriam Suzane Vidotti, Professora do Magistério Superior**, em 30/11/2023, às 18:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4129924** e o código CRC **6BA22CBF**.

Agradecimentos

Ao meu pai, Renato Leal Caetano, e à minha mãe, Danielly Alves Miranda Caetano, por todo auxílio da minha vida e toda a base cultural que propiciaram para a minha formação técnica e social.

Ao meu irmão, Mateus Miranda Caetano, e a minha irmã, Mariana Miranda Caetano, por todas as conversas e incentivos que contribuíram significativamente para minha formação profissional.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Patrícia Guimarães Santos Melo por todo auxílio, incentivo, leveza e didática de uma grande professora, que me orientou durante todo o processo de pós-graduação.

Ao meu coorientador, Dr. Leonardo Cunha Melo, pelo auxílio, ensinamentos e disponibilidade para sanar dúvidas e realizar um grande trabalho no tema.

Ao Dr. Helton Santos Pereira e ao Dr. Thiago Lívio Pessoa Oliveira de Souza, que incentivaram e abriram oportunidades para a realização da pós-graduação.

À minha amiga Luciene Camarano, por todas as dúvidas esclarecidas sobre uma pós-graduação e pelo incentivo e exemplo desde a minha infância pela ciência e pela continuação da graduação.

Aos colaboradores da Embrapa que conduziram boa parte dos experimentos e auxiliaram em todos os processos da pesquisa com positividade e alegria de trabalho.

A todos os professores da pós-graduação que contribuíram para o meu desenvolvimento técnico-científico.

Ao grupo de estudos EUGEM, o qual fiz amizades e pude trocar conhecimentos sobre a área, além da organização do SimGeM, que abriu portas para novos contatos e novos interesses.

Aos meus amigos próximos que me ajudaram na instalação, condução e colheita dos experimentos, em especial: Mateus Miranda Caetano, Michelsen Beserra Borges, Emanuel Silva, Ibsen Beserra Borges, Thiago Souza, Heitor Resende Neiva Lima, Samuel Resende Neiva Lima e Wesley Jesus.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	CULTURA DO FEIJÃO COMUM	7
2.2	NITROGÊNIO	9
2.3	FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN)	10
2.4	MELHORAMENTO GENÉTICO PARA FBN	11
2.5	INTERAÇÃO GENÓTIPO COM AMBIENTE	13
2.6	ANÁLISES DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE.....	15
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1	OBTENÇÃO DAS LINHAGENS	19
3.2	CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	20
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	21
3.3.1	Análises de variância	21
3.3.2	Relação de produtividade de grãos sob inoculação e adubação	23
3.3.3	Análise de estabilidade.....	23
3.3.4	Análise de superioridade	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	ANÁLISES INDIVIDUAIS DE VARIÂNCIA.....	26
4.2	ANÁLISES CONJUNTAS DE VARIÂNCIA	29
4.3	ANÁLISE DE ESTABILIDADE PELO MÉTODO WAASB.....	36
5	CONCLUSÕES	44
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

RESUMO

CAETANO, J. P. M. **Estabilidade e potencial produtivo de linhagens de feijão-comum desenvolvidas sob fixação biológica de nitrogênio avaliadas em multi-ambientes**. 2023. 66 f. Dissertação (Mestrado em Genética de Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.¹

A adubação química nitrogenada é uma prática usual na fertilização do feijão, porém tem custo elevado e pode apresentar impactos ambientais negativos, além do adubo sintético não ser uma fonte renovável. A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é uma das formas mais sustentáveis de fornecimento de nitrogênio para as leguminosas. Nas duas últimas décadas a FBN voltou ao foco dos programas de melhoramento de feijão-comum, principalmente por meio da avaliação do potencial das linhagens na FBN em vários ambientes, visando a recomendação de genótipos adaptados e estáveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho e estabilidade produtiva de linhagens elite de feijão-comum do grupo carioca desenvolvidas sob FBN. As linhagens foram obtidas pelo cruzamento entre os genitores CNFC10762 e o acesso silvestre G234999A, que apresenta elevada taxa de FBN, mas poucas características agrônômicas favoráveis. Após um retrocruzamento foram obtidas as progenies que foram avançadas e selecionadas sob FBN. As 15 linhagens elite (L) obtidas e três testemunhas foram avaliadas em seis ambientes, constituídos pela combinação de local/safra/ano. Em cada ambiente foram conduzidos dois experimentos, um com adubação nitrogenada de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio por meio de adubos minerais e outro inoculado com uma mistura de *Rhizobium tropici* e *R. freirei* sem adubação nitrogenada mineral. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições, e parcelas foram compostas por três linhas de três metros e espaçamento de 0,5 m. Foram realizadas análises de variância individuais e conjuntas para produtividade de grãos e a análise de estabilidade foi feita utilizando o método WAASB que combina capacidade preditiva do modelo misto BLUP com as ferramentas gráficas do modelo AMMI. O efeito da interação L x FN foi significativo (P<0,01), com melhor desempenho dos genótipos quando há adubação nitrogenada. Entre essas linhagens, a CNFC10762 e CNFC20367 tiveram o melhor desempenho e estabilidade produtiva quando considerado as duas fontes de N, ou seja, apresentam característica de dupla aptidão, sendo adaptadas tanto para sistemas com uso de N mineral quanto com FBN. Para ambientes inoculados destacaram-se a testemunha CNFC10762 e os genótipos CNFC20389, CNFC20367 e CNFC20379, apresentando melhor relação entre desempenho produtivo e estabilidade. O melhoramento de feijão-comum não conseguiu desenvolver linhagens, oriundas de germoplasma silvestre, mais produtivas que as testemunhas desenvolvidas sob sistema exclusivo de adubação mineral de N. As linhagens do trabalho serão indicadas como genitoras para formar novas populações bases de melhoramento.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; FBN; interação GxA; estabilidade; WAASB.

¹ Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Patrícia Guimarães Santos Melo. EA – UFG
Coorientador: Dr. Leonardo Cunha Melo. Embrapa Arroz e Feijão.

ABSTRACT

CAETANO, J. P. M. **Stability and yield potential of common bean lines developed under biological nitrogen fixation evaluated in multi-environments.** 2023. 66 f. Dissertation (Master of Genetic and Plant Breeding) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023.²

Chemical nitrogen fertilization is a common practice in bean fertilization, but it is expensive and can have negative environmental impacts, as well as synthetic fertilizer not being a renewable source. Biological nitrogen fixation (BNF) is one of the most sustainable ways of supplying legumes with nitrogen. In the last two decades, BNF has returned to the focus of common bean breeding programs, mainly by evaluating the potential of strains for BNF in various environments, with a view to recommending adapted and stable genotypes. The aim of this work was to evaluate the performance and productive stability of elite common bean lines of the carioca group developed under BNF. The lines were obtained by crossing the genitors CNFC10762 and the wild accession G234999A, which has a high BNF rate but few favorable agronomic characteristics. After backcrossing, the progenies that were advanced and selected under BNF were obtained. The 15 elite lines (L) obtained and three check genotypes were evaluated in six environments, made up of the combination of location/harvest/year. Two experiments were conducted in each environment, one with nitrogen fertilization of 120 kg ha⁻¹ of nitrogen through mineral fertilizers and the other inoculated with a mixture of *Rhizobium tropici* and *R. freirei* without mineral nitrogen fertilization. The experimental design was randomized blocks with three replications, and the plots were made up of three three-metre rows spaced 0.5 m apart. Individual and joint analyses of variance were carried out for grain yield and the stability analysis was done using the WAASB method, which combines the predictive capacity of the BLUP mixed model with the graphical tools of the AMMI model. The effect of the L x FN interaction was significant ($P < 0.01$), with the genotypes performing better when there was nitrogen fertilization. Among these strains, CNFC10762 and CNFC20367 had the best performance and productive stability when both N sources were considered, i.e. they have dual aptitude characteristics and are adapted to both mineral N and BNF systems. For inoculated environments, the control CNFC10762 and the genotypes CNFC20389, CNFC20367 and CNFC20379 stood out, showing the best relationship between productive performance and stability. Common bean breeding was unable to develop lines, originating from wild germplasm, that are more productive than the controls genotypes developed under an exclusive system of mineral N fertilization. The lines from this work will be indicated as progenitors to form new breeding base populations.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; BNF; GXE interaction; adaptability; WAASB.

² Advisor: Prof.^a Dr.^a Patrícia Guimarães Santos Melo. EA – UFG
Co-Advisor: Dr. Leonardo Cunha Melo. Embrapa Arroz e Feijão.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta exigente em termos nutricionais e o nitrogênio é o elemento mais requerido (Broughton et al., 2003). É um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas, em especial as que têm grãos com alto valor proteico, visto que o nitrogênio compõe a estrutura das proteínas. Na cultura do feijão-comum o nitrogênio tem sido oferecido, predominantemente na sua forma mineral, apesar de poder se beneficiar também da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Isto se dá pela interação mutualística de bactérias diazotróficas e as raízes da planta, sendo assim uma simbiose em que a planta fornece exsudatos, e a bactéria fixa nitrogênio gasoso (N₂) e torna disponível a planta na forma de amônia (NH₃) (Hungria et al., 2007).

O feijão-comum é naturalmente uma planta que tem baixa taxa de FBN em comparação com outras leguminosas (Martínez-Romero, 2003; Hardason, 2004; Peoples et al., 2009), e por isso tem sido pouco utilizada em produções comerciais no Brasil. Com o avanço de estudos de substituição parcial da adubação nitrogenada (Brito et al., 2015; Akter et al., 2018; Ramires et al., 2018; Barbosa et al., 2020; Oliveira et al., 2021; Henrique et al., 2021), na seleção de estirpes adaptadas à simbiose com o feijão (Mercante et al., 2017; Massa et al., 2020; Del-Canto et al., 2023), aliado ao desenvolvimento de linhagens que combinem boas características gerais agronômicas e boa taxa de FBN, a utilização da inoculação vem ganhando espaço principalmente associada a adubação química de N em doses menores. Por meio do processo de melhoramento genético, a FBN pode ser otimizada e gradativamente ampliada dentro desses programas, a fim de estimular o uso desse sistema de fornecimento de N desde as primeiras etapas do melhoramento vegetal.

A FBN é uma das formas mais sustentáveis de fornecimento de nitrogênio para as plantas, visto que a adubação nitrogenada mineral apresenta grande risco de contaminação do solo e de corpos hídricos. O processo de fabricação desses adubos necessita de muita energia vinda de combustíveis fósseis, além disso, a maioria do adubo nitrogenado brasileiro é importado. Estas características elevam o custo da adubação nitrogenada, além do elevado potencial de lixiviação do nitrogênio, devido à alta mobilidade do elemento no solo (Raun et al., 1999; Lara-Cabezaz & Pádua, 2007; Hungria et al., 2007; Reetz Junior, 2016; Hungria & Nogueira, 2022). Com isso, a adubação com nitrogênio mineral é entendida como uma prática pouco sustentável.

A evolução da agricultura nos últimos anos tem exigido dos programas de melhoramento vegetal soluções cada vez mais tecnológicas, que condizem com as

necessidades contemporâneas, tanto em questões socioeconômicas, quanto ambientais, estando sempre em pauta a sustentabilidade. O melhoramento genético para FBN é baseado na seleção de genótipos que possuam efetividade e eficiência de nodulação, massa de nódulos, responsividade à inoculação de rizóbio, e boa produção de grãos (Barros et al., 2013). Essas características, aliadas às características agronômicas favoráveis, resultam em um genótipo superior e possivelmente uma nova cultivar. As linhagens melhoradas exclusivamente sob sistema de FBN em estágios avançados nos programas correspondem à uma fonte de alelos favoráveis para alta capacidade de fixar N_2 .

O controle genético para o caráter de FBN ainda tem muitas lacunas, porém já houveram avanços. Atualmente há três formas de aumentar a eficiência simbiótica: aumentando o número e massa de nódulos; elevando a atividade das enzimas envolvidas no processo; e retardando a senescência dos nódulos para estender o tempo de fixação e aumentar sua eficiência. O retardo da senescência pode ter papel importante, pois normalmente em legumes, durante a formação das vagens, há maior demanda de nitrogênio e nessa fase a simbiose já se encontra enfraquecida (Zhou et al., 2021). Há diversos fatores bióticos e abióticos que influenciam na senescência dos nódulos e no processo como um todo da FBN, tornando a interação da planta com o ambiente elevada.

A interação de genótipos com ambientes (GxA) deve ser levada em consideração visto que influencia todo o processo de FBN. Trabalhos de interação GxA na cultura do feijão-comum são muito comuns (Ashango et al., 2016; Tavares et al., 2017; García-Díaz et al., 2018; Silveira et al., 2019; Zanella et al., 2019; Barcelos et al., 2020; Katuuramu et al., 2020; González et al., 2021; Ligarreto-Moreno & Pimentel-Ladino, 2022). Para a FBN, estudos de interação estão se tornando frequentes e auxiliando a entender a complexa interação simbiótica com o feijão (Fageria et al., 2014; Pereira et al., 2015; Dias, 2017; Argaw & Muleta, 2018; Barros et al., 2018; Dias et al., 2020; Karavidas et al., 2023). Para analisar a interação são necessários estudos de adaptabilidade e estabilidade, em vários ambientes com as duas formas de fornecimento de N, sendo uma utilizando N oriundo somente de adubos químicos e outro somente da FBN. Para essas análises é necessário experimentos multiambientais que expõem os genótipos as variações edafoclimáticas, captando diferentes comportamentos (Melo et al., 2007).

Devido às mudanças climáticas que estão previstas para o mundo nos próximos anos (Nelson et al., 2014; Parmesan et al., 2022), há necessidade de se encontrar genótipos com estabilidade de produção sob condição de FBN no intuito de tornar a produção de feijão-

comum cada vez mais ecologicamente correta e economicamente viável, diminuindo a adubação nitrogenada gradativamente. Entre as metodologias disponíveis, o método proposto por Olivoto et al. (2019a) integra métodos já conhecidos como as metodologias REML/BLUP e AMMI. Ao utilizar modelos de efeitos mistos, há facilidade em trabalhar com dados desbalanceados e conseguir estratificar os efeitos de ambiente e genótipo. A análise gráfica de componentes principais do método AMMI e a acurácia preditiva do modelo misto REML/BLUP são agregadas no modelo gerando um índice de estabilidade chamado de WAASB que é acrônimo para Weight Average of Absolute Scores of BLUPS. Um índice de superioridade derivado é o WAASBY, que permite uma seleção simultânea para desempenho e estabilidade ao dar pesos a essas estimativas, se tornando uma importante ferramenta para tomada de decisão (Olivoto et al., 2019a).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade e potencial produtivo dos genótipos elite de feijão-comum do grupo carioca, desenvolvidos exclusivamente sob sistema de FBN, pelos métodos WAASB e WAASBY, com comparação multi-ambiental de dois tipos de fontes de nitrogênio: adubação nitrogenada mineral e inoculação de rizóbio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

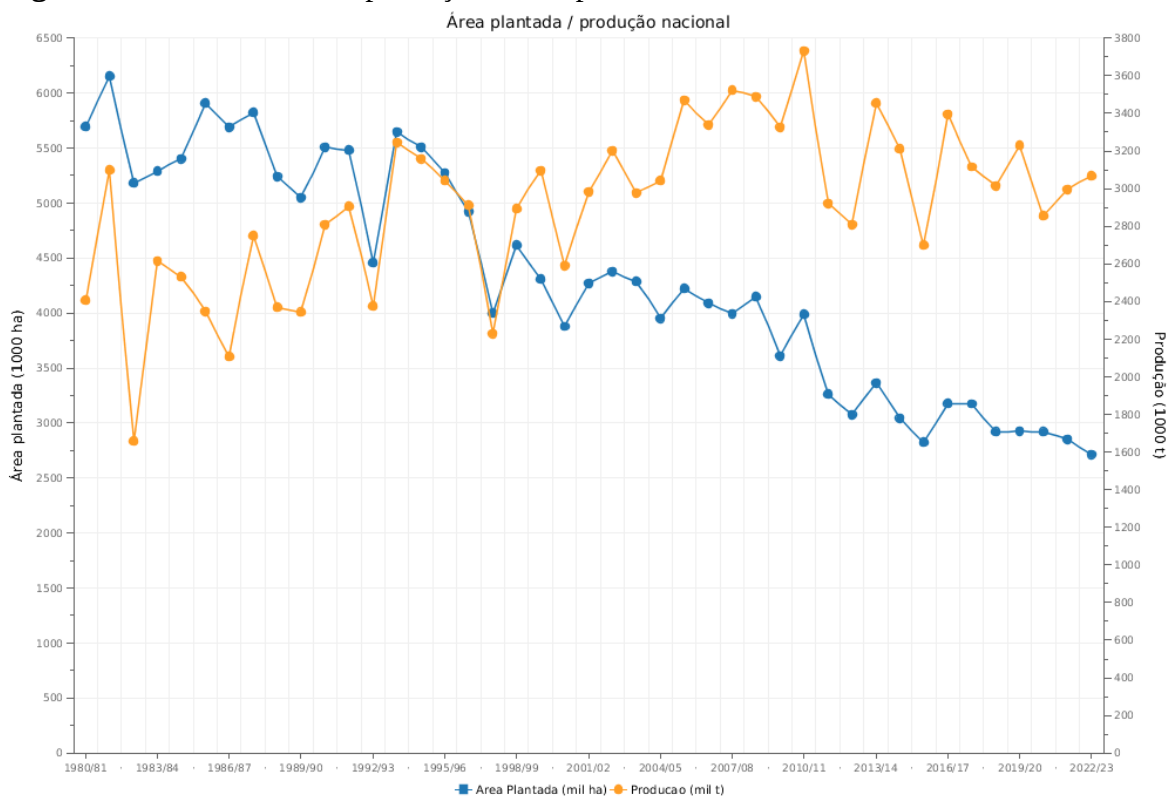
2.1 CULTURA DO FEIJÃO COMUM

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie vegetal pertencente à família Fabaceae e subfamília Faboideae. O gênero *Phaseolus* é composto por aproximadamente 70 espécies, e apenas cinco são cultivadas (Almeida et al., 2020). O gênero *Phaseolus* tem origem no continente americano e dois *pools* gênicos, na região dos Andes e na Mesoamérica, sendo a espécie de feijão-comum originária do *pool* mesoamericano (Bitocchi et al., 2012). A espécie tem 22 cromossomos e genoma com tamanho de ~637 Mbp (Varshney et al., 2010).

O cultivo de feijão-comum tem importância mundial, pois seu consumo é vasto na dieta humana, sendo uma das principais fontes de proteína de consumo direto (Cortés et al., 2013). Do ano de 2011 a 2017, a produção mundial do grão aumentou em 17,2%. Com o decaimento da área cultivada em 2018 e 2019, a produção também teve queda de 12,4%, mas voltou a ascender de 2020 até o momento (FAOSTAT, 2023).

O Brasil é o maior consumidor mundial de feijão e terceiro maior produtor, considerando todas as espécies que são chamados comumente de feijão (FAO, 2023). Já abordando a espécie *Phaseolus vulgaris*, o Brasil logra a primeira posição para consumo e produção mundial (Brasil, 2023). O destaque se dá devido à leguminosa ter papel fundamental na cultura brasileira. Apesar disso, o consumo de feijão *per capita* tem diminuído ao longo dos anos no Brasil, assim como a área de produção. Na safra 22/23 o país produziu 3.068.000 toneladas, representando 2,39% a mais que na safra anterior. Referente a área de produção, foram 2.716.000 hectares, 4,84% menor que no ano anterior. Ainda assim 95% da produção é destinada ao consumo nacional, e 5% para exportação. O país ainda importa uma quantidade relativamente baixa que corresponde a 100.000 toneladas do grão. A produtividade vem aumentando ao longo dos anos e nessa safra chegou a 1.130 kg ha⁻¹, 7,59% a mais que na safra do ano passado (CONAB, 2023). A série histórica de produção em função da área correspondente ao período entre a safra de 1980 até 2022 está demonstrada na Figura 1.

Figura 1. Série histórica de produção e área plantada da safra de 1980/1981 a 2022/2023.



Fonte: CONAB, 2023.

As espécies da família das leguminosas são frequentemente consideradas fontes acessíveis de proteína. Os grãos de feijão-comum são ricos em proteínas, em especial a faseolamina, que é uma glicoproteína que possui efeito de inibição da digestão de amido, assim como sua absorção, sendo assim inibidora da enzima alfa-amilase. Tem papel na redução do colesterol e do câncer (Colaço et al., 2014). Além dessa importante proteína, o feijão ainda é uma excelente fonte de minerais, ferro e fibra alimentar (Broughton et al., 2003).

Tanto os consumidores quanto os produtores de feijão-comum têm suas preferências quanto à planta e ao grão. A preferência dos produtores é de plantas com arquitetura ereta e menos ramificações, que facilitariam a colheita direta mecanizada, diminuindo a perda, assim como cultivares com maior potencial produtivo e resistência as principais doenças da cultura (Melo et al., 2011; Melo et al., 2022)

Os grãos de feijão-comum têm cores, formatos e tamanhos diferentes. São separados por diversos grupos comerciais. Existem mais de 10 grupos comerciais de feijão-comum, porém, a maioria dos consumidores brasileiros tem preferência por grãos dos grupos carioca e preto (Carneiro et al., 2012).

O feijão-comum se destaca no Brasil pela sua característica de boa adaptação edafoclimática (Broughton et al., 2003), sendo plantado praticamente o ano todo em várias regiões do país, com destaque para os estados do Paraná, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás, que são os maiores produtores (Conab, 2023). O fato de ser plantado nas três safras anuais contribui para que sempre tenha produto novo em estoque, favorecendo a preferência do consumidor, além de seu ciclo relativamente curto e estabilidade de mercado, tornando também atrativo aos produtores (Araújo et al., 2011).

2.2 NITROGÊNIO

Os macro e micronutrientes são essenciais às plantas, e um bom manejo nutricional permite que as plantas expressem seu potencial de desenvolvimento. O nitrogênio (N) é um dos macronutrientes que as plantas precisam em maior quantidade, principalmente por fazer parte de diversas reações metabólicas e estruturais, como a fotossíntese, a composição da clorofila, e por ser constituinte dos ácidos nucleicos e das proteínas (Malavolta, 2006). Sendo o feijão uma fonte proteica, torna-se indispensável um bom fornecimento de nitrogênio.

O elemento é absorvido pelas plantas de diversas maneiras: Na forma de ureia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) e aminoácidos pelas raízes e folhas; na forma nítrica (NO_3^-) através de adubos orgânicos ou minerais, ou em condições naturais; na forma de amônio (NH_4^+), por meio da mineralização da matéria orgânica e de adubos nitrogenados (Malavolta, 2006); e pela transformação de N atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), e por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Adams et al., 2016).

A adubação nitrogenada e a FBN são os principais aportes de nitrogênio para as leguminosas, porém a adubação mineral de nitrogênio apresenta riscos ambientais, além de custo elevado. O uso de adubos nitrogenados em solos tropicais tem uma perda de cerca de 50%, essa perda ocorre principalmente pela lixiviação, provocado pelas chuvas e/ou irrigação. O nitrogênio que é perdido alcança os lençóis freáticos e contamina aquíferos subterrâneos, rios e lagos. O nitrogênio também pode ser perdido pela volatilização e pela desnitrificação, contribuindo para o aumento da emissão de gases de efeito estufa (Straliotto et al., 2002).

2.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN)

A FBN é uma alternativa sustentável para o fornecimento de nitrogênio principalmente para culturas leguminosas, como a soja e o feijão (Thilakarathna & Raizada, 2018). A FBN é uma interação mutualística entre raízes e bactérias diazotróficas. Essas bactérias têm a capacidade de transformar o nitrogênio gasoso atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), catalisada pela enzima nitrogenase, tornando-o disponível à planta. Esse processo simbiótico é a forma mais sustentável de aporte de nitrogênio para as plantas de feijão-comum. Os rizóbios, que são as bactérias fixadoras de N em leguminosas, associam-se às raízes da planta, beneficiam-se de fotossintatos, e fornece N fixado na forma de aminoácidos, amidas e ureídos (Malavolta, 2006; Cassini & Franco, 2011).

Os rizóbios pertencem a família Rhizobiaceae. Os quatro principais gêneros são: *Bradyrhizobium*, *Ensifer*, *Azorhizobium* e *Rhizobium*. O gênero *Rhizobium* possui as espécies que mais se destacam na nodulação do feijão e, portanto, são os mais estudados para esse fim. As estirpes de rizóbio devem apresentar boa adaptabilidade e boa eficiência na fixação (Martínez-Romero et al., 1991). Nesse sentido, destacam-se as espécies mais estudadas e com maior eficiência na FBN que são: *R. etli*, *R. tropici*, *R. freirei*, *R. phaseoli* (Segovia et al., 1993; Dall'Agnol et al., 2013; Mercante et al., 2017). Dentre as espécies citadas a que apresenta maior eficiência na inoculação do feijão-comum é a *R. tropici* (Cassini & Franco, 2011). Além disso, apresenta maior tolerância a estresses e são simbioticamente mais estáveis (Martínez-Romero et al., 1991).

O processo de fixação inicia quando o rizóbio entra em contato com a rizosfera. Durante o processo de germinação, a plântula exsuda compostos, em especial flavonóides e antocianidinas, que são reconhecidos pela bactéria, e ativam o gene *nodD* presente em seu plasmídeo. A transcrição dos alelos dos três genes *nod ABC* é induzida através da ação do produto protéico do gene *nod D* e os componentes exsudados (Mylona et al., 1995).

Por meio da ativação dos genes, o rizóbio passa a produzir os fatores *nod*, que são oligossacarídeos lipoquitínicos responsáveis pelas mudanças que ocorrerão no desenvolvimento do macrossimbionte, que é a redução da defesa da planta, a divisão das células corticais e o curvamento do pêlo radicular. O curvamento torna mais adequado à adesão do rizóbio. Após a adesão ocorre uma dissolução da parede celular do pêlo absovente e a bactéria penetra até as células corticais da raiz, formando uma estrutura chamada de cordão de infecção, que transporta a bactéria para dentro do meristema do nódulo. Já no interior dessa estrutura, as células da bactéria aumentam a multiplicação e começam a formar

os primórdios do nódulo. Quando atinge a região cortical das células do macrossimbionte, o rizóbio passa para o interior e, então, adapta-se à sua nova função de fixação de nitrogênio, e passa a ser chamada de bacteroide (Cassini & Franco, 2011).

Após a infecção, a planta responde produzindo proteínas específicas, chamadas de nodulinas. A leghemoglobina é uma dessas proteínas, a qual possui a coloração avermelhada e alta afinidade com o oxigênio. Portanto, tem função de regular a tensão de O₂ no interior do nódulo e proteger a enzima nitrogenase. A nitrogenase é a principal enzima responsável pela FBN e atinge o pico no florescimento do feijão-comum (Franco et al., 1979). Essa é irreversivelmente inativada na presença de oxigênio, portanto, a proteína tem uma importante função, pois a FBN requer condições anóxicas ou quase (Mylona et al., 1995).

2.4 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA FBN

Nos últimos anos, o foco na pesquisa de leguminosas transitou do melhoramento de apenas espécies economicamente importantes para também espécies promissoras e subutilizadas, cujos recursos genéticos têm o potencial de enfrentar desafios globais, como segurança alimentar e as mudanças climáticas (Sahruzaini et al., 2020).

No Brasil, o melhoramento genético de feijão comum é realizado em sua maior parte por instituições públicas, como a Embrapa, o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-PR), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) (Coelho et al., 2017). Empresas privadas como a Terra Alta (TAA) e Agronorte também atuam no melhoramento do feijão-comum. Esses programas têm dado significativa contribuição para o desenvolvimento de cultivares de feijão-comum, com características favoráveis para produtores e consumidores.

O foco dos programas de melhoramento de feijão-comum é a melhoria da planta e seu produto, o grão. As principais características melhoradas são resistências às principais doenças da cultura, arquitetura, ciclo, qualidade de grão, e maior rendimento de grãos (Melo et al., 2011; Jiménez, 2019; Nadeem et al., 2021). A arquitetura preferencial por parte dos produtores é a ereta, que auxilia na minimização de perdas em colheita mecanizada, menor incidência de doenças, pois há maior aeração, além do aumento da qualidade dos grãos, devido à menor umidade durante a colheita (Souza et al., 2013; Melo et al., 2022). Em relação ao ciclo, em algumas situações há preferência pela precocidade, devido ao retorno

rápido do capital investido, maior flexibilidade para as janelas de cultivo, economia do uso da água em sistemas irrigados, escape de épocas de alta densidade pragas e doenças, e de épocas de escassez hídrica (Ribeiro et al., 2004; Melo et al., 2019). Já na qualidade comercial dos grãos do grupo carioca, a preferência de consumidores é por grãos de cor clara, tamanho e forma padronizada e com qualidade culinária. Para produtores que necessitam armazenar o grão, há preferência por grãos com lento escurecimento (Pereira et al. 2021; Silochi et al., 2021).

No início da década de 1960, iniciaram estudos de FBN em feijão-comum, com análise de características como solo, cultivar e gênero de bactérias que pudessem influenciar na interação rizóbio x planta (Döbereiner & Ruschel, 1961). Ao longo dos anos os estudos de outros fatores de interferência na interação aumentaram: ciclo do feijão-comum (Barradas et al., 1989; Boddey et al., 1996), sensibilidade da interação a temperaturas elevadas e baixa umidade do solo (Peres et al., 1994; Hungria & Vargas, 2000), e estirpes nativas que são capazes de contribuir para uma FBN eficiente (Vargas et al., 2000).

Mesmo que o feijão-comum na década de 1990 foi considerado a leguminosa mais ineficiente em fixar nitrogênio (Herridge & Danso, 1995), com a atual pauta de sustentabilidade, a característica volta a ser necessária, visto a sua contribuição ambiental e socioeconômica. A razão da ineficiência da cultura na FBN pode ser explicada está associada além dos fatores bióticos e abióticos, com a grande diversidade de rizóbios endógenos do Brasil que são altamente competitivos e apresentam baixa eficiência de fixação (Vargas et al., 2000; Ferreira et al., 2013). A variabilidade genética do feijão-comum é extensa, e acessos silvestres e genótipos selecionados para essa característica podem ser usados como fonte de alelos. Para uso imediato, é necessário a seleção de cultivares e linhagens já melhoradas sob condição de adubação mineral de nitrogênio, que tenham boa eficiência em FBN (Ferreira et al., 2013).

O entendimento do controle genético de uma característica é essencial para os programas de melhoramento entenderem melhor a regulação genética do caráter. Pereira et al. (1993) evidenciaram um aumento do número de nódulos em linhagens de feijão-comum após três ciclos de seleção recorrente, indicando que o número de nódulos é um caráter herdável. Bliss (1993) sugestionou que o número de nódulos poderia ser critério para estimar a capacidade de FBN. As evidências que apontam para a relação do número de nódulos e o peso de nódulos com a capacidade de fixação permitiram o desenvolvimento de um procedimento padrão para avaliação do caráter.

A identificação da fisiologia e dos fatores genéticos associados ao caráter, permite o desenvolvimento de marcadores genéticos associados a altas taxas de FBN. A falta de um método rápido, simples e econômico para mensurar a FBN impacta em um melhoramento genético limitado. Apesar da dificuldade de mensuração da FBN, características como produtividade de grãos, fotossíntese, biomassa, morfologia radicular, e nodulação podem ajudar na compreensão da simbiose (Diaz et al., 2017; Fenta et al., 2020). Estratégias para quantificação indireta como a estimação da porcentagem de nitrogênio derivado da atmosfera auxiliam na detecção do aproveitamento do nitrogênio pela fixação. Sendo assim, a compreensão dessas características, como o número e peso de nódulos e a porcentagem de N atmosférico, permitem um mapeamento genético desses caracteres e um melhor entendimento dos fatores genéticos regulatórios da FBN (Oladzad et al., 2020).

2.5 INTERAÇÃO GENÓTIPO COM AMBIENTE

A simbiose da FBN tem relação intrínseca com a interação de genótipo com ambiente (GxA). Essa interação tem como definição a alteração no desempenho relativo dos genótipos em virtude das diferenças entre ambientes (Faria et al. 2009).

O melhorista usa a ferramenta de zoneamento agrônômico para reduzir estatisticamente o efeito de interação, separando em microrregiões homogêneas em vários locais de uma macrorregião (Duarte & Zimmermann, 1991; Pacheco et al., 2003). Outra alternativa utilizada para contornar a interação é identificar genótipos que são adaptáveis a diversos ambientes, e que apresentam estabilidade fenotípica.

Os trabalhos de interação de genótipos com ambientes para FBN vêm sendo abordados com frequência para a cultura do feijão. Faria et al. (2009) avaliaram os efeitos da interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos do feijão-comum de diferentes grupos comerciais com a finalidade de orientar programas de melhoramento visando o desenvolvimento de cultivares superiores. Conduziram experimentos em duas safras e em três locais. Foram avaliados 20 genótipos de feijão-comum para as características de ciclo, maturação fisiológica e produtividade de grãos. Para a análise de adaptabilidade foi utilizada a metodologia proposta por Eberhart & Russel (1966). Concluíram que a interação GxA, os genótipos e ambientes foram significativos e puderam destacar sete genótipos com ampla adaptabilidade e produtividade de grãos.

Fageria et al (2014) avaliaram a resposta a inoculação com e sem adubação nitrogenada de 15 genótipos de feijão-comum durante dois anos consecutivos. O

experimento foi composto por quatro tratamentos, sendo a testemunha, inoculação sem adubação de N, inoculação + adubação de 50 kg ha⁻¹ de N e inoculação + adubação de 120 kg ha⁻¹ de N. Foram avaliadas as características de rendimento de palha, produtividade de grãos e componentes de produtividade. Constataram interações significativas para épocas, locais, fontes de N e genótipos. Concluíram que somente com a inoculação não foi possível atingir alta produtividade de grão, e para os genótipos trabalhos é necessário a adubação de N. A melhor média de rendimento de grãos (3.254 kg ha⁻¹) foi com adubação de 120 kg ha⁻¹ associado a inoculação, que superou em 12% a adubação de 50 kg ha⁻¹ + inoculação.

Pereira et al. (2015) avaliaram 17 linhagens elite, com grãos do grupo carioca, objetivando verificar a presença de interação entre as linhagens e as fontes de nitrogênio, assim como identificar genótipos que se destacassem na produção quando em condição de inoculação. Os experimentos foram conduzidos em quatro ambientes, com uma combinação de quatro locais, dois anos e todos na safra de inverno. Com uma adubação de 110 kg ha⁻¹ de N nos ambientes nitrogenados e inoculação com *R. tropici* estirpe SEMIA 4080 em ambientes inoculados foi observado que a interação entre as linhagens elite e o tipo de fornecimento de nitrogênio não foi significativo, mostrando que é possível selecionar genótipos para uso simultâneo nos dois sistemas de cultivo.

Dias et al. (2020) avaliaram 15 genótipos de feijão preto incluindo cinco cultivares e 10 linhagens elite, em dois tipos de experimentos, um conduzido em múltiplos ambientes e avaliando características agrônômicas gerais e outro conduzido em dois ambientes analisando características de nodulação. Utilizou-se a adubação nitrogenada de 80 kg ha⁻¹ de N nos experimentos nitrogenados e inoculação com a mistura de *R. tropici* (SEMIA 4077 e 4088) e *R. freirei* (SEMIA 4080). As características avaliadas foram: produção de grãos, peso de 100 grãos, rendimento de peneira e reações a doenças. Foram constatadas maiores produções em ambientes com fertilização de nitrogênio. As cultivares BRS FP403 e BRS Esteio desempenharam bem nas características apresentando alta adaptabilidade e estabilidade, independente do fornecimento de nitrogênio. Os autores concluíram que os genótipos com melhores características de nodulação não foram os mais produtivos. Para combinar alta nodulação com alta produtividade de grãos é necessário um programa de melhoramento exclusivamente com inoculação cruzando genótipos com características de alta nodulação com genótipos com alto rendimento de grãos.

A interação pode ser de natureza simples e complexa. Simples se refere a diferença entre genótipos nos ambientes. Complexa já se refere a uma falta de correlação

entre genótipos em ambientes diferentes. O melhoramento se torna mais difícil se houver a falta de correlação, indicando que há genótipos que respondem diferente em outros ambientes (Cruz et al., 2012). Nesse caso, faz-se necessário análises de adaptabilidade e estabilidade.

2.6 ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

Adaptabilidade se refere a capacidade de genótipos aproveitarem o estímulo ambiental de forma vantajosa. Estabilidade se refere a capacidade de genótipos de mostrar previsibilidade de comportamento em função de estímulo ambiental (Costa et al., 1999). Diversos trabalhos que avaliaram diferentes métodos de adaptabilidade e estabilidade são comuns na cultura do feijão: Carvalho et al., (2006); Oliveira et al., (2006); Pereira et al., (2009a); Barili et al., (2015); Tavares et al., (2017); Nascimento et al., (2021); Alves, (2022). Por outro lado, estudos envolvendo adaptabilidade e estabilidade para FBN na cultura do feijão-comum ainda são escassos, alguns relatos recentes foram encontrados na literatura Dias et al., (2015); Dias, (2017); Dias et al., (2020).

Quando a interação de genótipo com ambiente é elevada, a necessidade de selecionar genótipos superiores com boa adaptabilidade e estabilidade se torna imprescindível. Características complexas como a produtividade de grãos, que é regida por múltiplos genes sofre forte influência do ambiente na expressão do fenótipo (Pereira et al., 2016). A influência da interação GxA em características poligênicas no melhoramento de plantas torna o processo demorado e com recomendações específicas, visto que a interação é grande e há dificuldade em contorná-la.

Desde a década de 1950 foram propostos métodos para analisar a adaptabilidade e estabilidade mostrando que os componentes de variância podiam ser utilizados para separar os efeitos de interação. Houveram muitos avanços desde então com métodos com melhor capacidade preditiva e graficamente mais bem elucidados (Carvalho et al., 2017).

Pereira et al. (2009b) identificaram para a cultura do feijão-comum os métodos mais utilizados que também incluem os baseados em regressão (Eberhart & Russel, 1966; Cruz et al., 1989), não paramétricos (Lin & Binns, 1988 modificado por Carneiro, 1998; Annicchiarico, 1992) e o método de análise de interação multiplicativa dos efeitos principais aditivos (AMMI) (Gauch & Zobel, 1996). Na pesquisa comparando métodos de adaptabilidade e estabilidade, os autores concluíram que a utilização conjunta dos métodos de Lin & Binns, Lin & Binns modificado e Annicchiarico é recomendada, assim como a

utilização conjunta dos métodos de Eberhart & Russel, Cruz e AMMI. Houve também a conclusão de que o método de Lin & Binns modificado e Annicchiarico, isoladamente, são indicados para o uso no feijão-comum.

O modelo AMMI surgiu para facilitar a interpretação gráfica, entender o desempenho genotípico, a divergência genética, e quais ambientes propiciaram um melhor desempenho do genótipo (Duarte & Vencovsky, 1999). A análise agrega em um modelo a análise dos componentes principais do efeito multiplicativo da interação e a análise de variância de genótipo e ambiente, baseado nos seus efeitos aditivos (Chaves, 2001). Essa análise é bastante utilizada em pesquisas com feijão-comum (Carbonell et al., 2004; Melo et al., 2007; Pereira et al., 2008; García-Penã & Dias, 2009; Pereira et al., 2009a; Peña et al., 2012; Pereira et al., 2014; Farias et al., 2020).

Existem modelos que permitem tratar os efeitos de genótipo e ambiente como fixos ou aleatórios (Resende & Duarte, 2007). O uso dessas metodologias permite o estudo detalhado da variância do caráter e dos componentes de média (Maia et al., 2009). A acomodação de dados desbalanceados por perdas de parcelas ou por diferentes números de tratamentos nos experimentos, garante ao modelo REML/BLUP a característica de minimizar a complexidade de análises multiambientais.

A utilização do BLUP (*Best Linear Unbiased Predictor*) tem ótima acurácia preditiva pois prediz mínimos quadrados do erro e não viesados (Resende, 2007). Para estimar os valores genotípicos, o modelo considera os efeitos de variância que estão associados a efeitos aleatórios. Para isso utiliza-se o estimador de Máxima Verossimilhança Restrita-REML (*Restricted Maximum Likelihood*). Essa metodologia é eficiente tanto para dados balanceados, quanto para dados desbalanceados e não homocedásticos (Patterson & Thompson, 1971; Resende, 2002). A utilização dessa modelagem se dá principalmente no melhoramento de culturas perenes mas, ao longo dos anos, com o aumento da complexidade de dados e diversidade de experimentos, pesquisadores em culturas anuais como o feijão-comum estão utilizando cada vez mais o modelo (Faria, 2016; Carvalho et al., 2017; Olivoto et al., 2017; Abreu, 2018; Souza et al., 2018; Nascimento et al., 2023).

Em estudo comparando as análises AMMI e BLUP, Piepho (1994) destacou que o preditor BLUP oferece estimativas mais confiáveis para análises multiambientais. Os dois modelos podem ser vistos como diferentes abordagens para atingir o mesmo objetivo, que seria estimar o padrão de interação GxA por meio do resíduo. Entretanto, pensando exclusivamente na estrutura estatística, os modelos se tornam bem diferentes. O modelo

AMMI retém a maioria do padrão de interação no primeiro Eixo do Componente Principal de Interação – IPCA (*Interaction Principal Component Axis*) que é resultado do valor singular de decomposição – SVD (*Singular Value Decomposition*) da matriz de efeitos não aditivos, enquanto a maioria do resíduo é retido no último IPCA. Já o modelo BLUP estima os efeitos da análise de variância e atribui pesos aos efeitos (Piepho, 1994).

Visto que os dois modelos são utilizados de forma individual em diversos trabalhos, e aproveitando a capacidade preditiva de BLUP com as ferramentas gráficas do AMMI, Olivoto et al. (2019a) propuseram uma forma de agregar os dois métodos em um só. A principal investigativa para propor o método foi utilizar a matriz gerada por BLUP e submeter a uma análise de componentes principais utilizando o procedimento SVD. Na análise AMMI tradicional o primeiro IPCA deve explicar boa parte da variância e ao contrário, a interpretação pode estar viesada, pois os outros componentes principais podem estar retendo os efeitos da interação GxA.

Com objetivo de contornar esse problema, Olivoto et al. (2019a) propuseram um novo índice de estabilidade da média ponderada de escores absolutos de SVD da matriz de BLUP – WAASB (*Weighted Average of Absolute Scores from the SVD of the Matrix of BLUPs*) para os efeitos da interação GxA gerados por um modelo linear misto. O genótipo com o menor valor WAASB é considerado o mais estável, visto que há um menor desvio da média de performance entre os ambientes. O método propõe um gráfico bidimensional parecido com o AMMI, porém com o valor WAASB no eixo das ordenadas e a variável resposta no eixo das abscissas. O modelo ainda permite distribuir pesos entre performance e adaptabilidade dos genótipos com o índice de superioridade WAASBY.

Outra característica do método é a possibilidade de integrar dados de várias variáveis resposta em um único índice de fácil interpretação. É possível aplicar diferentes intensidades de seleção e afunilar a escolha de genótipos com altas performance e estabilidade. A análise de fatores proporciona um índice de estabilidade de múltiplas características – MTSI (*Multitrait Stability Index*) que gera um gráfico espiral ilustrando quais genótipos seriam selecionados baseados nos pesos distribuídos para estabilidade e performance (podem ser distribuídos para performance de cada variável) e na intensidade de seleção (Olivoto et al., 2019b)

Pesquisas com o método WAASB vêm sendo abordadas para a cultura da soja (Nataraj et al., 2021; Rajput et al., 2022; Abdelghany et al., 2021; Amrate et al., 2023), milho (Olivoto et al., 2021b; Yue et al., 2022, Huanuqueño et al., 2022), sorgo (Madhusudhana et

al., 2023), arroz (Sharifi et al., 2020; Sharifi et al., 2021; Huang et al., 2021; Abdelrahman et al., 2022; Lee et al., 2023; Sruthi et al., 2023), algodão (Vineeth et al., 2022; Iqbal et al., 2022), lentilha (Karimizadeh et al., 2020; Namdari et al., 2022), trigo (Verma & Singh, 2021a; Verma & Singh, 2021b; Tischler, 2021), cevada (Pour-Aboughadareh et al., 2021; Verma et al., 2021), feijão-fava (Rubiales et al., 2022a; Gela et al., 2022), alface (Silva et al., 2022), e grão-de-bico (Sellami et al., 2021; Rubiales et al., 2022b; Jorben et al., 2022). Para o feijão-comum não existem trabalhos publicados até o momento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DAS LINHAGENS

Os experimentos foram compostos por 15 linhagens elite de feijão-comum do grupo carioca e três testemunhas: Pérola, CNFC10762 E NORH54. A cultivar Pérola foi escolhida para comparação por ser uma cultivar bem aceita no mercado, devido às suas boas características produtivas e de qualidade de grãos, além da sua utilização em trabalhos anteriores de comparação de adubação nitrogenada e inoculação (Pelegri et al., 2009; Fageria et al., 2014; Pereira et al., 2015; Dias, 2017). A linhagem CNFC10762 foi escolhida como testemunha por ser o genitor recorrente do retrocruzamento que gerou as 15 linhagens do presente trabalho e pela utilização também em trabalhos anteriores de comparação de fontes de N (Pereira et al., 2015; Dias, 2017). O genótipo NORH54 foi escolhido por ser um mutante não-nodulante utilizado em diversos trabalhos de inoculação como testemunha (Hungria et al., 1999; Ferreira et al., 2000; Silva et al., 2017; Pacheco et al., 2020; Favero et al., 2022).

Para obter as linhagens avaliadas neste trabalho foram desenvolvidas, a partir de 2015, nove populações entre genótipos Elite X genótipos Silvestre com um retrocruzamento com genótipos Elite. Todas as gerações de melhoramento e progênies obtidas foram conduzidas utilizando exclusivamente a inoculação com rizóbio como fonte de nitrogênio. Todas as populações foram conduzidas da geração F₂ até F₄ pelo método do Bulk. Na geração F₄ em 2018, foi escolhida uma população com o melhor tipo de grão (CNFC10762 / G23499A // CNFC10762), para seleção de plantas individuais e obtenção de linhas compondo a geração F_{4:5}. Em 2019 e 2020 avaliaram-se 95 linhagens F_{4:5} e F_{4:6}, respectivamente. Os caracteres utilizados na seleção foram produtividade de grãos, massa de 100 grãos e aspecto visual de grãos, obtendo-se as 15 linhagens deste trabalho.

Todas as gerações e ensaios foram conduzidos sempre no inverno em Santo Antônio de Goiás. Até os ensaios avançados, como o do presente trabalho, nenhuma adubação química de nitrogênio ou qualquer outro aporte de N foi utilizado na condução dos experimentos. A inoculação foi realizada sempre seguindo a mistura de duas estirpes de *Rhizobium*: *R. tropici* (SEMIA 4077 e 4088) e *R. freirei* (SEMIA 4080), com registro no MAPA com densidade de 10⁹ células g⁻¹ de turfa. O acesso G23499A é um acesso silvestre do banco de germoplasma da Embrapa que possui boas características de FBN como número

e massa de nódulos, identificado em trabalho anterior (Sampaio et al., 2016; Moreira et al., 2017).

3.2 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram conduzidos em seis ambientes (combinações de local/safra/ano). Dois ambientes em Ponta Grossa (PG) no estado do Paraná, nas safras das “Águas” (21/22) e “Seca” (22/22). Três ambientes em Santo Antônio de Goiás (SAG) no estado de Goiás, na safra das “Águas” (21/22) e “Inverno” (21/21 e 22/22) e Ipameri (IPA) no estado de Goiás, na safra de “Inverno” (22/22). O período de semeadura da safra das “Águas” compreende de setembro a dezembro, da “Seca” de janeiro a março, e “Inverno” corresponde de maio a julho.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições e 18 tratamentos. As dimensões das parcelas foram de três linhas de três metros espaçadas a 0,5 metros, com 12 sementes/m. Em cada ambiente foram conduzidos dois experimentos (com e sem adubação mineral de nitrogênio). O ensaio com adubação nitrogenada foi aplicado 20 kg ha⁻¹ de N via fosfato monoamônico (MAP) na semeadura e 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura via ureia no estádio V4 (terceiro trifólio completamente aberto). No ensaio sem adubação mineral de N, as sementes foram inoculadas na proporção de 500 g de inoculante para 50 kg de sementes. O inoculante turfoso foi preparado no Laboratório de Biologia do Solo da Embrapa Arroz e Feijão utilizando duas estirpes de *Rhizobium*: *Rhizobium tropici* (SEMIA 4077 e 4088) e *Rhizobium freirei* (SEMIA 4080), ambas registradas no MAPA. A densidade utilizada foi de 10⁹ células g⁻¹ de turfa. Para auxiliar a adesão do inoculante foi adicionado solução de sacarose 10% na solução com o inóculo. A semeadura foi realizada logo após a inoculação, mantendo a viabilidade das bactérias. Ambos os ensaios foram adubados com 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O.

O plantio e todos os tratos culturais necessários para o desenvolvimento da cultura foram realizados de forma mecânica. O manejo técnico da cultura foi realizado de acordo com as recomendações agrônômicas, o controle de plantas daninhas, doenças e insetos-praga foi realizado por meio de pulverização mecanizada, quando necessário. Na safra de Inverno, os ensaios foram conduzidos em áreas de pivô central utilizando uma lâmina de irrigação de 400 mm totais durante todo o ciclo da cultura. A produtividade de grãos (kg ha⁻¹) foi avaliada por meio da colheita dos grãos produzidos por todas as plantas

da parcela. Após a colheita das plantas, estas foram trilhadas e os grãos foram secos até atingirem 13%.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3.3.1 Análises de variância

Inicialmente foram realizadas análises individuais de variância (ANOVA) dentro de cada ambiente (safra/local/ano) dividindo-os por experimento. Os resultados da ANOVA foram utilizados para verificar se os pressupostos da ANOVA foram atendidos ou não. Adotou-se o critério prático da relação de variâncias (Fmax) entre cada ambiente. Nesse caso, se o valor da relação entre as variâncias foi inferior a sete, considerou-se que os subgrupos foram homogêneos (Pimentel-Gomes, 2000). Para a realização da análise conjunta (dentro de cada ambiente) o efeito de linhagens elite (L) e fonte de nitrogênio (FN) foram considerados como efeito fixo, e o efeito de ambiente foi considerado como efeito aleatório. Foi empregado o seguinte modelo estatístico de acordo com o delineamento experimental:

$$Y_{ijs} = \mu + g_i + d_s + b_{(s)j} + (gd)_{is} + e_{isj}$$

em que:

Y_{ijs} : observação do *i*-ésimo genótipo sob *s*-ésima fonte de N no *j*-ésimo bloco;

μ : média geral;

g_i : efeito do *i*-ésimo genótipo;

d_s : efeito da *s*-ésima fonte de N;

$b_{(s)j}$: efeito do *j*-ésimo bloco dentro da *s*-ésima fonte de N;

$(gd)_{is}$: efeito da interação do *i*-ésimo genótipo com a *s*-ésima fonte de N;

e_{isj} : é o efeito do erro experimental associado à *isj*-ésima observação, assumindo $\varepsilon_{isj} \sim NID \cap (0, \sigma^2)$.

Posteriormente foi realizada a análise conjunta envolvendo todos os ambientes, nessa análise os efeitos de linhagens e fontes de nitrogênio também foram considerados como fixos os ambientes como efeito aleatório. A análise foi realizada segundo a seguinte expressão:

$$Y_{isjq} = \mu + g_i + d_s + a_q + b_{(q)j} + (ga)_{iq} + (gd)_{is} + (da)_{sq} + (gda)_{isq} + e_{isj}$$

em que:

Y_{isjq} : observação do *i-ésimo* genótipo sob *s-ésima* fonte de N no *j-ésimo* bloco *q-ésimo* ambiente;
 μ : média (constante inerente a todas as observações);
 g_i : efeito do *i-ésimo* genótipo;
 d_s : efeito da *s-ésima* fonte de N;
 a_q : efeito do *q-ésimo* ambiente;
 $b_{(q)j}$: efeito do *j-ésimo* bloco dentro do *q-ésimo* ambiente;
 $(ga)_{iq}$: efeito da interação do *i-ésimo* genótipo com o *q-ésimo* ambiente;
 $(gd)_{is}$: efeito da interação do *i-ésimo* genótipo com a *s-ésima* fonte de N;
 $(da)_{sq}$: efeito da interação da *s-ésima* fonte de N com o *q-ésimo* ambiente;
 $(gda)_{isq}$: efeito da interação tripla entre o *i-ésimo* genótipo, com a *s-ésima* fonte de N, e o *q-ésimo* ambiente;
 e_{isj} : é o efeito do erro experimental associado à *isjq-ésima* observação, assumindo $\varepsilon_{isjq} \sim NID \cap (0, \sigma^2)$.

Em todas as análises de variância a fonte de variação de genótipos foi decomposta retirando da análise principal as testemunhas. A segregação das testemunhas é justificada pela disparidade esperada das médias de produtividade para os genótipos melhorados sob adubação química de nitrogênio (testemunhas) e os genótipos melhorados exclusivamente sob inoculação (progênies do retrocruzamento CNFC10762 / G23499A // CNFC10762).

A acurácia seletiva (AS) foi estimada seguindo a expressão, $AS = \sqrt{1 - \frac{1}{F}}$ (Resende & Duarte, 2007), em que: F: valor do teste F calculado para os tratamentos.

A correlação de Spearman foi utilizada devido à natureza não-paramétrica que auxilia em situações de não atendimento ao pressuposto de normalidade quando baseado na média. As correlações foram calculadas para produtividade de grãos, utilizando os dados de médias em cada ambiente. Correlações com coeficientes entre 0,00 e 0,30 positivos ou negativos foram consideradas fracas; entre 0,31 e 0,60 positivos ou negativos foram consideradas moderadas; entre 0,61 e 1,00 positivos ou negativos foram consideradas fortes (Dancey and Reidy, 2011).

As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, a 10% de probabilidade. Esse procedimento é recomendável quando são esperadas pequenas diferenças entre os tratamentos,

como no caso de ensaios com genótipos elite (Zimmerman et al., 2014).

3.3.2 Relação de produtividade de grãos sob inoculação e adubação

Conforme Dias (2017), as relações entre produtividade de grão sob inoculação e adubação de N (RPIN), foram calculadas pela seguinte expressão:

$$RPIN_i = \left(\frac{PG_{inoc}}{PG_{nitro}} \right) \times 100$$

em que:

PG_{inoc} : produtividade de grão em ambiente inoculado;

PG_{nitro} : produtividade de grãos em ambiente nitrogenado.

O índice foi calculado em porcentagem a partir das médias de cada ambiente, e depois das médias gerais de todos os experimentos. O índice permite a análise da proximidade de média de um genótipo quando em adubação nitrogenada ou em inoculação.

3.3.3 Análise de estabilidade

O método WAASB (*Weighted Average of Absolute Scores from the SVD of the Matrix of BLUPs*) foi utilizado para estimar a estabilidade dos genótipos, e combina a capacidade preditiva do modelo linear de efeitos mistos BLUP, com o estudo de componentes principais e decomposição por valores singulares SVD (*Singular Value Decomposition*) do modelo AMMI (Olivoto et al. 2019a). Para obtenção dos BLUPs utilizou-se a equação de modelo misto

$$y = Xb + Zg + Wi + e$$

em que:

b: vetor dos efeitos fixos de bloco (bloco dentro de ambiente);

g: vetor dos efeitos genotípicos (fixo);

i: vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatório);

e: vetor de resíduos (aleatório);

X: matriz de incidência que associa o parâmetro desconhecido b, para o vetor y de dados;

Z: matriz de incidência que associa o parâmetro desconhecido g, para o vetor y de dados;

W: matriz de incidência que associa o parâmetro desconhecido i, para o vetor y de dados.

A produtividade nominal ($\hat{y}_{ij}$) foi estimada em função do escore IPCA1 do ambiente. Cada genótipo foi representado por uma reta pela seguinte expressão:

$$\hat{y}_{ij} = \mu_i + \text{IPCA1}_i \times \text{IPCA1}_j$$

em que:

$\hat{y}_{ij}$: produtividade nominal para o *i-ésimo* genótipo no *j-ésimo* ambiente;

μ_i : média geral do *i-ésimo* genótipo;

IPCA1_i : escore de IPCA1 do *i-ésimo* genótipo;

IPCA1_j : escore de IPCA1 do *j-ésimo* ambiente.

O índice de estabilidade WAASB foi estimado segundo a seguinte expressão:

$$\text{WAASB}_i = \sum_{k=1}^p |\text{IPCA}_{ik} \times \text{EP}_k| / \sum_{k=1}^p \text{EP}_k$$

em que:

WAASB_i : média ponderada dos escores absolutos do *i-ésimo* genótipo (ou ambiente);

IPCA_{ik} : escore do *i-ésimo* genótipo (ou ambiente) no *k-ésimo* IPCA;

EP_k : quantidade da variância explicada pelo *k-ésimo* IPCA.

3.3.4 Análise de superioridade

O índice de superioridade WAASBY foi estimado com o objetivo de selecionar genótipos que combinem alto desempenho e estabilidade (Olivoto et al. 2019a). O método WAASBY pode ser entendido pela razão WAASB/Y , que seria a possibilidade de dar pesos diferentes ao desempenho da variável resposta dos genótipos, baseando-se nos valores de WAASB. O WAASBY é representado por valores que vão de 0 a 100. Quanto mais próximo de 100, mais o genótipo terá característica ideotípica.

O índice WAASBY foi estimado segundo a seguinte equação:

$$\text{WAASBY}_i = \frac{(rG_i \times \theta_Y) + (rW_i \times \theta_S)}{\theta_Y + \theta_S}$$

em que:

WAASBY_i: índice de superioridade para o *i-ésimo* genótipo;

θ_Y: peso para a variável resposta;

θ_S: peso para a estabilidade;

rG_i: valor redimensionado para produtividade de grãos, para o *i-ésimo* genótipo, $rG_i =$

$$\frac{100-0}{G_{\max}-G_{\min}} \times (G_i - G_{\max}) + 100$$

rW_i: valor redimensionado para WAASB, para o *i-ésimo* genótipo; $rW_i = \frac{0-100}{W_{\max}-W_{\min}} \times (W_i - W_{\max}) + 0$

G_i: variável resposta para o *i-ésimo* genótipo;

W_i: variável resposta para o *i-ésimo* genótipo.

Todos as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2023) com auxílio do pacote metan (Olivoto & Lúcio, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES INDIVIDUAIS DE VARIÂNCIA

O resumo das análises de variância individuais de cada experimento se encontra na Tabela 1. Observou-se diferença significativa, ao nível de 5% entre as linhagens em seis experimentos (5 nitrogenados e 1 inoculado), inferindo que em 50% dos experimentos os genótipos tiveram variabilidade de desempenho e em ambientes nitrogenados tiveram melhor capacidade discriminatória. Devido à decomposição de genótipos, separando as testemunhas da análise, em 8 de 12 experimentos as médias das testemunhas foram superiores. Visto que apenas as linhagens elite foram desenvolvidas exclusivamente em ambiente inoculado, desde a geração F₂, é esperado comportamento distinto quando há fornecimento exclusivo de N via adubo mineral.

Na Tabela 1, em geral pode-se observar menores médias de produtividade em ambientes com inoculação. A média dos experimentos inoculados foi de 1.535,5 kg ha⁻¹ e de experimentos nitrogenados de 1.877,3 kg ha⁻¹. Em trabalhos de adubação nitrogenada x inoculação, médias de produtividade maior em ambientes nitrogenados são comuns (Fageria et al., 2014; Pereira et al., 2015; Dias, 2017; Dias et al., 2020; Reinprecht et al., 2020), e a razão para tal diferença se dá pela interferência de diversos fatores bióticos e abióticos na simbiose entre planta e bactéria, dificultando a previsibilidade de resposta dos genótipos a inoculação. Além disso, devido a origem americana do feijão-comum, há forte competição de rizóbios endógenos que possuem alta competitividade pelos sítios de infecção, porém baixa eficiência de nodulação.

Ao analisar o contraste entre testemunhas e linhagens, é possível observar que a maioria das situações não houve diferença significativa entre as linhagens e as testemunhas (P<0,05). Era esperado que o desempenho da linhagens fosse superior pelo menos em ambientes de FBN, pois foram desenvolvidas nestas condições. Porém deve-se avaliar positivamente este resultado, pois as testemunhas Pérola e CNFC10762 são genótipos com ótimas características produtivas, além do CNFC10762 ser o genitor recorrente, que gerou as 15 linhagens trabalhadas. Outro aspecto que contribui foi o cruzamento com genitor silvestre o que pode afetar o desempenho das progêies.

Os valores de coeficiente de variação (CV) variaram de 11,0% a 21,3%, com valor médio de 16,4% denotando alta precisão experimental (Resende & Duarte, 2007). No mesmo sentido, as estimativas de acurácia foram altas (AS>70%) em 11 de 12 experimentos.

Apenas o experimento inoculado em Ipameri Inverno 22/22 obteve acurácia entre 50% e 70%, demonstrando acurácia moderada (Resende & Duarte, 2007).

Os ambientes que tiveram problemas nas conduções dos ensaios foram: Ponta Grossa Seca 22/22 em que a lavoura sofreu déficit hídrico e infestação de mancha angular; Santo Antônio de Goiás águas 21/22 que sofreu com excesso de chuvas; Ipameri Inverno 22/22 que sofreu com infestação de plantas daninhas e estande baixo, com plantabilidade comprometida. Esses ambientes tiveram baixas produtividades relativas e isso pode ter afetado a capacidade discriminatória tanto em experimentos de adubação de nitrogênio quanto em ambientes inoculados.

Trabalhos vêm mostrando que com a inoculação é possível atingir rendimento de grãos superiores a 4.000 kg ha^{-1} (Hungria et al., 2013; Andraus et al., 2016; Peres et al., 2016; Barros et al., 2018; Steiner et al., 2019). Uma das vantagens do aproveitamento da interação com as bactérias fixadoras de N em relação a adubação nitrogenada é o custo/benefício. Considerando custo médio de R\$ 2.500 ton^{-1} de ureia, que contém 45% de N em sua composição, e R\$ 2.500 ton^{-1} de MAP, que possui 10% de N em sua composição, a adubação de 120 kg ha^{-1} de N, conforme realizada nos tratamentos com adubação nitrogenada fica em torno de R\$ 1.060,00 ha^{-1} . A aplicação de oito doses de inoculante, tem custo médio por dose R\$ 8,00 totalizando aproximadamente R\$ 64,00 ha^{-1} , correspondendo a uma economia de 94%. Contudo, é entendido que a substituição total ou parcial da adubação nitrogenada pela inoculação ainda carece de muito estudo e desenvolvimento de cultivares e estirpes de rizóbio que performem de maneira previsível e satisfatória na interação simbiótica (Coelho et al., 2021).

A diferença entre adubação e inoculação não é atribuída somente no custo, mas também à redução de impactos ambientais do processo de inoculação. A adubação de N inadequada pode gerar grandes prejuízos para o ambiente, por processos de lixiviação, que contamina os lençóis freáticos, e contribui para o aumento da emissão de gases de efeito estufa (Hungria & Mendes, 2015; Oliveira Junior et al., 2015; Vasconcelos, 2016).

Tabela 1. Resumo das análises de variância individuais para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em 15 linhagens elite de feijão-comum, grupo carioca, em experimentos conduzidos em cada ambiente com inoculação e adubação nitrogenada.

Local	Safra	Época	FN ¹	QML ²	QMLvsT ³	QMe ⁴	p-valor _L ⁵	p-valor _{LvsT} ⁶	Médial ⁷	Média _T ⁸	CV ⁹	AS ¹⁰
Santo Antônio de Goiás - GO	Inverno	2021/2021	Inoculado	478468	400439	112014	0,000	0,067	1848	1764	17,7	93,3
			Nitrogenado	213630	1206943	166120	0,266	0,011	2165	2079	19,4	70,1
Ponta Grossa – PR	Seca	2022/2022	Inoculado	28213	184	21835	0,262	0,927	1202	1207	12,4	90,9
			Nitrogenado	205238	5122	75164	0,008	0,795	1438	1411	19,5	88,0
Ponta Grossa – PR	Águas	2021/2022	Inoculado	116241	1525057	87755	0,244	0,000	1966	2417	14,5	87,2
			Nitrogenado	235449	5536971	84389	0,007	0,000	2184	3044	12,4	90,1
Santo Antônio de Goiás – GO	Águas	2021/2022	Inoculado	34329	15098	41514	0,636	0,550	1189	1144	17,2	92,1
			Nitrogenado	108315	164971	45959	0,020	0,066	1512	1661	13,9	93,8
Ipameri – GO	Inverno	2022/2022	Inoculado	50850	56310	59424	0,608	0,337	1126	1213	21,3	53,4
			Nitrogenado	159063	187757	72578	0,030	0,116	1271	1429	20,7	82,6
Santo Antônio de Goiás – GO	Inverno	2022/2022	Inoculado	72177	9913	43482	0,112	0,636	1882	1918	11,0	89,0
			Nitrogenado	929091	461445	217626	0,000	0,154	2694	2942	17,0	90,6

¹Fonte de Nitrogênio; ²Quadrado médio das linhagens; ³Quadrado médio do efeito de contraste entre linhagens e testemunhas; ⁴Quadrado médio do erro;

⁵Probabilidade associada às linhagens; ⁶Probabilidade associada ao efeito de contraste entre linhagens e testemunhas; ⁷Média das linhagens sem testemunhas; ⁸Média das testemunhas; ⁹Coeficiente de Variação (%); ¹⁰Acurácia Seletiva (%).

4.2 ANÁLISES CONJUNTAS DE VARIÂNCIA

Ensaio visando estudar a interação de genótipos com ambientes requerem um número considerável de ambientes, a fim de captar de maneira eficiente as variações em regiões produtoras da cultura. Quanto maior o número de ambientes, desde que contrastantes, maior será a vantagem de genótipos serem expostos a cada estímulo ambiental, inferindo uma melhor avaliação dos dados obtidos e possibilitando a mensuração do desempenho e da estabilidade de cada genótipo.

A Tabela 2 apresenta o resumo das análises conjuntas considerando cada ambiente (adubado e inoculado). Observou-se efeito significativo para os efeitos de linhagens elite (L) em quatro de seis ambientes ($P < 0,05$) demonstrando variabilidade de comportamento dos genótipos na maioria dos ambientes. O efeito de fontes de nitrogênio (FN) foi significativo em todos os ambientes ($P < 0,01$). Isto sugere que a fonte de nitrogênio utilizada influenciou o desempenho das linhagens. Em relação a interação de L X FN, foi significativo em cinco dos ambientes ($P < 0,05$), sugerindo que houve variabilidade no desempenho dos genótipos em função das diferentes FN.

Os CVs variaram entre 13,5% e 20,7%, com média de 17,0%, o que indica uma boa precisão experimental. A AS variou de 80,8% a 96,0%, com uma média de 90,8%. As ASs foram superiores a 70% em todos os ambientes e por isso denotam ótima acurácia, demonstrando que os ambientes tiveram boa capacidade discriminatória.

As médias de produtividade nos ambientes tiveram grande amplitude, em que a maior média de 2.287,7 kg ha⁻¹ em SAG Inverno 22/22 teve diferença de 1.089,0 kg ha⁻¹, do ambiente IPA Inverno 22/22 que teve menor média de 1.198,7 kg ha⁻¹. Essa amplitude indica que as diferenças de estímulos ambientais em diferentes locais, impactam o comportamento produtivo dos genótipos. As diferenças ambientais podem ser extrapoladas para a adaptação das linhagens elite à inoculação, tendo em vista seu desenvolvimento sob FBN. Quando estas são adubadas com nitrogênio há respostas de grande variação em função do ambiente. Já as testemunhas Pérola e CNFC10762 foram desenvolvidas sob adubação química de N, e já têm definidas características agronômicas favoráveis às respostas à adubação de N. Foi calculado o contraste entre testemunhas e linhagens elite e apenas o ambiente SAG Águas 21/22 teve diferença significativa ($P < 0,05$), demonstrando que houve poucas diferenças estatísticas entre testemunhas e linhagens na maioria dos ambientes.

Tabela 2. Resumo das análises de variância conjuntas por ambiente para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em 15 linhagens elite de feijão-comum, grupo carioca, em experimentos conduzidos em cada ambiente (local/época de semeadura/ano) com inoculação e adubação nitrogenada.

Local/Safra/Ano	QM _L ¹	QM _{FN} ²	QM _{LvsT}	QM _{LxFN} ⁴	QM _e ³	p-valor _L ⁵	p-valor _{FN} ⁶	p-valor _{LvsT}	p-valor _{LxFN} ⁷	M _L	M _T	CV ⁸	AS ⁹
SAG/Inverno/2021	336817	1213064	108488	426373	137130	0,024	0,004	0,376	0,000	2006,6	1921,5	18,5	91,5
PG/Seca/2022	95758	1429910	1682	116262	55338	0,032	0,000	0,862	0,016	1319,9	1309,3	18,1	91,4
PG/Águas/2022	179192	2209922	6436903	182830	87917	0,011	0,000	0,000	0,017	2075,4	2730,5	13,5	93,1
SAG/Águas/2022	68272	3407292	40128	74618	45362	0,090	0,000	0,350	0,075	1350,8	1402,5	15,6	96,0
IPA/Inverno/2022	77687	662606	224857	121479	64204	0,233	0,001	0,065	0,033	1198,7	1321,1	20,7	80,8
SAG/Inverno/2022	487071	19392071	303313	484537	136453	0,000	0,000	0,140	0,000	2287,7	2429,9	15,9	92,3

¹Quadrado médio das linhagens elite; ²Quadrado médio da fonte de nitrogênio; ³Quadrado médio do erro; ⁴Quadrado médio da interação de linhagens elite com a fonte de nitrogênio; ⁵Probabilidade associada à linhagem elite; ⁶Probabilidade associada à fonte de nitrogênio; ⁷Probabilidade associada a interação de linhagens elite com fornecimento de nitrogênio; ⁸Coeficiente de variação (%); ⁹Acurácia seletiva. SAG: Santo Antônio de Goiás-GO; PG: Ponta Grossa-PR; IPA: Ipameri-GO.

Foi calculado a correlação de Spearman (r_s) entre as linhagens quando inoculadas ou adubadas com N considerando todos os ambientes. O índice r_s foi de 0,64 que indica correlação média entre as fontes de N, portanto os genótipos tiveram desempenho diferencial e alteração do ranqueamento de genótipos ao longo dos ambientes.

A análise conjunta considerando Linhagens Elite (L), Ambiente (A) e Fonte de Nitrogênio (FN) encontra-se na Tabela 3. Para todas as FV foi verificada significância ao nível de 5%. O efeito significativo para L é indicativo de que existe variabilidade entre as linhagens elite avaliadas, havendo a possibilidade de selecionar genótipos mais produtivos. O efeito significativo para A era esperado, pois houve variação de locais, épocas de semeadura, ano, irrigação, condições edafoclimáticas e manejo da cultura, o que contribuiu de forma significativa para a diferença ambiental. Houve alta significância para efeito de FN, sugerindo que a variabilidade nas médias de produtividade foi alta considerando as duas fontes de N. Alguns trabalhos relatam essa diferença entre produtividade nos dois tipos de FN (Andrade et al., 2001; Araújo et al., 2007; Romanini Junior et al., 2007; Fageria et al., 2014; Pereira et al., 2015; Dias, 2020; Rodrigues, 2020).

Resultados diferentes em produtividade para as duas fontes de N podem ser atribuídos aos fatores bióticos, como a eficiência das linhagens na capacidade de fixação ou o gênero e estirpe de rizóbio presente na interação, agregando características biológicas do solo, além de rizóbios endógenos com baixa eficiência de FBN que podem disputar os sítios de fixação nas raízes. Fatores abióticos também podem ser a fonte da variabilidade genética de respostas a FBN, como disponibilidade hídrica, temperatura, salinidade, umidade do solo, composição química e física do solo e outras características edafoclimáticas (Hungria & Vargas, 2000; Brito et al., 2008; Oliveira et al., 2011; Devi et al., 2013).

A interação significativa de A x FN (Tabela 3) pode estar relacionada à variabilidade das respostas de produtividade nas duas fontes de N nos diversos ambientes. Segundo Hungria & Vargas, (2000); Oliveira et al., (2011); Devi et al., (2013); Souza et al., (2022); Singh et al., (2023); Karavidas et al., (2023) o feijão-comum apresenta resposta diferencial de um ambiente para outro em relação a FBN. A interação L x A se mostrou significativa, o que corrobora com a variação de comportamento dos em função ambientes

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta com decomposição dos graus de liberdade da interação, para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em 15 linhagens elite de feijão-comum, grupo carioca, em experimentos conduzidos em cada ambiente (local/safra/ano) com inoculação e adubação nitrogenada.

Fonte de Variação	GL ⁶	QM ⁷	F ⁸	p-valor ⁹
Linhagens elite (L)	14	168752	1,93	0,022
Testemunha (T)	2	17908295	205,05	0,000
L vs T	1	1917574	21,35	0,000
Ambiente (A)	5	19759719	226,25	0,000
Bloco	2	443853	5,08	0,006
Fonte de nitrogênio (FN)	1	15769524	180,56	0,000
L x A	70	215208	2,46	0,000
L x FN	14	249688	2,85	0,000
A x FN	5	1294739	14,82	0,000
L x A x FN	70	227316	2,60	0,000
Resíduo	358	87333		
Média _L ¹	1706,5			
Média _T ²	1852,5			
CV ³	17,3			
AS ⁴	69,4			
r _s ⁵	0,64			

¹Média de produtividade de grãos das linhagens; ²Média de produtividade de grãos das testemunhas; ³Coeficiente de variação; ⁴Acurácia seletiva; ⁵Coeficiente de correlação de Spearman entre adubação nitrogenada e inoculação; ⁶Grau de liberdade; ⁷Quadrado médio; ⁸Valor de F calculado; ⁹Probabilidade de erro associado.

em que foram cultivados. Essa resposta diferencial pode ser constatada na literatura tanto para adubação de N (Silva et al., 2013; Torga et al., 2013; Alves, 2022), quanto para inoculação (Pereira et al., 2015; Farid et al., 2016; Bender et al., 2022).

Para a interação de L x FN, foi detectado significância, indicando que os genótipos apresentaram resposta diferencial no desempenho produtivo sob fontes de nitrogênio diferentes. Farid et al. (2017) avaliaram 140 RILs em cinco ambientes no Canadá, utilizando adubação de nitrogênio de 100 kg ha⁻¹, e observaram efeito significativo da interação Genótipos x FN para produtividade.

Trabalhos semelhantes não tiveram a interação de genótipos com fontes de nitrogênio como significativa. Pereira et al. (2015) trabalharam com 17 linhagens elite de feijão-comum, grupo carioca, dentre elas os genótipos Pérola e CNFC10762. Conduziram a pesquisa em quatro ambientes (locais/ano) nos municípios de Santo Antônio de Goiás, Porangatu e Senador Canedo, todos localizados no estado de Goiás. Na pesquisa não foi observada significância na interação G x FN, portanto foi importante para selecionar genótipos com dupla aptidão.

Dias (2020) trabalhou com genótipos de feijão-comum, do grupo preto. Foram cinco cultivares testemunhas e 10 linhagens elite. Na ocasião foi trabalhado ensaios de população avançada em dois anos e três épocas de semeadura diferentes, em 5 ambientes distribuídos em dois estados (GO e PR) e o distrito federal. Na interação G x FN para o caráter de resistência a doença também não obteve significância, demonstrando que os genótipos utilizados no trabalho não demonstraram resposta diferenciada de comportamento com as duas fontes de nitrogênio para essa característica. Nos dois casos eram linhagens desenvolvidas em adubação mineral de N utilizadas em comparação de FBN e adubação.

No presente estudo as linhagens vêm de um desenvolvimento exclusivo com inoculação, que pode explicar a variabilidade de comportamento quando comparadas sob inoculação e adubação nitrogenada. Quando contrastados L vs T, considerando todos os ambientes é houve significância ao nível de 5%, sendo as testemunhas superiores às linhagens, conforme comentada anteriormente, isso mostra que considerando apenas produtividade, a seleção em FBN foi pouco eficiente.

Estimando a relação de produtividade em ambiente inoculado e nitrogenado, por meio da RPIN, tem-se que quanto mais próximo de 100% maior será a semelhança de produtividade nos dois FN. A Tabela 4 demonstra que as estimativas para o índice RPIN variaram de 71,6% (CNFC20347) a 95,7% (CNFC20332). As linhagens CNFC20332,

CNFC20339, CNFC20365 e CNFC20380 apresentaram RPIN acima de 90%, isto é indicativo de que essas linhagens são eficientes no cultivo com inoculação. Considerando os valores de RPIN das testemunhas como referência, esperava-se que as linhagens tivessem comportamento superior a elas, visto que foram desenvolvidas em sistema exclusivo de FBN e as testemunhas em sistema de adubação mineral. As perdas de 20 a 30% em RPIN mostraram que a seleção em sistema de FBN foi pouco eficiente.

Sabendo que a testemunha NORH54 é uma mutante não nodulante, destaca-se a contribuição da FBN para o resultado dos genótipos, tendo média de 870,9 kg ha⁻¹ em ambientes inoculados e as linhagens elite média de 1535,6 kg ha⁻¹. Inferindo então diferença de 664,7 kg ha⁻¹ de contribuição da inoculação para esses genótipos de feijão-comum.

Tabela 4. Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) gerais, em ambientes inoculados e nitrogenados e RPIN de 18 genótipos de feijão-comum, grupo carioca.

Genótipos	MG¹	MI²	MN³	RPIN⁴
CNFC20367	a 1807,8	a 1633,3	a 1982,3	82,4
CNFC20379	b 1786,2	b 1531,5	a 2040,9	75,0
CNFC20289	c 1772,5	a 1587,3	a 1957,7	81,1
CNFC20339	c 1779,1	a 1728,1	b 1830,3	94,4
CNFC20347	d 1758,3	b 1467,8	a 2049,0	71,6
CNFC20346	e 1738,6	b 1487,7	a 1989,6	74,8
CNFC20344	f 1708,3	b 1488,7	a 1927,9	77,2
CNFC20378	f 1708,6	b 1441,4	a 1975,9	72,9
CNFC20301	g 1697,0	b 1532,3	b 1861,7	82,3
CNFC20326	g 1693,8	b 1483,6	a 1904,0	77,9
CNFC20371	h 1684,2	b 1541,4	b 1827,1	84,4
CNFC20380	i 1651,2	a 1565,9	b 1736,6	90,2
CNFC20365	j 1618,7	a 1570,1	b 1667,5	94,2
CNFC20332	k 1598,3	a 1562,9	b 1633,7	95,7
CNFC20321	k 1594,9	b 1412,7	b 1777,2	79,5
CNFC10762	a 2296,2	a 2102,6	a 2489,8	84,4
PÉROLA	a 2222,1	a 2015,9	a 2428,3	83,0
NORH54	b 1039,2	b 870,9	b 1207,5	72,1

¹Média de produtividade de grãos geral; ²Média de produtividade de grãos nos ambientes com inoculação; ³Média de produtividade de grãos nos ambientes com adubação nitrogenada; ⁴Relação de produtividade entre ambientes inoculados e nitrogenados (%). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Scott-Knott, $\alpha = 10\%$).

4.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A interação tripla $G \times A \times FN$ foi altamente significativa (Tabela 3), corroborando com a necessidade de analisar a estabilidade de genótipos, a fim de selecionar genótipos eficientes nas duas fontes de N. Os índices WAASB e WAASBY considerando dois cenários (inoculado e geral) para cada genótipo estão apresentados na Tabela 5.

As ferramentas de gráficos bidimensionais podem ser utilizadas na análise de WAASB. Na análise, o biplot é dividido em quatro quadrantes representando as classes de G e A para uma interpretação conjunta de estabilidade e desempenho produtivo. O quadrante I agrupa genótipos instáveis ou ambientes com alta capacidade de discriminação, porém com baixo desempenho produtivo. O quadrante II agrupa genótipos também instáveis, porém com alto desempenho produtivo e nesse caso para ambientes, além de alta capacidade discriminatória, também terá altas magnitudes de PG. O quadrante III tem genótipos com baixo desempenho em PG, mas com alta estabilidade, devido ao valor menor do índice WAASB. Nesse quadrante os ambientes são considerados com baixa capacidade de discriminação e pouco produtivos. No quadrante IV os genótipos são altamente produtivos e estáveis, indicando que os ambientes terão alta PG, mas com pouca capacidade de discriminação (Olivoto & Sari, 2021).

As análises foram divididas em dois cenários. Um cenário considerando apenas os experimentos inoculados, e outro considerando todos os experimentos em conjunto. O objetivo da estratificação da análise em dois cenários foi para melhor entendimento do comportamento das linhagens frente as mudanças de FN, para então destacar genótipos com aptidão específica para FBN ou geral. A Figura 2 demonstra no biplot o comportamento dos genótipos em ambientes inoculados.

Tabela 5. Índices de estabilidade WAASB (*Weighted Average of Absolute Scores from the SVD of the Matrix of BLUPs*) e índices de superioridade WAASBY para 18 genótipos de feijão-comum grupo carioca.

Genótipos	WI¹	WG²	WYI³	WYG⁴
CNFC20289	1,38	7,38	74,9	47,9
CNFC20301	4,03	4,65	60,8	59,2
CNFC20321	3,91	2,43	55,5	66,5
CNFC20326	3,09	5,20	62,5	56,1
CNFC20332	4,53	6,37	60,1	45,1
CNFC20339	10,60	7,83	41,8	45,8
CNFC20344	3,00	6,76	63,1	48,3
CNFC20346	4,97	6,47	54,5	51,3
CNFC20347	3,70	7,10	59,0	48,8
CNFC20365	8,92	6,95	41,4	43,0
CNFC20367	2,59	3,94	71,9	68,4
CNFC20371	4,23	5,18	60,4	55,7
CNFC20378	7,67	9,14	40,6	35,3
CNFC20379	1,63	4,68	71,1	63,3
CNFC20380	3,41	6,04	65,1	49,5
CNFC10762	6,77	9,15	76,7	63,3
PÉROLA	9,66	9,75	59,9	56,5
NORH54	7,81	6,68	12,2	16,8

¹Índice WAASB considerando ambientes inoculados; ²Índice WAASB considerando todos os ambientes; ³Índice WAASBY considerando ambientes inoculados; ⁴Índices WAASBY considerando todos os ambientes.

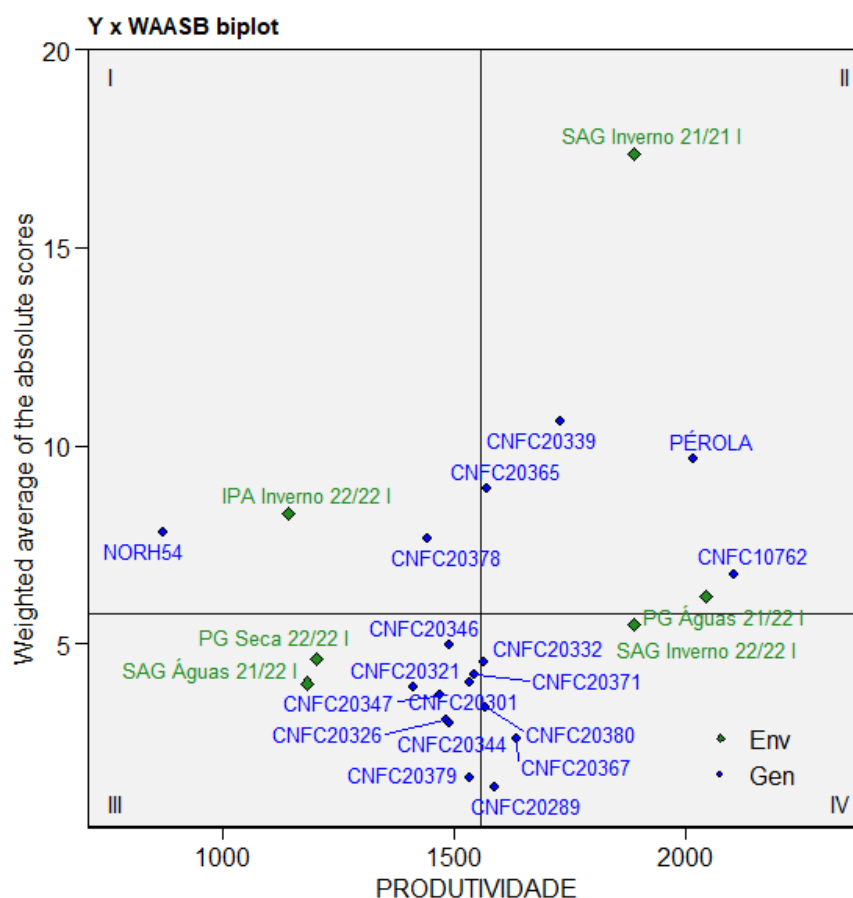


Figura 2. Biplot dos índices WAASB em função do desempenho em produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de genótipos de feijão-comum, grupo carioca, considerando ambientes inoculados.

No quadrante I é possível perceber a testemunha NORH54 com baixa estabilidade e desempenho produtivo, o que corrobora com sua característica não-nodulante e por ser um mutante com baixo potencial produtivo. O genótipo CNFC20378 obteve baixa estabilidade e produtividade abaixo da média, demonstrando ser um genótipo pouco responsivo quando inoculado. O ambiente IPA Inverno 22/22 I demonstrou boa capacidade discriminatória, porém com a menor média de produtividade dos ambientes inoculados, mesmo com irrigação, evidenciando diferenças nos estímulos ambientais e na diferença de condução em área comercial.

O quadrante II destaca os melhores ambientes, pois tem boa capacidade discriminatória e desempenho acima da média. Os ambientes SAG Inverno 21/21 I e PG Águas 21/22 I demonstraram capacidade discriminatória acima da média para os

experimentos inoculados, com destaque para o ambiente SAG Inverno 21/21 I. Ambos obtiveram produtividade acima da média, com destaque para o ambiente PG Águas 21/22 I. Os genótipos CNFC10762 e Pérola se destacaram pela alta produtividade, mas ainda com pouca estabilidade.

O quadrante III mostra os piores ambientes, aqueles com baixa capacidade discriminatória e baixo desempenho dos genótipos. Quanto aos genótipos, oito se encontram abaixo da média, mas com boa estabilidade. Destaque para os genótipos CNFC20371, CNFC20321 e CNFC20379, que embora tiveram produtividade abaixo da média, ainda não foram tão discrepantes quanto os outros genótipos no mesmo quadrante.

O quadrante IV destaca os melhores genótipos que combinam boa estabilidade e desempenho fenotípico. Destaque para os genótipos CNFC20367 e CNFC20289 que demonstraram os melhores desempenhos produtivos e estabilidade combinados, podendo ser selecionados para ambientes inoculados. A linhagem CNFC20289 além de integrar o melhor quadrante para os genótipos ainda obteve o menor valor WAASB, demonstrando ser o genótipo mais estável para inoculação. O único ambiente presente nesse quadrante teve ótimo desempenho produtivo dos genótipos e estabilidade próxima a média de valores WAASB, indicando baixa capacidade discriminatória.

Foi realizada também uma análise do biplot que consta na Figura 3, considerando os dois FN conjuntamente a fim de identificar linhagens com boa performance e estabilidade que poderão ser selecionados para dupla aptidão. O único genótipo destoante em desempenho produtivo no quadrante I é a testemunha NORH54. O ambiente PG seca 22/22 N foi o único localizado no quadrante I, indicando ser um ambiente com boa capacidade discriminatória, apesar do baixo desempenho produtivo.

No quadrante II os genótipos testemunhas CNFC10762 e PEROLA destacaram-se pelas maiores médias de produtividade, porém com baixa estabilidade, o que é indicado pelo alto valor de WAASB. As demais linhagens permaneceram próximas as médias de estabilidade e desempenho produtivo. 33,33% dos ambientes se localizaram nesse quadrante, inferindo que esses ensaios tiveram boa produção e capacidade de discriminar genótipos por fontes diferentes de N.

No quadrante III quase todos os genótipos estiveram próximos a linha divisória com o quadrante IV, com exceção dos genótipos CNFC20321 e CNFC20332, que destoaram com baixa produtividade, mas com boa estabilidade. Os ambientes nesse quadrante não

tiveram bom desempenho produtivo e capacidade discriminatória, devido a demonstrarem maior estabilidade de comportamento entre os genótipos.

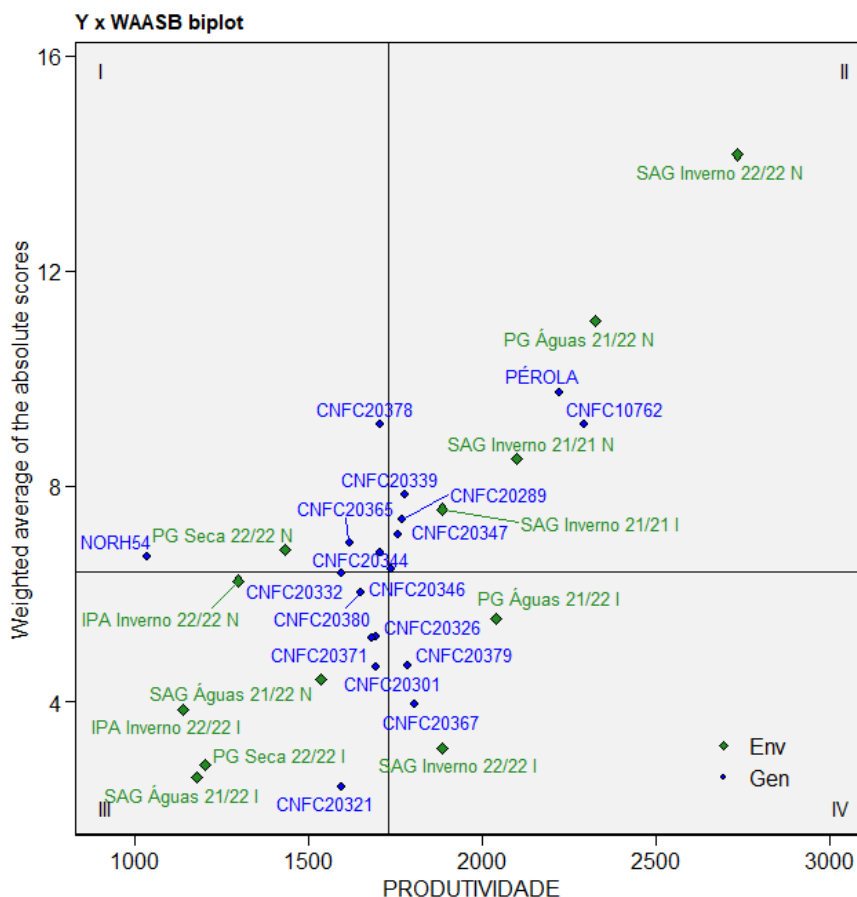


Figura 3. Biplot dos índices WAASB em função do desempenho em produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de genótipos de feijão-comum, grupo carioca, considerando todos os ambientes.

As linhagens CNFC20379 e CNFC20367 tiveram as melhores respostas produtivas e estáveis ao mesmo tempo. O destaque maior é da linhagem CNFC20379 que obteve menor escore de WAASB indicando melhor estabilidade, além de produção acima da média geral. Os dois genótipos podem ser selecionados para dupla aptidão.

Estudos de interação de genótipos com ambientes analisando a estabilidade em outras culturas tiveram o índice WAASB como facilitador de interpretação, por meio da ferramenta gráfica de biplot. A ótima precisão na identificação de ideótipos também foi destacada nestes trabalhos (Singamsetti et al., 2021; Koundinya et al., 2021; Olivoto et al., 2019b).

Silva (2022) analisou a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-comum na região centro sul do estado do Mato Grosso do Sul. Nesse caso utilizou cinco tipos de análise mais comuns para a cultura, e o método WAASB. Conclui-se que em geral todos os métodos apresentaram similaridade no ordenamento de genótipos e que o método WAASBY foi ferramenta importante, que combinou boa precisão e facilidade de interpretação de dados.

Neste estudo, considerou-se dois diferentes cenários com pesos de 60% para produtividade de grãos e 40% para estabilidade, para avaliação do índice de superioridade WAASBY. O primeiro cenário considera apenas os ambientes inoculados (Figura 4). O segundo cenário considera todos os ambientes (Figura 5). Os marcadores azuis representam índice de superioridade WAASBY acima da média e que apresentariam ótimo balanço entre desempenho e estabilidade, dado os pesos atribuídos. Os marcadores vermelhos são genótipos que estiveram abaixo da média para o índice.

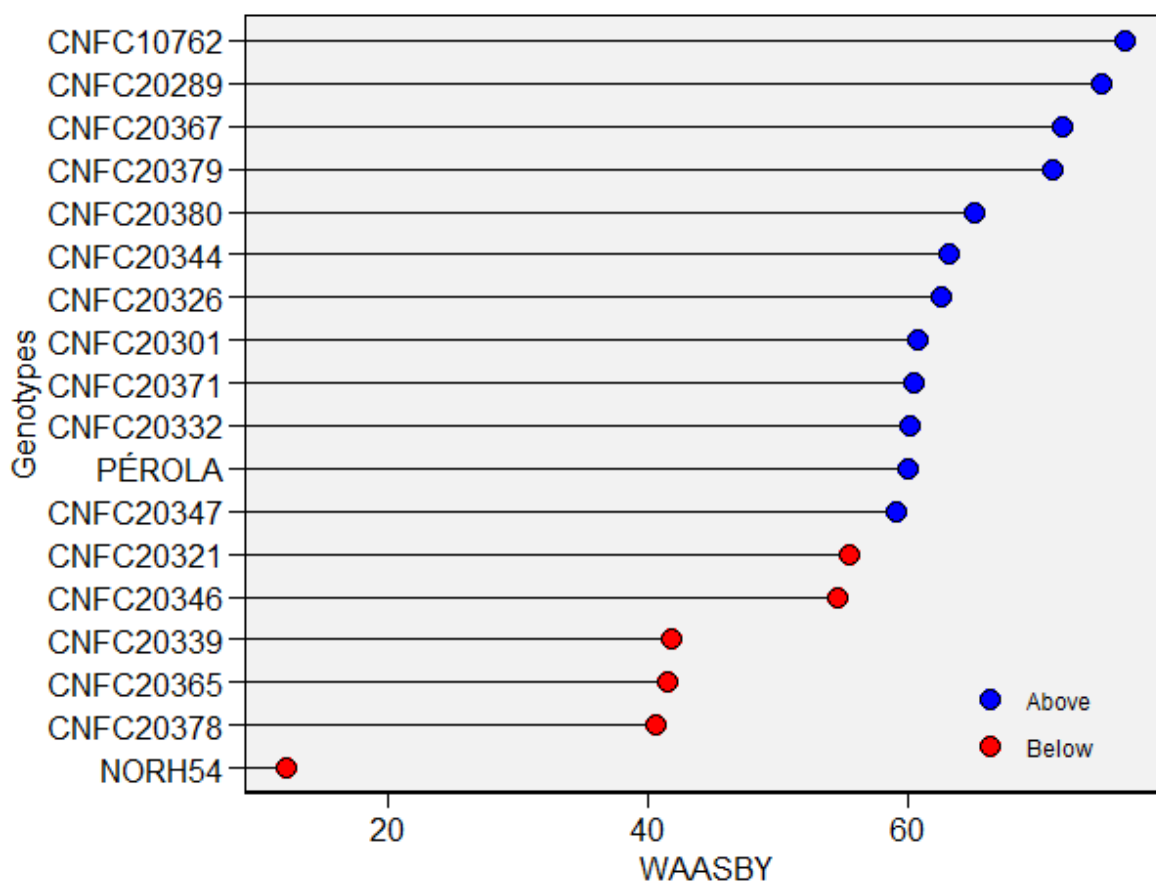


Figura 4. Ranqueamento de índices de superioridade WAASBY para 18 genótipos de feijão-comum, grupo carioca, considerando ambientes inoculados.

Para o primeiro cenário considerando os experimentos que receberam o tratamento de inoculação, os genótipos com maiores índices corroboraram com a análise de biplot em que os genótipos CNFC20289 e CNFC20367 apresentaram estabilidade e desempenho produtivo acima da média. O genótipo de destaque foi o CNFC10762 que dado os pesos de importância, pode ser selecionado para ambientes apenas inoculados ou utilizado novamente como fonte de alelos. Os quatro melhores genótipos em índice de superioridade também foram os melhores genótipos em produtividade de grãos, inferindo que esses genótipos podem ser selecionados como fonte de alelos para genótipos produtivos e estáveis para sistemas de FBN.

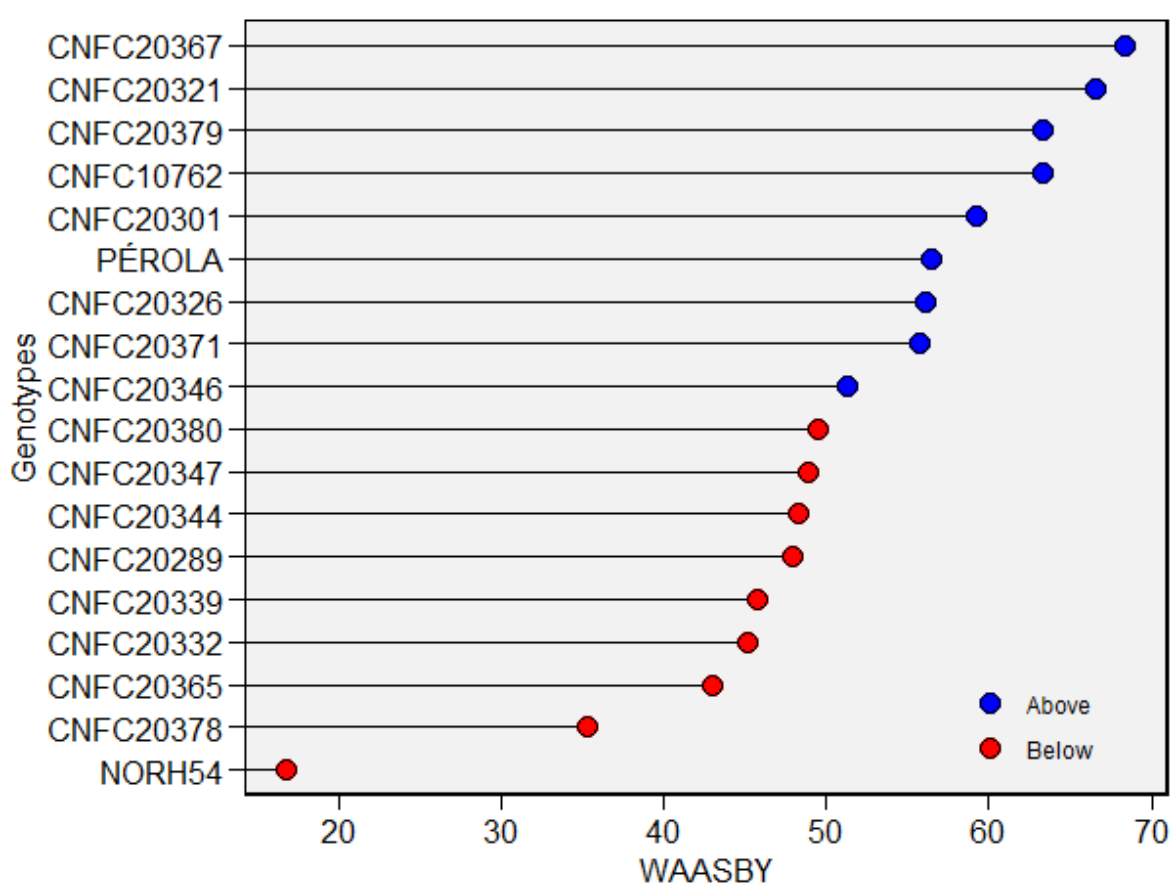


Figura 5. Ranqueamento de índices de superioridade WAASBY para 18 genótipos de feijão-comum, grupo carioca, considerando todos os ambientes.

Considerando todos os ensaios (adubação e inoculação), os maiores índices pertenceram aos genótipos CNFC20367 e CNFC20321, os quais tiveram destaque ou em performance produtiva ou em estabilidade em ambas as fontes de N. Ao considerar desempenho produtivo mais importante nota-se que as cinco linhagens com maior índice de

superioridade, apenas duas têm RPIN maior que 80%, sendo a CNFC20367 e CNFC10762 as linhagens indicadas para dupla aptidão.

Serão necessários mais estudos analisando características de nodulação destas linhagens, como massa e quantidade de nódulos na raiz pivotante e nas raízes secundárias, aliado a senescência dos nódulos, comparando com o desempenho produtivo e estabilidade em diversos ambientes. Com esses estudos será possível identificar se o desempenho produtivo dos genótipos que se destacaram estará associado a inoculação.

5 CONCLUSÕES

- Sob condições de desenvolvimento das linhagens exclusivamente com FBN, foi detectado efeito de interação de L x FN para produtividade de grãos, com melhor desempenho dos genótipos quando há adubação nitrogenada.
- Os genótipos CNFC10762, CNFC20389, CNFC20367 e CNFC20379 apresentaram melhor relação entre desempenho produtivo e estabilidade para ambientes inoculados.
- Para um cenário de dupla aptidão, a linhagem elite CNFC20367 e a testemunha CNFC10762 se destacaram em produtividade e estabilidade em ambas as fontes de N e com RPIN acima de 80%.
- O melhoramento de feijão-comum com fornecimento de N exclusivamente por FBN não conseguiu desenvolver linhagens, oriundas de germoplasma silvestre, mais produtivas que as cultivares desenvolvidas em sistema com uso exclusivo de N mineral.
- As linhagens oriundas de germoplasma silvestre serão indicadas como genitoras para formação de novas populações base.

6 REFERÊNCIAS

- ABDELGHANY, A. M.; ZHANG, S.; AZAM, M.; SHAIBU, A. S.; FENG, Y.; QI, J.; LI, J.; LI, Y.; TIAN, Y.; HONG, H.; LAMLOM, S. F.; LI, B.; SUN, J. Exploring the Phenotypic Stability of Soybean Seed Compositions Using Multi-Trait Stability Index Approach. **Agronomy**, v. 11, n. 11, p. 2200, 2021.
- ABDELRAHMAN, M.; ALHARBI, K.; EL-DENARY, M. E.; EL-MEGEED, T. A.; NAEEM, E.; MONIR, S.; AL-SHAYE, N. A.; AMMAR, M. H.; ATTIA, K.; DORA, S. A.; DRAZ, A. S. E. Detection of Superior Rice Genotypes and Yield Stability under Different Nitrogen Levels Using AMMI Model and Stability Statistics. **Plants**, v. 11, n. 20, p. 2775, 2022.
- ABREU, H. K. A. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi via REML/BLUP e GGE-BILOT**. 2018. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.
- ADAMS, M. A.; TURNBULL, T. L.; SPRENT, J. I.; BUCHMANN, N. Legumes are different: Leaf nitrogen, photosynthesis, and water use efficiency. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n.15, p. 4098-4103, abr., 2016.
- AKTER, Z.; PAGANI, B. B.; LUPWAYI, N. Z.; BALASUBRAMANIAN, P. M. Biological nitrogen fixation by irrigated dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 98, p. 1159–1167, 2018.
- ALMEIDA, C. P.; PAULINO, J. F. C.; CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; SONG, Q.; VITTORI, V. D.; RODRIGUEZ, M.; PAPA, R.; BENCHIMOL-REIS, L. L. Genetic diversity, population structure, and Andean introgression in Brazilian common bean cultivars after half a century of genetic breeding. **Genes**, v. 11, n. 1298, 2020.
- ALVES, A. A. **Potencial genético e estabilidade de linhagens elite de feijão-comum para produtividade e qualidade de grãos**. 2022. 75 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Curso de agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.
- AMRATE, P. K.; SHRIVASTAVA, M. K.; BORAH, M.; ROUTHU, G. K.; SHARMA, S.; NATARAJ, V.; PANCHESHWAR, D. K.; SINGH, G. Molecular characterization of soybean yellow mosaic virus isolates and identification of stable resistance sources in central India. **Australasian Plant Pathology**, v. 52, p. 165-179, 2023.
- ANDRADE, M. J. B.; ALVARENGA, P. E.; SILVA, R.; CARVALHO, J. G.; JUNQUEIRA, A. D. A. Resposta do feijoeiro às adubações nitrogenada e molíbdica e a inoculação com *Rhizobium tropici*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 4, p. 934-940, Lavras, 2001.
- ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; FERREIRA, E. P. B. Differences in nodulation and grain yield on common bean cultivars with different growth cycles. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 9, p. 1148-1161, 2016.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.46, p. 269-278, 1992.

ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 535-540, Maringá, 2007.

ARAÚJO, G. A. A.; FERREIRA, A. C. B. Manejo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, p. 87-114, 2011.

ARGAW, A.; MULETA, D. Effect of genotypes-*Rhizobium*-environment interaction on nodulation and productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in eastern Ethiopia. **Environmental Systems Research**, v. 6, n. 14, 2018.

ASHANGO, Z.; AMSALU, B.; TUMISA, K.; NEGASH, K.; FIKRE, A. Seed Yield Stability and Genotype x Environment Interaction of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Lines in Ethiopia. **International Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 3, n. 2, p. 135-144, oct., 2016.

BARBOSA, C. K. R.; REIS, J. N.; BRIGANTE, G. P.; FRANCO JUNIOR, K. S. Adubação nitrogenada, inoculação e coinoculação na cultura do feijoeiro-comum. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 01-06, 2020.

BARCELOS, F. H. R.; SANTOS, C. M. G.; PANTALEÃO, A. A.; SILVA, J. A. S.; CAPRISTO, D. P. Agronomic performance of common bean genotypes cultivated in the Cerrado-Pantanal ecotone. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.

BARILI, L. D.; VALE, N. M.; AMARAL, R. C.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, P. C. S. Adaptabilidade e estabilidade e a produtividade de grãos em cultivares de feijão preto recomendadas no Brasil nas últimas cinco décadas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1980-1986, Santa Maria, nov, 2015.

BARRADAS, C. A.; BODDEY, L. H.; HUNGRIA, M. Seleção de cultivares de feijão e estirpes de *Rhizobium* para nodulação precoce e senescência tardia nos nódulos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 169-179, 1989.

BARROS, R.L.N.; OLIVEIRA, L.B. de; MAGALHÃES, W.B. de; MÉDICI, L.O.; PIMENTEL, C. Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, Londrina, 2013.

BARROS, R. L. N.; OLIVEIRA, L. B.; MAGALHÃES, W. B.; PIMENTEL, C. Growth and yield of common bean as affected by seed inoculation with rhizobium and nitrogen fertilization. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 1, p. 16-30, 2018.

BARROS, R.L.N.; OLIVEIRA, L.B. de; MAGALHÃES, W.B. de; MÉDICI, L.O.; PIMENTEL, C. Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio

na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, 2013.

BENDER, F. R.; ALVES, L. C.; SILVA, J. F. M.; RIBEIRO, R. A.; PAULI, G.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbiome of Nodules and Roots of Soybean and Common Bean: Searching for Differences Associated with Contrasting Performances in Symbiotic Nitrogen Fixation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 19, 2022.

BITOCCHI, E.; NANNI, L.; BELLUCCI, E.; ROSSI, M.; GIARDINI, A.; ZEULI, P. S.; LOGOZZO, G.; STOUGAARD, J.; MACCLEAN, P.; ATTENE, G.; PAPA, R. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. **Agricultural Sciences**, v. 109, n. 14, p. 788-796, 2012.

BLISS, F. A. Breeding common bean for improved biological nitrogen fixation. **Plant Soil**, n. 152, p. 71-79, 1993.

BODDEY, R. M.; MULLER, S. H.; ALVES, B. J. R. Estimation of the contribution of biological N₂ fixation to two *Phaseolus vulgaris* genotypes using simulation of plant nitrogen uptake from ¹⁵N-labelled soil. **Fertilizer Research**, v. 45, p. 169-185, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 36, de 22 de abril de 2020. **Anexo: Nota Técnica**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 abr. 2020. Seção 1, p. 26. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/bahia/word/PORTN36FEIJAO1SAFRABA.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2023.

BRITO, L. F.; PACHECO, R. S.; SOUZA FILHO, B. F.; FERREIRA, E. P. B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A. P. Resposta do Feijoeiro Comum à Inoculação com Rizóbio e Suplementação com Nitrogênio Mineral em Dois Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 981-992, 2015.

BRITO, O. R.; OTSUBO, A.A.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, V.H.N. Evaluation of the Carioca and black beans group lines inoculated with *Rhizobium tropici* strains. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, v. 51, n. 1, p. 254-255, East Lansing, 2008.

BROUGHTON, W. J.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and Soil**, Haia, v. 252, n. 1, p. 55-128, 2003.

BEAVER, J.S.; OSORNO, J.M. Achievements and limitations of contemporary common bean breeding using conventional and molecular approaches. **Euphytica**, Dordrecht, v. 168, n. 2, p. 145-175, 2009.

BRITO, O.R.; OTSUBO, A.A.; MERCANTE, F.M.; HAYASHI, N.L.M.; OTSUBO, V.H.N.; PEREIRA, W.F.; SOUZA, D.C. Nitrogen fertilization and inoculation with *Rhizobium tropici* in black bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 53, n. 1, p. 172, East Lansing, 2010.

CARBONELL, S. A. M.; FILHO, J. A. A.; DIAS, L. A. S.; GARCIA, A. A. F.; MORAIS, L. K. Common bean cultivars and lines interaction with environments. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 2, p. 169,177, mar./apr., Piracicaba, 2004.

CARNEIRO, J. E. S.; ABREU, A. F. B., RAMALHO, M. A. P.; PAULA JÚNIOR, T. J.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; PEREIRA FILHO, I. A.; MARTINS, M.; VIEIRA, R. F.; MARTINS, F. A. D.; COELHO, M. A. O.; CARNEIRO, P. C. S.; MOREIRA, J. A. A.; SANTOS, J. B.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; TEIXEIRA, H. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 281-284, 2012.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, A. D. F.; SILVA, G. O.; RESENDE, F. V. Adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelo método REML/BLUP. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 69-74, mar., 2017.

CARVALHO, H. W. L.; FARIA, L. C.; WARWICK, D. R. N.; ALBUQUERQUE, M. M.; PELOSO, M. J. D.; MELO, L. C.; RODRIGUES, A. R. S.; RIBEIRO, S. S.; OLIVEIRA, V. D.; SOUZA, E. M. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum no nordeste brasileiro, no ano agrícola de 2005. **Agrotrópica**, v. 18, 2006.

CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BOREM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. p. 143-170.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento planta**, p. 673-713, 2001.

COELHO, L. G. F.; BOMFIM, C. A.; MENDES, I. C.; VALE, H. M. M.; REIS JUNIOR, F. B. A inoculação do feijoeiro: Alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores de crescimento vegetal. **Embrapa Cerrados: Documentos 384**, Planaltina-DF, 2021.

COLAÇO, P. C.; DEGÁSPARI, C. H. Benefícios da Faseolamina. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 15, n. 1, 2014.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira** – grãos: Quarto levantamento, Janeiro 2023 – safra 2022/2023. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. Disponível em: portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html. Acesso em: 21 jan. 2023.

CORTÉS, A. J.; MONSERRATE, F. A.; RAMÍREZ-VILLEGAS, J.; MADRIÑÁN, S.; BLAIR, M. W. Drought tolerance in wild plant populations: The case of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plos One**, v. 8, n. 5, e62898, 2013.

COSTA, J. G.; MARINHO, J. T. S.; PEREIRA, R. C. A.; LEDO, F. J. S.; MORAES, R. N. S. Adaptabilidade e estabilidade da produção de cultivares de milho recomendadas para o estado do Acre. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n. 1, p. 7-11, Lavras, jan./mar., 1999.

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

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

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

DALL'AGNOL, R. F.; RIBEIRO, R. A.; ORMEÑO-ORRILLO, E.; ROGEL, M. A.; DELAMUTA, J. R. M.; ANDRADE, D. S.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; HUNGRIA, M. *Rhizobium freirei* sp. nov., a symbiont of *Phaseolus vulgaris* that is very effective at fixing nitrogen. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 63, p. 4167-4173, 2013.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. Statistics without Maths for Psychology. **Pearson Education Limited**, ed. 5, p. 461-472, 2011.

DEL-CANTO, A.; SANZ-SAEZ, Á.; SILLERO-MARTÍNEZ, A.; MINTEGI, E.; LACUESTA, M. Selected indigenous drought tolerant rhizobium strains as promising biostimulants for common bean in Northern Spain. **Frontiers in Plant Science**, v. 29, mar., 2023.

DEVI, M.J.; SINCLAIR, T.R.; BEEBE, S.E.; RAO, I.M. Comparison of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for nitrogen fixation tolerance to soil drying. **Plant and Soil**, v. 364, n. 1, p. 29-37, Haia, 2013.

DIAS, P. A. S. **POTENCIAL GENÉTICO DE LINHAGENS ELITE DE FEIJOEIRO-COMUM PARA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO**. 2017. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

DIAS, P. A. S.; PEREIRA, H. S.; MELO, P. G. S.; FERREIRA, E. P. B.; MELO, L. C.; FARIA, L. C.; ALMEIDA, V. M.; WENDLAND, A.; SOUZA, T. L. P. O.; SILVA, F. C.; DÍAZ, J. L. C.; MAGALDI, M. C. S.; OLIVEIRA, N. P. Estabilidade de linhagens elite de feijoeiro-comum com grãos pretos em sistema de fixação biológica de nitrogênio. **Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas**, 2015.

DIAS, P. A. S.; MELO, P. G. S.; MELO, L. C.; SOUZA, T. L. P. O.; FARIA, L. C.; FERREIRA, E. P. B.; PEREIRA, H. S. Production and disease resistance of elite black bean lines previously selected using mineral nitrogen fertilization cultivated with natural versus artificial nitrogen supplementation. **Genetic and Molecular Research**, v. 19, n. 2, 2020.

DIAZ, L. M.; RICAURTE, J.; CAJIAO, C.; GALEANO, C. H.; RAO, L.; BEEBE, S. Phenotypic evaluation and QTL analysis of yield and symbiotic nitrogen fixation in a common bean population grown with two levels of phosphorus supply. **Molecular Breeding**, v. 37, n. 76, 2017.

DÖBEREINER, J.; RUSCHEL, A. P. Fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico em feijão (*Phaseolus vulgaris*). I. Influência do solo e da variedade. **Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola**. Comunicado Técnico, n. 10, p. 15, 1961.

DUARTE, J.B.; VENCOSKY, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”. **Sociedade Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, 1999. 60p. (Monografias, 9).

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Selection of locations for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm evaluation. **Revista Brasileira de Genética**, [S.I.], v. 14, n. 3, p. 765–770, 1991.

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

FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E. P. B.; MELO, L. C.; KNUPP, A. M. Genotypic Differences in Dry Bean Yield and Yield Components as Influenced by Nitrogen Fertilization and Rhizobia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 1583-1604, Grand Forks, 2014.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em 19 jan 2023.

FARIA, S. V. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos comerciais de milho pelos métodos de Eberhart & Russell, Centróide, AMMI e modelos mistos**. 2016. 33 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

FARIA, A. P.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J. S.; SILVA, F. B.; DESTRO, D. Interação genótipo x ambiente na produtividade de grãos de linhagens e cultivares de feijão. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 31, n. 4, p. 579-585, 2009.

FARIAS J. E. C.; SANTANA, J. G. F.; SOUZA, A. G.; LEITE, C. L.; VIDAL, A. K. F.; SANTOS R. M.; FREITAS, R. S.; STIDA, W. F.; NASCIMENTO, M. R. DAHER, R. F. Análise de efeito principal aditivo e interação multiplicativa, para o rendimento de grãos em feijoeiro comum. In: **Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG**. 2020.

FARID, M.; EARL, H. J.; NAVABI, A. Yield stability of dry bean genotypes across nitrogen fixation-dependent and fertilizer-dependent management systems. **Crop Science**, v. 56, n. 1, p. 173-182, Madison, 2016.

FARID, M.; EARL, H.J.; PAULS, K.P.; NAVABI, A. Response to selection for improved nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, v. 213, p. 99-111,

Dordrecht, 2017.

FAVERO, V. O.; CARVALHO, R. H.; LEITE, A. B. C.; SANTOS, D. M. T.; FREITAS, K. M.; BODDEY, R. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; URQUIAGA, S. *Bradyrhizobium* strains from Brazilian tropical soils promote increases in nodulation, growth and nitrogen fixation in mung bean. **Applied Soil Ecology**, v. 175, jul., 2022.

FENTA, B. A.; BEEBE, S. E.; KUNERT, K. J. Role of fixing nitrogen in common bean growth under water deficit conditions. **Food and Energy Security**, v. 9, n. 183, 2020.

FERREIRA, A. N.; ARF, O.; CARVALHO, M. A. C.; ARAÚJO, R. S.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. ESTIRPES DE *Rhizobium Tropici* NA INOCULAÇÃO DO FEIJOEIRO. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 3, p. 507-512, jul./set., 2000.

FERREIRA, E.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; ARAUJO, J. L. S. Contribuições para melhoria da eficiência da fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro comum no Brasil. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 251-291, 2013.

FRANCO, A. A.; PEREIRA, J. C.; NEYRA, C. A. Seasonal patterns of nitrate reductase and nitrogenase activities in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 63, n. 3, p. 421-424, 1979.

GARCÍA-DÍAZ, Y. D.; AQUINO-BOLAÑOS, E. N.; CHÁVEZ-SERVIA, J. L.; VERA-GUZMÁN, A. M.; CARRILO-RODRÍGUEZ, J. C. Bioactive compounds and antioxidant activity in the common bean are influenced by cropping season and genotype. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 78, n. 2, Chillán, jun., 2018.

GARCÍA-PEÑA, M.; DIAS, C. T. S. Análise dos modelos aditivos com interação multiplicativa (AMMI) bivariados. **Revista Brasileira Bioma**, v. 27, n. 4, p. 586-602, São Paulo, 2009.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. Genotype by environment interaction. **Boca Raton: CRC Press**, v.4, p.85-122, 1996.

GELA, T. S.; KHAZAEI, H.; PODDER, R.; VANDERBERG, A. Dissection of genotype-by-environment interaction and simultaneous selection for grain yield and stability in faba bean (*Vicia faba* L.). **Agronomy Journal**, v. 115, n. 2, p. 474-488, 2022.

GONZÁLEZ, M. R.; JULIEN, N. C.; JIMÉNEZ, D. D.; FRANCO, M. M. Interação genotipo-ambiente de três variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) nas condições edafoclimáticas da Chianga. **Ojeando la Agenda**, n. 71, 2021.

HARDARSON, G. Enhancement of symbiotic nitrogen fixation in grain legumes: selected results from the FAO/IAEA program. In: **Symbiotic Nitrogen Fixation: Prospects for Enhanced Application in Tropical Agriculture**, p. 163–171, 2004.

HENRIQUE, I. G.; NASCIMENTO, I. C.; SOUZA, Í. D.; ANDRADE, G. R.; MORAIS, P. H. A.; PEREIRA, D. B.; MELO FILHO, L. C. **Revista Cultura Agronômica**, v. 29, n. 4, p. 490-505, 2020.

HERRIDGE, D. F.; DANSO, S. K. A. Enhancing crop legume N₂ fixation through selection and breeding. **Plant and Soil**, Haia, v. 174, n. 1/2, p. 51-82, 1995.

HUANG, X.; JANG, S.; KIM, B.; PIAO, Z.; REDONA, E.; KOH, H. J. Evaluating Genotype × Environment Interactions of Yield Traits and Adaptability in Rice Cultivars Grown under Temperate, Subtropical and Tropical Environments. *Agriculture*, v. 11, n. 6, 2021.

HUANUQUEÑO, H.; ZOLLA, G.; JIMENEZ, J. Selection of stable and high-yielding lines of purple corn (*Zea mays* L.) var. popcorn using multi-trait stability index (MTSI). **Scientia Agropecuaria**, v. 13, n. 2, p. 125-133, 2022.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CHUEIRE, L. M. O.; MEGÍAS, M. Characterization of New Efficient and Competitive Strains for the Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Crop in Brazil. In: **Highlights of Nitrogen Fixation Research**. Springer, Boston, Massachusetts, 1999.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (**Embrapa Soja**. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen Fixation with Soybean: The Perfect Symbiosis?. In: **Biological Nitrogen Fixation**, 2015.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação Biológica de Nitrogênio. In: Bioinsumos na Cultura da Soja, **Embrapa**, 550 p., 2022.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors impacting N₂ fixation in legumes grown in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crop Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.

IQBAL, M. S.; SARFRAZ, Z.; NAZIR, M. F.; ZHAOE-PAN, Y. J.; MAHMOOD, T.; DU, X. Genotype × Environment Interaction Analysis for Yield Stability of Hybrid Cotton Across Production Environments Through Multiple Biometrical Tools. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 17, p. 15310-15326, 2022.

JIMÉNEZ, O. R. Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Breeding. **Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes**. Springer, v. 7, p. 151-200, 2019.

JORBEN, J.; RAO, A.; BHARADWAJ, C.; NITESH, S. D.; TIWARI, N.; KUMAR, T.; SAXENA, D. R.; YASIN, M.; SONTAKKE, P. L.; JAHAGUIDAR, J. E.; HEDGE, V. S. Multi-trait multi environment analysis for stability in MABC lines of Chickpea (*Cicer arietinum*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 92, n. 8, p. 1005-1009, aug., 2022.

KARAVIDAS, I.; NTATSI, G.; NTANASI, T.; TAMPAKAKI, A.; GIANNOPOULOU, A.; PANTAZOPOULOU, D.; SABATINO, L.; IANNETTA, P. P. M.; SAVVAS, D. Hydroponic Common-Bean Performance under Reduced N-Supply Level and Rhizobia Application. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 646, 2023.

KARIMIZADEH, R.; PEZESSHKPUOR, P.; BARZALI, M.; MEHRABAN, A.; SHARIFI, P. Evaluation the Mean Performance and Stability of Lentil Genotypes by Combining Features of AMMI and BLUP Techniques. **jcb**, v. 12, n. 36, p. 160-170, 2020.

KATUURAMU, D. N.; LUYIMA, G. B.; NKALUBO, S. T.; WIESINGER, J. A.; KELLY, J. D.; CICHY, K. A. On-farm multi-location evaluation of genotype by environment interactions for seed yield and cooking time in common bean. **Scientific Reports**, v. 10, n. 3628, 2020.

KOUNDINYA, A. V. V.; AJEESH, B. R.; HEGDE, V.; SHEELA, M. N.; MOHAN, C.; ASHA, K. I. Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. **Scientia Horticulture**, v. 281, p. 100-112, 2021

LARA-CABEZAS, W. A. R.; PÁDUA, R. V. Eficiência e distribuição de nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de milho consorciada com brachiaria ruziziensis, cultivada no sistema santa fé. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 131-140, Campinas, 2007.

LEE, S. Y.; LEE, H. S.; LEE, C. M.; HA, S. K.; PARK, H. M.; LEE, S. M.; KWON, Y.; JEUNG, J. U.; MO, Y. Multi-Environment Trials and Stability Analysis for Yield-Related Traits of Commercial Rice Cultivars. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 256, 2023.

LIGARRETO-MORENO, G.; PIMENTEL-LADINO, C. Grain yield and genotype x environment interaction in bean cultivars with different growth habits. **Plant Production Science**, v. 25, n. 2, p. 232-241, 2022.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal Plant Science**, v.68, p. 193-198, 1988.

MADHUSUDHANA, R.; HARIPRASANNA, K.; ARUNA, C.; SAJJANAR, G. M.; HANAMARATTI, N. G.; SAMEERA, S.; TONAPI, V. A. Genetic variability, $G \times E$ interaction and stability for iron and zinc content in sorghum grains in advanced breeding lines, **Journal of Cereal Science**, v. 110, 2023.

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 43-50, jan./mar., 2009

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MARTÍNEZ-ROMERO, E. Diversity of Rhizobium-Phaseolus vulgaris symbiosis: overview and perspectives. **Plant and Soil**, v. 252, n. 1, p. 11-23, 2003.

MASSA, N.; CESARO, P.; TODECHINI, V.; CAPRARO, J.; SCARAFONI, A.; CANTAMESSA, S.; COPETTA, A.; ANASTASIA, F.; GAMALERO, E.; LINGUA, G.; BERTA, G.; BONA, E. Selected autochthonous rhizobia, applied in combination with AM fungi, improve seed quality of common bean cultivated in reduced fertilization condition. **Applied Soil Ecology**, v. 148, apr., 2020.

MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; SARTORATO, A.; PEREIRA, P. A. A. Pré-melhoramento do feijão-comum. In: LOPES, M. A.; FÁVERO, A. P.; FERREIRA, M. A. J. F.; FALEIRO, F. G.; FOLLE, S. M.; GUIMARÃES, E. P. (Eds.). Pré-melhoramento de plantas: Estado da arte e experiências de sucesso. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 442-485, 2011.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C.; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, 2007.

MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; AGUIAR, M. S.; COSTA, J. G. C.; WENDLAND, A.; DÍAZ, J. L. C.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, A. F.; ALMEIDA, V. M.; MELO, C. L. P.; ITO, M.; MAGALDI, M. C. S.; SOUZA, N. P.; SOUZA, T. L. P. O. BRS FC104 – Super-early carioca seeded common bean cultivar with high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 4, p. 471-475, 2019.

MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; SOUZA, T. L. P. O.; FARIA, L. C.; AGUIAR, M. S.; CARVALHO, H. W. L.; ALMEIDA, V. M.; COSTA, A. F.; ITO, M. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; MAGALDI, M. C. S.; KNUPP, A. M.; COSTA, J. G. C.; SOUZA, N. P. BRS FC310: carioca common bean cultivar with semi-early cycle, upright growth habit, and resistance to major diseases. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 4, n. 1, p. 23-28, jan./jun., 2022.

MERCANTE, F. M.; ORSUBO, A. A.; BRITO, O. R. New Native Rhizobia Strains for Inoculation of Common Bean in the Brazilian Savanna. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

MOREIRA, L. P.; OLIVEIRA, A. P. S.; FERREIRA, E. P. B. Nodulation, contribution of biological N₂ fixation, and productivity of the common bean ('Phaseolus vulgaris' L.) inoculated with rhizobia isolates. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 6, jun., 2017.

MYLONA, P.; PAWLOWSKI, K.; BISSELING, T. Symbiotic Nitrogen Fixation. **The Plant Cell**, Rockville, v. 7, n. 7, p. 869-885, 1995.

NADEEM, M. A.; YEKEN, M. Z.; SHAHID, M. Q.; HABYARIMANA, E.; YILMAZ, H.; ALSALEH, A.; HATIPOGLU, R.; ÇILESIZ, Y.; KHAWAR, K. M.; LUDIDI, N.; ERCISLI, S.; AASIM, M.; KARAKOY, T.; BALOCH, F. S. Common bean as a potential crop for future food security: an overview of past, current and future contributions in genomics, transcriptomics, transgenics and proteomics. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 35, n. 1, p. 759-787, 2021.

NAMDARI, A.; PEZESHKPOUR, P.; MEHRABAN, A.; MIRZAIE, A.; BARZALI, M. Assesment of Seed Yield Stability of Advanced Rainfed Lentil Lines in Multi-Environmental Trials using WAASB and WAASBY Indices. **Seed and Plant**, v. 38, n. 2, p. 129-146, 2022.

NASCIMENTO, M. R.; SOUZA, A. G.; SANTOS, R. M.; FIGUEIREDO R. D. Adaptabilidade e estabilidade em genótipos de feijão preto em campos dos Goytacazes. In: **Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais**, Monte Carmelo, 2021.

NASCIMENTO, M. R.; SANTOS, P. R.; COSTA, A. F.; DAHER, R. F.; OLIVEIRA, T. R. A.; SOUZA, A. G.; COSTA, K. D. S.; SILVA, K. R. G.; ARAÚJO, E. R.; SANTANA, S. R. A.; SILVA, J. W. Genotypic selection of pre-cultivars of carioca and early carioca beans for the Agreste-Sertão of Pernambuco, Brazil. **Ciência Rural**, v. 53, n. 6, Santa Maria, 2023.

NATARAJ, V.; BHARTYA, A.; SINGH, C. P.; DEVI, H. N.; DESHMUKH, M. P.; VERGHESE, P.; SINGH, K.; MEHTRE, S. P.; KUMARI, V.; MARANNA, S.; KUMAWAT, G.; RATNAPARKHE, M. B.; SATPUTE, G. K.; RAJESH, V.; CHANDRA, S.; RAMTEKE, R.; KHANDEKAR, N.; GUPTA, S. WAASB-based stability analysis and simultaneous selection for grain yield and early maturity in soybean. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3089-3099, jul./aug., 2021.

NELSON, G. C.; VALIN, H.; SANDS, R. D.; WILLENBOCKEL, D. Climate changes effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. **Agricultural sciences**, v. 111, n. 9, p. 3274-3279, dec., 2013.

NUNES, J.A.R.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual report of bean improvement cooperative**, East Lansing, v.48, n. 1, p.182-183, 2005.

OLADZAD, A.; GONZÁLEZ, A.; MACCHIAVELLI, R.; JENSEN, C. E.; BEAVER, J.; PORCH, T.; MACCLEAN, P. Genetic Factors Associated With Nodulation and Nitrogen Derived From Atmosphere in a Middle American Common Bean Panel. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, dec., 2020.

OLIVEIRA, C. P.; FONSECA, F. G.; SILVA, S. M. A. Produtividade do feijoeiro com inoculação e adubação nitrogenada em região central amazônica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, 2021.

OLIVEIRA JUNIOR, G. G.; SILVA, A. B.; MANTOVANI, J. R.; MIRANDA, J. M.; FLORENTINO, L. A. Levantamento de emissão de gases de efeito estufa pela metodologia do carbono equivalente na cultura do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 10, n. 4, p. 412-419, out./dez., Lavras, 2015.

OLIVEIRA, G. V.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. S.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão comum em Minas Gerais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 2, p. 257-265, Brasília, fev., 2006.

OLIVEIRA, J.P.; GALLI-TERASAWA, L.V.; ENKE, C.G.; CORDEIRO, V.K.; ARMSTRONG, L.C.T.; HUNGRIA, M. Genetic diversity of rhizobia in a Brazilian oxisol

nodulating Mesoamerican and Andean genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 27, n. 3, p. 643-650, Berlin, 2011.

OLIVEIRA, R. C.; SBARDELOTTO, J. M. Nodulação em diferentes variedades de feijão inoculadas com *Rhizobium tropici*. **Cultivando o Saber**, v. 4, p. 46-52, Cascavel, 2011.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C.; SILVA, J. A. G.; SARI, B. G.; DIEL, M. I. Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials II: Selection Based on Multiple Traits. **Agronomy Journal**, v. 3, n. 6, 2019b.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C.; SILVA, J. A. G.; MARCHIORO, V. S.; SOUZA, V. Q.; JOST, E. Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials I: Combining Features of AMMI and BLUP Techniques. **Agronomy Journal**, v. 3, n. 6, 2019a.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M.; CARVALHO, I. R.; FOLLMANN, D. N.; FERRARI, M.; SZARESKI, V. J. REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. **Genetic and Molecular Research**, v.16, 2017.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M.; MEIRA, D.; MEIER, C.; FOLLMAN, D. N.; SOUZA, V. Q.; KONFLANZ, V. A.; BARETTA, D. Multi-trait selection for mean performance and stability in maize. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 5, p. 3968-3974, 2021.

OLIVOTO T.; SARI, B. G. Software R para avaliação de dados experimentais: Um foco em experimentos agrônômicos. **Bookdown R Package**, jan., 2021. Disponível em: <<https://tiagoolivoto.github.io/e-bookr/interaction.html#modelos-mistos-na-avalia%C3%A7%C3%A3o-de-met>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

OTSUBO, A. A. **Seleção de estirpes de rizóbio e de genótipo de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) visando o incremento da fixação biológica de nitrogênio e da produção de grãos**. 2012. 107 f. (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

OTSUBO, A.A.; BRITO, O.R.; MERCANTE, F.M. Productivity and nodulation of promising lineages of the Carioca bean group inoculated with *Rhizobium tropici* or supplemented with nitrogen fertilizer. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2763-2776, Londrina, 2013.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; ASSUNÇÃO, M. S.; JÚNIOR, J. N.; CHAVES, A. A. P. Zoneamento e adaptação produtiva de genótipos de soja de ciclo médio de maturação para Goiás. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 1, p. 23–27, 2003.

PACHECO, R. S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; FERREIRA, E. P. B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A. P. Differences in contribution of biological nitrogen fixation to yield performance of common bean cultivars as assessed by the ¹⁵N natural abundance technique. **Plant and Soil**, v. 454, p. 327-341, 2020.

PARMESAN, C.; MORECROFT, M. D.; TRISURAT, Y. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. **GIEC**, 2022.

PATTERSON, H.D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545-554, 1971.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; MIYUKI, I.; OTSUBO, N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 219-226, Viçosa, 2009.

PEÑA, M. G.; ALARCÓN, S. A.; DIAS, C. T. S. **Modelos aditivos com interação multiplicativa (AMMI) em dados de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*)**. 2012, Anais.. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2012.

PEOPLES, M. B.; HAUGGAARD-NIELSEN, H.; JENSEN, E. S. The potential environmental benefits and risks derived from legumes in rotations. In: **Nitrogen fixation in crop production**. p. 349–385, 2009.

PEREIRA, H. S.; BUENO, L. G.; PELOSO, M. J. D.; ABREU, A. F. B.; MOREIRA, J. A. A.; MARTINS, M.; WENDLAND, A.; FARIA, L. C.; SOUZA, T. L. P. O.; MELO, L. C. Agronomic performance and stability of andean common bean lines with white grains in Brazil. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 130-137, Campinas, 2014.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C.; COSTA, J. G. C.; DÍAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; & WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 374-383, abr., 2009b.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C.; PEREIRA, E. P. B.; MERCANTE, F. M.; WENDLAND, A.; SOUZA, T. L. P. O. Common bean elite lines cultivated under nitrogen fertilization and inoculation with *Rhizobium tropici*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 12, p. 2168-2173, dez., 2015.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C.; PELOSO, M. J. D.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, jan., 2009a.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C.; PELOSO, M. J. D.; COSTA, J. G. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Estabilidade de genótipos de feijoeiro comum com grãos carioca na região central do Brasil nos anos de 2003/2004. **Documentos IAC**, 85, Campinas, 2008.

PEREIRA, H. S.; MENDONÇA, F. R.; RODRIGUES, L. L.; MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. da; COSTA, A. F.; CARVALHO, H. W. L.; FILHO, I. A. P.; ALMEIDA, V. M. Selection of carioca common bean lines with slow darkening. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 56, e02471, 2021.

PEREIRA, P.; MIRANDA, B.; ATTEWELL, J.; KMIETIK, K.; BLISS, F. Selection for increased nodule number in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant Soil**, v. 148, p. 203-209, 1993.

PEREIRA, T. C. V.; SCHMIT, R.; HAVEROTH, E. J.; MELO, R. C.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; BACKES, R. L. Reflexo da interação genótipo x ambiente sobre o melhoramento genético de feijão. **Ciência Rural**, v. 46, n. 3, p. 411-417, mar., 2016.

PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C. Coinoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 198-207, 2016.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; VARGAS, M. A. T. Efeito da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão em solo de cerrado. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 18, n. 3, p. 415-420, Campinas, 1994.

PIEPHO, H. P. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: A comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. **Theor. Applied Genetics**, v. 89, p. 647-654, 1994.

PIMENTEL-GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 468p.

PIMENTEL-GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. São Paulo: Nobel, 2000. 466p.

POUR-ABOUGHADAREH, A.; SANJANI, S.; NIKKHAH-CHAMANABAD, H.; MEHRVAR, M. R.; ASADI, A.; AMINI, A. Identification of salt-tolerant barley genotypes using multiple-traits index and yield performance at the early growth and maturity stages. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 45, n. 117, 2021.

RAJPUT, L. S.; NATARAJ, V.; KUMAR, S.; AMRATE, P. K.; JAHAGIRDAR, S.; HUILGOL, S. N.; CHAKRUNO, P.; SINGH, A.; MARANNA, S.; RATNAPARKHE, M. B.; BORAH, M.; SINGH, K. P.; GUPTA, S.; KHANDEKAR, N. WAASB index revealed stable resistance sources for soybean anthracnose in India. **The Journal of Agricultural Science**, v. 159, n. 9-10, p. 710-720, feb., 2022.

RAMIRES, R. V.; LIMA, S. F.; SIMON, C. A.; CONTARDI, L. M.; ALVAREZ, R. C. F.; BRASIL, M. S. Inoculação com rizóbio associado ao manejo da adubação nitrogenada em feijão comum. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, jan./mar., 2018.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G. V. Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 3, p. 357-363, 1999.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. <https://www.R-project.org/>

REETZ, H. F. Fertilizers and their Efficient Use. **International Fertilizer Association**, may., Paris – France, 2016.

REINPRECHT, Y.; SCHRAM, L.; MARSOLAIS, F.; SMITH, T. H.; HILL, B.; PAULS, K. P. Effects of Nitrogen Application on Nitrogen Fixation in Common Bean Production.

Frontiers in Plant Science, v. 11, n. 1172, aug., 2020.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, Goiânia, 2007.

RESENDE, M.D.V. Matemática e Estatística na análise de Experimentos e no melhoramento Genético. Colombo: **Embrapa Florestas**, 362 p., 2007.

RESENDE, M.D.V. Software SELEGEN – REML/BLUP. Colombo: **Embrapa Florestas**, n.77, dez., 2002.

RIBEIRO, N. D.; JUNIOR, L. H.; POSSEBON, S. Variabilidade genética para ciclo em feijão dos grupos preto e carioca. **Revista Brasileira de Agrociências**, v. 10, n. 1, p. 19-29, 2004.

ROBERTSON, A. The Sampling Variance of the Genetic Correlation Coefficient. **Biometrics**, v. 15, n. 3, sep., 1959.

ROCHA, P. A. D. F. **Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de feijão-comum em área de cerrado**. 2022. 56 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2022.

RODRIGUES, P. C. S. **Inoculação de sementes de feijão comum cvs. Awauna (preto) com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas e adubação nitrogenada**. In: Encontro Anual de Iniciação Científica, Anais, Ponta Grossa: UEM, 2020.

ROMANINI JUNIOR, A.; ARF, O.; BINOTTI, F.F.S.; SÁ, M.E.; BUZZETTI, S.; FERNANDES, F.A. Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema de plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 4, p. 74-82, Uberlândia, 2007.

RUBIALES, D.; MORAL, A.; FLORES, F. Agronomic Performance of Broomrape Resistant and Susceptible Faba Bean Accession. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1421, 2022a.

RUBIALES, D.; MORAL, A.; FLORES, F. Performance of Winter-Sown Chickpea Breeding Lines with Contrasting Levels of Resistance to Ascochyta Blight. **Agronomy**, v. 12, n. 9, 2022b.

SAHRUZAINI, N. A.; REJAB, N. A.; HARIKRISHNA, J. A.; IKRAM, N. K. K.; ISMAIL, I.; KUGAN, H. M.; CHENG, A. Pulse Crop Genetics for a Sustainable Future: Where We Are Now and Where We Should Be Heading. **Frontier in Plant Science**, v. 11, p. 531, 2020.

SAMPAIO, F. B.; KNUPP, A. M.; FERNANDES, E. P.; MARTIN-DIDONET, C. G.; FERREIRA, E. P. B. MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF RHIZOBIA ISOLATED FROM WILD GENOTYPES OF THE COMMON BEAN. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 6, p. 1502-1511, nov./dec., Uberlândia, 2016.

SEGOVIA, L.; YOUNG, J. P. W.; MARTINEZ-ROMERO, E. Reclassification of American *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli type I strains as *Rhizobium etli* sp. nov. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 43, n. 2, p. 374-377, 1993.

SELLAMI, M. H.; LAVINI, A.; PULVENTO, C. Phenotypic and Quality Traits of Chickpea Genotypes under Rainfed Conditions in South Italy. **Agronomy**, v. 11, n. 5, 2021.

SHARIFI, P.; ABBASIAN, A.; MOHADDESI, A. Evaluation the Mean Performance and Stability of Rice Genotypes by Combining Features of AMMI and BLUP Techniques and Selection Based on Multiple Traits. **Plant Genetic Researches**, v. 7, n. 2, p. 163-180, 2021.

SHARIFI, P.; ERFANI, A.; ABBASIAN, A.; MOHADDESI, A. Stability of some rice genotypes based on WAASB and MTSI indices. **Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 9, n. 2, oct., 2020.

SILCHI, R. M. H. Q.; SCHOENINGER, V.; HOSCHER, R. H.; RODRIGUES, N. G. E. Aspectos que influenciam a aquisição e preparo do feijão comum por consumidores domésticos. **Revista Faz Ciência**, v. 23, n. 37, p. 147-164, 2021.

SILVA, A.; FRANZINI, V. I.; PICCOLLA, C. D.; MURAOKA, T. Molybdenum supply and biological fixation of nitrogen by two Brazilian common bean cultivars. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 100-105, 2017.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro “Carioca”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1437-1442, out., Brasília, 2007.

SILVA, F. C.; PEREIRA, H. S.; MELO, P. G. S.; MELO, L. C. ; WANDERLEY, F. M.; FARIA, L. C.; SOUZA, T. L. P. O.; WENDLAND, A.; DÍAZ, J. L. C.; MAGALDI, M. C. S.; SOUZA, N. P. **Estabilidade fenotípica para a qualidade comercial de grãos em linhagens de feijoeiro-comum do grupo preto no Estado do Paraná**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. Anais eletrônicos... Uberlândia: SBMP, 2013. p.1819-1823. Disponível em: <<http://www.sbmp.org.br/7congresso/anais>>.

SILVA, J. L. T.; CAVALCANTE, M.; BARROS, J. A. S. Stability and adaptability of lettuce cultivars on different substrates. **Comunicata Scientiae**, v. 14, 2022.

SILVA, P. C. **Divergência genética, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum na região centro sul de mato grosso do sul. 2022**. (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2022.

SILVEIRA, T. L. S.; GODOI, N. M. I.; SALES, L. Z. S.; GARÉ, L. M.; ITO, M. A.; ARF, O. Desempenho de genótipos de feijão comum no período de outono-inverno em região de cerrado de baixa altitude. **Agronomic Crop Journal**, v. 28, n. 3, p. 316-328, 2019.

SINGAMSETTI, A.; SHAHI, J. P.; ZAIDI, P. H.; SEETHARAM, K.; VINAYAN, M. T.; KUMAR, M.; MADANKAR, K. Genotype × environment interaction and selection of maize

(*Zea mays* L.) hybrids across moisture regimes. **Field Crops Research**, v. 27, n. 1, p. 1-13, 2021.

SINGH, A.; SCHÖB, C.; IANNETTA, P. P. M. Nitrogen fixation by common beans in crop mixtures is influenced by growth rate of associated species. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 253, 2023.

SOUSA, W. S.; SORATTO, R. P.; PEIXOTO, D. S.; CAMPOS, T. S.; SILVA, M. B.; SOUZA, A. G. V.; TEIXEIRA, I. R.; GITARI, H. I. Effects of Rhizobium inoculum compared with mineral nitrogen fertilizer on nodulation and seed yield of common bean. A meta-analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 52, 2022.

SOUZA, Y. P.; SANTOS, P. R.; NASCIMENTO, M. R.; COSTA, K. D. S.; LIMA, T. V.; OLIVEIRA, T. R. A.; COSTA, A. F.; PEREIRA, H. S.; SILVA, J. W. Assessing the genotypic performance of carioca beans through mixed models. **Ciência Rural**, v. 48, n. 7, Santa Maria, 2018.

SOUZA, T. L. P. O.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; WENDLAND, A.; COSTA, J. G. C.; ABREU, A. F. B.; DIAS, J. L. C.; MAGALDI, M. C. S.; SOUZA, N. P.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. **Cultivares de feijão comum da e Embrapa e parceiros disponíveis para 2013**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 6 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 211).

SRUTHI, K.; ESWARI, K. B.; RAJU, C. D.; MADHAV, M. S.; DHANDAPANI, A.; SENGUTTUVEL, P.; SREE, M. B. S.; LATHA, K. S. K.; BEULAH, P.; NAGARAJU, P.; MANASA, Y.; KOTESWARARAO, P.; ALI, M. S.; DIVYA, B.; REVATHI, P.; KEMPARAJU, K. B.; JYOTHI B.; SUNDARAM, R. M.; PRASAD, A. S. H. Identification of stable restorer lines developed through inter-sub-specific hybridization in rice (*Oryza sativa*) using multi-trait stability index. **Plant Breeding**, 2023.

STEINER, F.; FERREIRA, H. C. P.; ZUFFO, A. M. Can co-inoculation of Rhizobium tropici and Azospirillum brasilense increase common bean nodulation and grain yield? Semina: **Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 81-98, 2019.

STRALIOTTO, R. A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**. 2002. Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/artigos/fbml_inocula_feijoeiro>. Acesso em: 18 out. 2021.

TAVARES, T.; SOUSA, S.; SALGADOS, F.; SANTOS, G.; LOPES, M.; FIDELIS, R. Adaptabilidade e estabilidade da produção de grão em feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 411-418, 2017.

THILAKARATHNA, M. S.; RAIZADA, M. N. Challenges in Using Precision Agriculture to Optimize Symbiotic Nitrogen Fixation in Legumes: Progress, Limitations, and Future Improvements Needed in Diagnostic Testing. **Agronomy**, v. 8, n. 5, p. 78, 2018.

TISCHLER, A. L. **Adaptabilidade, estabilidade e relações entre caracteres de trigo em ensaios multiambientais**. 2021. 96 f. (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-

Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 2021.

TORGA, P. P.; MELO, P. G. S.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. Interaction of common beans cultivars of black group with years, locations and sowing seasons. **Euphytica**, v. 189, n. 2, p. 239-248, Dordrecht, 2013.

VALADÃO, F. C. A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L. A.; BORCHARTT, L.; OLIVEIRA, A. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D. Inoculação das sementes e adubações nitrogenadas e molíbdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 741-748, Manaus, 2009.

VARSHNEY, R. K.; GLASZMANN, J.; LEUNG, H.; RIBAUT, J. More genomic resources for less-studied crops. **Trends in Biotechnology**, v. 28, n. 9, p. 452-560, 2010.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biol Fertil Soils**, v. 32, p. 228-233, 2000.

VASCONCELOS, A. L. S. **Emissão de gases de efeito estufa do solo devido à remoção de quantidades de palha de cana-de-açúcar e à adubação nitrogenada**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

VERMA, A.; SINGH, G. P. Simultaneous consideration of AMMI analysis and yield of wheat genotypes for stability assessment evaluated under Central Zone of India. **Journal of Crop and Weed**, v. 17, n. 2, p. 160-169, 2021b.

VERMA, A.; SINGH, G. P. Superiority index based on AMMI and yield of wheat genotypes evaluated in North Western Plains Zone under restricted irrigated timely sown conditions. **International Journal of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 73-82, jan., 2021a.

VERMA, A.; VERMA, R. P. S.; SINGH, J.; KUMAR, L.; SINGH, G. P. AMMI confounded with BLUP of feed barley genotypes for superiority measures under NEPZ trials. **International Journal of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 2, p. 573-581, jun., 2021c.

VINEETH, T. V.; PRASAD, I.; CHINCHMALATPURE, A. R.; LOKESHKUMAR, B. M.; KUMAR, S.; RAVIKIRAN, K. T.; SHARMA, P. C. Weighted average absolute scores of BLUPs (WAASB) based selection of stable Asiatic cotton genotypes for the salt affected Vertisols of India. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 82, n. 1, 2022.

YUE, H.; GAUCH, H. G.; WEI, J.; XIE, J.; CHEN, S.; PENG, H.; BU, J.; JIANG, X. Genotype by Environment Interaction Analysis for Grain Yield and Yield Components of Summer Maize Hybrids across the Huanghuaihai Region in China. **Agriculture**, v. 12, n. 5, 2022.

ZANELLA, R.; MEIRA, D.; ZDZIARSKI, A. D.; BRUSAMARELLO, A. P.; OLIVEIRA, P. H.; BENIN, G. Performance of common bean genotypes as a function of growing seasons and technological input levels. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, Goiânia, 2019.

ZHOU S.; ZHANG, C.; HUANG, Y.; CHEN, H.; YUAN, S.; ZHOU, X. Characteristics and

Research Progress of Legume Nodule Senescence. **Plants**, v. 10, n. 1013, 2021.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 582 p., 2014.