



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de Ilha Solteira

PEDRO AFONSO DE FREITAS ROCHA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS EXPERIMENTAIS DE
FEIJÃO-COMUM EM ÁREA DE CERRADO**

Ilha Solteira
2022

PEDRO AFONSO DE FREITAS ROCHA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS
EXPERIMENTAIS DE FEIJÃO-COMUM EM ÁREA DE CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à UNESP – Campus de
Ilha Solteira, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

João Antonio da Costa Andrade
Orientador

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

56 f. : il.

Orientador: João Antonio da Costa Andrade
Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Interação Genótipo-Ambiente. 3. Melhoramento genético.

Raiane de Silva Santos
Raiane de Silva Santos

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO: "ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS
EXPERIMENTAIS DE FEIJÃO-COMUM EM ÁREA DE
CERRADO"**

ALUNO: PEDRO AFONSO DE FREITAS ROCHA - RA: 172055644

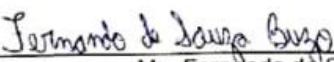
ORIENTADOR: Prof. Dr. JOÃO ANTONIO DA COSTA ANDRADE

Aprovado (X) – Reprovado () pela Comissão Examinadora com a Nota: 9,5

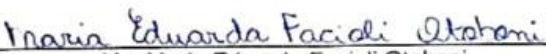
Comissão Examinadora:



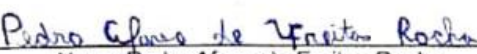
Prof. Dr. João Antonio da Costa Andrade
Presidente (Orientador)



Ms. Fernando de Souza Buzo



Ms. Maria Eduarda Facioli Otoboni



Aluno: Pedro Afonso de Freitas Rocha

Ilha Solteira(SP), 08 de julho de 2022.

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Ciências Biológicas, Eng. Agrônoma, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
pabx (18) 3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela nobreza da vida; por Cristo e sua aproximação à humanidade, pelas lições de espírito de serviço, fraternidade, amor e compaixão, hoje e sempre.

A todas as pessoas que me ajudaram de diferentes formas, desejo expressar meus agradecimentos.

Agradeço aos meus pais, Karina de Freitas e Cláudio Correa Rocha (*in memorian*); aos meus irmãos Igor Gabriel de Freitas Marcussi e Cláudio Correa Rocha Júnior; à minha avó Cleide Maria Costa de Freitas; bem como a todos os familiares e amigos que me apoiaram e inspiraram para o crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao professor João Antonio da Costa Andrade, pela orientação e inspiração nas atividades de seu laboratório. Sem ele este trabalho não poderia ser desenvolvido. Agradeço todas as discussões para melhor entendimento das matérias, sobretudo às relativas à Genética Quantitativa e seus aspectos.

Agradeço também à UNESP - Campus de Ilha Solteira pela oportunidade de encontrar fontes inesgotáveis de informações. Devo muito a todos os professores do curso de Engenharia Agrônômica por todo o conhecimento compartilhado e pelo encorajamento para seguir na carreira.

Agradeço ademais, aos alunos de graduação e pós-graduação que integram e integraram o Laboratório de Genética Quantitativa da Universidade. Agradeço por todo apoio teórico e prático, essenciais para o desenvolvimento dos trabalhos do laboratório.

“O mistério da existência humana não reside apenas em permanecer vivo, mas em encontrar algo por que valha a pena viver”. Fiódor Dostoiévski.

“O mundo é um livro, e quem fica sentado em casa lê somente uma página”. Santo Agostinho.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa e nunca se arrepende”. Leonardo da Vinci.

RESUMO

O feijão-comum simboliza a importante participação dos vegetais como fontes de proteínas na alimentação humana, especialmente na América Latina, sendo o Brasil o maior produtor e consumidor mundial. No país, seu destaque decorre, sobretudo, de sua alta capacidade adaptativa, com cultivo em diferentes épocas e níveis tecnológicos, contudo, com diferentes potenciais de produção e baixa produtividade média. À vista disso, busca-se genótipos mais produtivos, de satisfatória sanidade e adaptabilidade e estabilidade para aumentar a produção sustentável do cereal. Nesse sentido, objetivou-se com o presente estudo identificar genótipos superiores em produtividade e classificá-los em relação à adaptabilidade e estabilidade. Os dados analisados compreenderam informações de experimentos conduzidos por sete anos, de 2015 a 2021, avaliando-se 28 linhagens experimentais, mais uma linhagem testemunha, determinando os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para rendimento de grãos utilizando-se do método proposto por Eberhart e Russel (1966). Pode-se observar que as linhagens LP4, LP9, LP17, LP19, LP23 e LP27 se destacaram, associando excelente rendimento de grãos, adaptabilidade ampla e alta previsibilidade. As linhagens LP13 e LP28 se apresentaram como opções de genótipos para produtores de baixo nível tecnológico, apresentando adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, bom rendimento de grãos e estabilidade alta. A linhagem LP26, por sua vez, colocou-se como promissora para altos níveis tecnológicos, com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, rendimento de grãos superior à média geral e estabilidade.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Interação Genótipo-Ambiente. Melhoramento genético.

ABSTRACT

The common bean symbolizes the important participation of vegetables as sources of protein in human food, especially in Latin America, with Brazil being its largest producer and consumer worldwide. In the country, its prominence derives, above all, from its high adaptive capacity, with cultivation at different times and technological levels, however, with different production potentials and low average productivity. In view of this, more productive genotypes are sought, with satisfactory health, adaptability and stability to the sustainable production of this cereal. In this sense, the objective of the present study was to identify genotypes superior in productivity and classify them in relation to adaptability and stability. The analyzed data comprised information from experiments conducted for seven years, from 2015 to 2021, 28 experimental lines were evaluated, plus a control line, determining the adaptability and stability parameters for grain yield using the method proposed by Eberhart and Russell (1966). It can be observed that the lines LP4, LP9, LP17, LP19, LP23 and LP27 stood out, since they were considered excellent genotypes, associating grain yield, broad adaptability and high predictability. The LP13 and LP28 strains were presented as genotype options for low-tech producers, presenting specific adaptability to unfavorable environments, good grain yield and high stability. The LP26 strain, in turn, was shown to be promising for high technological levels, presenting specific adaptability to favorable environments, grain yield above average and stability.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.. Genotype-Environment Interaction. Plant breeding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP1 (A), LP3 (B), LP4 (C), LP6 (D), LP7 (E), LP8 (F), LP9 (G) e LP11 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira	24
Figura 2	- Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP12 (A), LP13 (B), LP17 (C), LP18 (D), LP19 (E), LP20 (F), LP23 (G) e LP24 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira.....	25
Figura 3	- Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP26 (A), LP27 (B), LP28 (C), LP30 (D), LP33 (E), LP37 (F), LP44 (G) e LP45 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira.....	25
Figura 4	- Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP46 (A), LP48 (B), VISAC (C) e VISAE (D) da UNESP – Campus de Ilha Solteira, e BRSN (E) da Embrapa	26
Figura 5	- Localização da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP – Campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria, no Cerrado do Mato Grosso do Sul, na divisa entre os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil,.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Médias de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), insolação (h/dia), radiação solar (MJ/m ² dia) e chuva (mm), durante os quatro meses de desenvolvimento de feijão-comum, de 2015 a 2021 no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.....	28
Tabela 2	- Médias de temperaturas (°C) máximas e mínimas para junho, correspondente ao período de florescimento de genótipos de feijão-comum no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.....	28
Tabela 3	- Esquema das análises de variância individuais e conjunta.....	30
Tabela 4	- Hábitos de crescimento, dias até florescimento (dias) e massa de cem grãos (g) de 29 genótipos de feijão-comum avaliados em Selvíria, Mato Grosso do Sul.....	33
Tabela 5	- Análises de variância individuais e conjunta para 29 linhagens de feijão-comum e sete ambientes, avaliados de 2015 a 2021 no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.....	35
Tabela 6	- Índices ambientais por Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), médias de rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) e classificação qualitativa de ambientes com genótipos de feijão-comum no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.....	36
Tabela 7	- Estimativas de adaptabilidade e estabilidade para rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) obtidas de acordo com o método de Eberhart e Russel (1966), para 29 genótipos de feijão-comum, avaliadas de 2015 a 2021 no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Feijão comum: importância e aspectos morfofisiológicos	14
2.2 Interação Genótipo x Ambiente: implicações ao fitomelhoramento	18
2.3 Adaptabilidade e estabilidade: importância e aspectos genéticos	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Materiais	24
3.2 Condução experimental	27
3.3 Procedimentos de biometria	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÃO	40
6 REFERÊNCIAS.....	41
7 ANEXOS	52

1 INTRODUÇÃO

Nota-se nos últimos anos, especialmente em países em desenvolvimento, a importância do feijão para a segurança alimentar, acompanhando o crescimento da população, se colocando como uma das principais leguminosas e, depois da proteína animal, a maior fonte do nutriente na alimentação humana (FAGERIA et al., 2014; DALCHIAVON, NEVES e HAGA, 2016). O cultivo do feijão, por não haver sensibilidade ao fotoperíodo, é realizado o ano todo, quando se dispõe de boas condições climáticas (MAEDA e MENDONÇA, 1990). Nesse sentido, no Brasil, pela expressiva adaptação edafoclimática, é cultivado em diversos sistemas de produção, com a participação de pequenos produtores, com baixa tecnologia de insumos, e de médios e grandes produtores, em cultivos altamente tecnificados, contemplando importante papel socioeconômico para o país em diversas regiões (DALCHIAVON et al., 2011).

No Brasil, o consumo médio do grão de feijão é de aproximadamente 17 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ (Food and Agriculture Organization United Nations - FAO, 2020). Todavia, pela diversificação dos sistemas de produção, especialmente pelos diferentes níveis de tecnologia usados, a instabilidade no rendimento de grãos é alta, resultando em baixa produtividade média, estimada em apenas 1.504 kg ha⁻¹. Isso torna necessário a importação de cerca de 100 mil toneladas para atender a demanda interna de consumo do feijão (AMBROSANO et al., 1997; GUIMARÃES, STONE e BRUNINI, 2006; FAO, 2020).

O cultivo do feijão, designado como opção para o consumo humano, apresenta para a escolha das cultivares, além de critérios agronômicos, atributos qualitativos (LEMONS, MINGOTTE e FARINELLI, 2015). Portanto, torna-se imprescindível a procura por novas cultivares de feijão, direcionando-se à minimização da sensibilidade aos estresses abióticos e ao aumento do potencial produtivo, bem como à melhoria dos atributos de qualidade, sobretudo características de culinária.

Os programas de melhoramento de plantas, em sua maior parte dedicados às características de importância agronômica, como rendimento de grãos, exploram muitos caracteres de natureza quantitativa (herança poligênica), cuja expressão é altamente influenciada pelo ambiente. Portanto, em condições de variação ambiental ocorre expressiva interação GxE e intensa variação da produtividade média (ALLARD e BRADSHAW, 1964; CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

Para Borém, Miranda e Fritsche-Neto (2017), a partir de diferentes ambientes, nota-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, o efeito da interação entre o genótipo e o ambiente (GxE). Assim, o conceito de interação GxE refere-se, ao efeito diferencial dos ambientes sobre determinados genótipos, sendo definida como a falta de uniformidade na resposta de grupos de genótipos cultivados em dois ou mais ambientes (QUIJADA, 1980).

A interação GxE dá-se em dois diferentes momentos. O primeiro, de natureza simples, está associado apenas à diferença entre as médias dos genótipos. Por outro lado, em segundo momento, interação GxE de natureza complexa, aponta-se a ausência de correlação entre os genótipos, mostrando-nos situações onde um genótipo pode ser melhor em um ambiente do que em outro (ELIAS, HEMP e CANTON, 1999; CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

Todavia, toma-se que apenas a identificação da interação GxE não nos traz informações seguras e conclusivas sobre o comportamento de cada genótipo (MORAIS et al., 2005; ROSADO et al., 2012; SILVA, 2019). De maneira geral, duas estratégias são fundamentais para contornar a influência da interação GxE: a subdivisão de áreas heterogêneas, cada área tendo sua cultivar específica; e o uso de cultivares de alta estabilidade de rendimento (TAI, 1971). Para Eberhart e Russell (1966), embora seja realizada a estratificação de ambientes, observa-se a interação com anos diferentes, sendo a identificação e utilização de genótipos de alta previsibilidade a alternativa ideal para minimizar as interações negativas (OLIVEIRA, ARAUJO e DUTRA, 1996; SCAPIM et al., 2010).

Dessa forma, um programa de melhoramento genético, além de buscar por cultivares produtivas, deve direcionar-se à obtenção de genótipos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, como estratégia de atenuação da interação GxE, propiciando produtividades altas em diferentes ambientes (SEDIYAMA, TEIXEIRA e REIS, 1999; MELO et al., 2007; VERISSIMO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2018).

Desse modo, objetivou-se com o presente estudo, diante dos atributos genéticos avaliados, o seguinte: a) identificar genótipos de feijoeiro com maiores médias de rendimentos de grãos, e b) definir os melhores genótipos a partir dos valores de adaptabilidade e estabilidade, para diferentes níveis tecnológicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão comum: importância e aspectos morfofisiológicos

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), planta da família *Fabaceae*, pertencente à subfamília *Faboideae*, é uma leguminosa de ciclo anual, diplóide, com 22 cromossomos, caracterizando-se pela predominância da autopolinização (95%) para reprodução sexual (VILHORDO, 1996; BAĞDATLI e ERDOĞAN, 2019).

O feijão possui caule herbáceo, do tipo haste, o qual é seu eixo principal com entrenós curtos. Em cada nó, nas axilas das folhas, desenvolve-se diferentes tipos de gemas, as quais podem ser vegetativas, floral e vegetativa ou exclusivamente reprodutiva, que resultam na formação de um racemo. Esse agrupamento dá origem à unidade de produção da cultura e, portanto, quanto maior o número de nós na planta, maior poderá ser sua produção de grãos (COSTA, 2009; BINOTTI, 2015).

Segundo Dourado Neto e Fancelli (2000), o feijão possui variações em seu hábito de crescimento, podendo ser de hábito determinado, em que a haste principal termina por uma gema floral (tipo I), e indeterminado, no qual o final do caule contém gemas vegetativa ou reprodutiva e vegetativa, diferenciando-se, ainda, em arbustivo (tipo II), prostrado (tipo III) e trepador (tipo IV). Em virtude do genótipo e das condições ambientais, seu ciclo pode durar de 65 a 120 dias (ZIMMERMANN, TEIXEIRA e YAMADA, 1988; AFONSO, 2010; BINOTTI, 2015).

Aponta-se que o início da domesticação do feijão ocorreu há cerca de 7 mil anos, em dois principais centros de diversidade genética, a mesoamérica, contemplada pelo México e regiões da América Central; e o andino, com registros importantes do sul do Peru, Bolívia e do norte da Argentina (DEBOUCK, 1986; SINGH, 2001; VLASOVA et al., 2016; VELASCO et al., 2019).

No Brasil, o melhoramento genético do feijão-comum se iniciou na década de 30, especialmente em atividades do Instituto Agrônomo de Campinas, buscando aumento no potencial produtivo, adequação de porte e resistência a doenças (CHIORATO et al., 2010). Predominantemente por instituições públicas, observa-se, para o feijão carioca, ganho de 0,7% ao ano (cerca de 17,3 kg ha⁻¹) e para feijão preto, ganho de 1,1% (até 25 kg ha⁻¹) (FARIA et al., 2013).

Atualmente, o feijão se configura como uma cultura de grande importância social e econômica para diversos países, ofertando proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais para mais de 400 milhões de pessoas (Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária - EMBRAPA, 2004; Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI, 2019; FAO, 2020). Na alimentação humana, quando comparado à proteína animal, o grão de feijão apresenta menor custo e pode satisfazer com 100 gramas aproximadamente 20% das necessidades diárias para uma dieta básica de 2.000 Kcal (240 a 300 Kcal de proteína dia^{-1}) (EMBRAPA, 2004).

De acordo com a FAO (2015), as Américas representam cerca de 39% do consumo mundial, seguidas pela Ásia (38%), África (19%), Europa (3%) e Oceania (1%). Nas Américas, seu consumo e produção estão concentrados na América Latina, sendo o Brasil, o maior produtor e maior consumidor mundial (FAO, 2020).

No Brasil, o consumo do grão depende da cor, forma e tamanho, bem como de suas características de culinária, com diferenças para as diversas regiões. No país, 57% do feijão produzido é do tipo carioca e 27% é do tipo preto, sendo as regiões Sul e Sudeste, as principais produtoras, com 72% da produção nacional (EPAGRI, 2019).

O feijão é cultivado em praticamente todo o território nacional, em regiões de baixas e altas altitudes. Encontra-se seu cultivo em até três safras durante o ano: primeira safra ou safra das águas, com semeadura durante os meses de agosto a novembro e colheita entre novembro e fevereiro; safra da seca ou segunda safra, com semeadura de dezembro a março e colheita de março a junho; e terceira safra ou safra de inverno, com semeadura entre abril e julho e colheita de julho a outubro (SILVA e WANDER, 2013).

Segundo Lemos, Mingotte e Farinelli (2015), a classificação das cultivares de feijão em grupos comerciais está associada, não só ao vigor da planta e hábito de crescimento e maturação, mas especialmente ao tamanho, cor e brilho do grão, bem como aos atributos relacionados com a qualidade culinária, condicionada ao tempo de cozimento, capacidade de hidratação e coloração do caldo. Para Carbonell et al., (2010), a preferência pelo desenvolvimento de grãos de tegumento opaco advém da associação do brilho à má qualidade culinária, principalmente em razão da demora do cozimento, uma vez que o brilho está associado à deposição de cera na superfície do tegumento, o que afeta a absorção de água.

Os grãos de feijão do grupo comercial carioca classificam-se como de tamanho pequeno e formato oblongo, coloração clara e com rajas, brilho opaco ou fosco, com boa qualidade culinária (BULISANI et al., 1987; RAMALHO e ABREU, 2006).

Contudo, tem-se que a produtividade média da cultura no Brasil ainda é baixa (1.505 kg ha^{-1}), sobretudo quando comparado às médias da Irlanda (6.415 kg ha^{-1}),

Barbados (5.830 kg ha⁻¹) e Iraque (5.267 kg ha⁻¹), as três maiores produtividades de feijão do mundo (FAO, 2020). Tendo em vista as diferentes condições edafoclimáticas envolvidas em sua produção, bem como dos diferentes níveis de tecnologia empregados, a cultura do feijão torna-se muito suscetível aos efeitos ambientais, sobretudo de origem abiótica, tendo alta instabilidade de comportamento (DOURADO NETO e FANCELLI, 2000; FARIA et al., 2009).

Segundo Oliveira et al., (2018) e Sendi et al., (2019), os fatores abióticos mais relevantes para o sistema de produção do feijão são a temperatura do ar, a radiação solar e a disponibilidade de água, fatores que alteram o desempenho das cultivares significativamente, expressando, além do mais, os efeitos da interação genótipo x ambiente (SACCOL e STORCK, 1993).

Para Barbosa e Gonzaga (2012) a temperatura do ar, quando relacionada aos sistemas de produção agropecuários, possui grande capacidade de influenciar diretamente os estádios fenológicos das culturas agrícolas, devido aos processos envolvidos na taxa fotossintética das plantas e particularmente as funcionalidades das membranas vegetais.

De acordo com Marengo e Lopes (2009), a planta de feijão é um vegetal de fisiologia C3, possuindo como primeiro produto da fotossíntese o ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA), oxidado como glicolato nos peroxissomos.

Os mecanismos fisiológicos envolvidos nos processos de fotossíntese, respiração e fotorrespiração, possuem influência direta na produtividade das culturas, especialmente para o feijoeiro e outras plantas C3. A fotorrespiração, processo exclusivo à presença de luz e muito frequente em altas temperaturas, não produz energia (ATP), sendo onerosa à fisiologia das plantas (RAVEN, EVERT e EICHHORN, 2014; BINOTTI, 2015).

Segundo Raven, Evert e Eichhorn (2014), espécies vegetais de ciclo C3 podem apresentar oxidação de até 50% do carbono (CO₂) fixado pela fotossíntese, durante a fotorrespiração. As plantas de feijoeiro, quando submetidas a altas temperaturas e condições de seca, fecham os seus estômatos para conservar água, permitindo que o oxigênio (O₂) produzido pela fotossíntese seja acumulado, resultando em baixa concentração de CO₂ e alta concentração de O₂, favorecendo a fotorrespiração (BINOTTI, 2015).

A temperatura, quando elevada, contempla efeitos diretos na atividade metabólica, com prejuízos na viabilidade dos grãos de pólen e no crescimento do tubo

polínico. Da mesma maneira, quando baixa, reduz o rendimento do feijão, com abortamento de grãos por falhas dos órgãos reprodutivos (PORTES, 1996). Segundo Didonet e Silva (2004), o abortamento de estruturas reprodutivas é alto quando o período reprodutivo coincide com temperaturas máximas superiores a 35°C e mínimas inferiores a 10°C.

Segundo Didonet et al., (2002), a elevação da temperatura durante o estágio R7, que compreende o início da formação das vagens, afeta significativamente a disponibilidade de fotoassimilados, tribulando a translocação às vagens em crescimento, haja vista maior consumo de carboidratos para suportar o aumento da taxa metabólica das plantas. O estresse térmico, quando apresentado nos estádios R7 e R8 (formação e enchimento de vagens, na devida ordem), provocam maior abortamento das vagens (DIDONET e VITÓRIA, 2006; BINOTTI, 2015).

Nesse sentido, para o cultivo do feijão, as regiões com temperaturas variando entre 15 e 29°C são consideradas aptas, sendo 21°C a temperatura ideal para o cultivo (DOURADO NETO e FANCELLI, 2000; PORTUGAL, PERES e RODRIGUES, 2015; SENDI et al., 2019).

Segundo Monteiro (2009), a radiação solar coloca-se como fator intrínseco à capacidade fotossintética das plantas e, por conseguinte, com o acúmulo de carboidrato e biomassa. Barbosa e Gonzaga (2012), estudando o comportamento do feijão submetido à baixa radiação, observaram a redução do índice de área foliar e da interceptação de energia luminosa, diminuindo o fluxo de fotoassimilados e o crescimento das plantas. Para os autores, a radiação solar, assim como a temperatura do ar, está associada às taxas de fotorrespiração. Em alta quantidade de radiação solar os índices foliares são maiores, com possibilidade de maiores taxas de fotorrespiração, sobretudo para plantas C3 (PROCÓPIO et al., 2003).

Para Efetha, Harms e Bandara (2011), a umidade do solo caracteriza-se por ser o fator mais determinante no rendimento de grãos nos cultivos do feijão-comum. Segundo Oliveira et al., (2018), o feijoeiro necessita de aproximadamente 350 mm de disponibilidade hídrica para completar seu ciclo reprodutivo. Em condições de secas ou veranicos, aponta-se que o feijoeiro perpassa por alterações morfofisiológicas que afetam o seu crescimento, principalmente pelo aumento de assimetria foliar, que afeta a atividade fotossintética e a distribuição dos fotoassimilados, pela redução em seus níveis fisiológicos e pela variabilidade entre os folíolos direito e esquerdo (SOUZA, VIANA e OLIVEIRA, 2005; BINOTTI, 2015). Quando submetido à deficiência hídrica

no estágio V4, durante a emissão da terceira folha trifoliada, passa por restrições em seu porte e área foliar, limitando seu potencial produtivo.

O déficit hídrico, especialmente durante o desenvolvimento reprodutivo, poderá provocar o abortamento de flores e, conseqüentemente, a diminuição do número de vagens e do rendimento de grãos (OLIVEIRA et al., 2018). Quando no estágio R5, ou formação dos botões florais, nota-se perdas de até 30% no rendimento de grãos, além de retrair a emissão de folhas (FERNÁNDEZ, GEPTS e LÓPEZ, 1986; DOURADO NETO e FANCELLI, 2000; BINOTTI, 2015).

2.2 Interação Genótipo x Ambiente: implicações ao fitomelhoramento

Define-se fenótipo, ou expressão fenotípica (F), a somatória de efeitos relacionados à média geral (p), ao efeito genético (G), ao efeito ambiental e ao efeito da interação genótipo x ambiente (GE). Isto é, $F = p + G + E + (GE)$ (ALLARD, 1971).

A manifestação da GxE é universal, de ocorrência entre todos os seres vivos. Caracteriza-se por ser produto da interação multifatorial e não-aditiva entre os genótipos e os fatores ambientais nos quais se encontram (COMSTOCK e MOLL, 1963; BORÉM, MIRANDA e FRITSCHÉ-NETO, 2017). Dessa forma, coloca-se como a diferença entre os valores fenotípicos, ambientais e genotípicos observados (ALLARD e BRADSHAW, 1964).

Para Vencovsky e Barriga (1992), toma-se por interação genótipo x ambiente as manifestações de instabilidades das expressões genotípicas e fenotípicas entre ambientes. Segundo Kang (2004), a presença da interação GxE implica o diferencial de respostas de genótipos diversos quando em uma variação de ambientes. Nesse sentido, a interação GxE traz consigo informações em relação às diferenças na sensibilidade ambiental dos genótipos (FALCONER e MACKAY, 1996).

Fisher e Mackenzie (1923), estudando diferentes níveis de adubação com diferentes genótipos de batata, identificaram a influência da interação GxE no sistema de produção, apontando-a como uma fonte de variação não aditiva. Até aquele momento, havia menções apenas aos efeitos ambientais e genotípicos, que para os cientistas atuavam de maneira independente e linear na expressão dos caracteres, isto é, dado valor fenotípico (F) era justificado apenas pelo efeito aditivo dos efeitos genéticos (G) e ambiental (E), ou seja, $F = G + E$ (MATHER e JINKS, 1971; VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Todavia, para Gauch e Zobel (1996), a proposta função linear, de maneira geral, fundamenta até 80% da variação fenotípica, na qual, 70% estão condicionados ao ambiente e 10% ao efeito genotípico. Assim, tem-se que pelo menos 20% da variação fenotípica está associado aos efeitos da interação GxE (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Coimbra, Guidolin e Carvalho (1999), estimando os parâmetros de herdabilidade para genótipos de feijão-comum, relataram valores de 53% para número de vagens por planta, 55% para número de grãos por planta, e 64% para rendimento de grãos. Santos et al., (2012), em análise genética e agrônômica de feijão-caupi, observaram estimativas de herdabilidade para massa de cem grãos de 99%. Altos valores de herdabilidade podem ser indicadores de pouca influência do ambiente na expressão do caractere, e baixos valores, indicadores de alta composição ambiental (ARUAH, UGURU e OYIGA, 2012).

Nesse sentido, aponta-se que uma variação de fenótipos poderá resultar de um mesmo genótipo quando submetido a uma variação de ambientes, sendo esse fenômeno denominado norma de reação ou plasticidade fenotípica, representando a variabilidade fenotípica em indivíduos oriundos de um único genótipo, particularmente em função do ambiente (SCHEINER, 1993; DE JONG, 1995; LAVORANTI, 2003; SAXTON, 2004). Melhoristas, por ocasião de diferentes comportamentos promovidos pela interação GxE, podem desenvolver estratégias de seleção para genótipos com adaptação ampla ou preferencial, além de identificar o nível de estresse dos ambientes aos genótipos avaliados (FOX, CROSSA e ROMAGOSA, 1997).

Segundo Garbuglio et al., (2018), deve-se interpretar a significância das interações como indicações de que existem genótipos adaptados a determinados ambientes, ou seja, de adaptação específica, e outros menos influenciados pelas variações ambientais, ou de adaptação geral ou ampla (PACHECO et al., 2017). Nesse sentido, aponta-se que a expressão diferencial diminui a relação entre os valores fenotípicos e genotípicos, podendo determinar que genótipos considerados como adequados para um determinado ambiente, podem não ser adequados em outros (ROMAGOSA e FOX, 1994).

Nesse contexto, classifica-se as variáveis ambientais, de acordo com a literatura, em dois níveis: previsíveis e imprevisíveis. Tem-se como variáveis previsíveis aquelas de ocorrência regular, geralmente de controle humano, como data de semeadura, densidade populacional e níveis de fertilidade. Em contrapartida,

considera-se como variáveis imprevisíveis aquelas de alta instabilidade, incluindo pragas, doenças e eventos climáticos (ALLARD e BRADSHAW, 1964; BORÉM, MIRANDA, e FRITSCHÉ-NETO, 2017).

A interação GxE, sem pormenorizar, pode ser discriminada de duas formas, em relação à sua natureza, em simples e complexa. Interações de natureza simples caracterizam situações onde a classificação do comportamento dos genótipos se mantém, nas diferentes condições ambientais, sendo as diferenças notadas advindas apenas da variabilidade dos genótipos. Por outro lado, a interação complexa ocorre pela correlação nula entre os valores fenotípicos dos genótipos nos diferentes ambientes, alterando assim a classificação dos genótipos nos ambientes (MOLL et al., 1978; VENCOSKY e BARRIGA, 1992; CRUZ, REGAZZI e CARNEIRO, 2012).

Entretanto, ainda que se incline à interpretação negativa da interação GxE, deve-se atentar às interações que estão associadas aos fatores previsíveis do ambiente, como a adubação, situações de oportunidades para o melhoramento buscando altos rendimentos (DUARTE e VENCOSKY, 1999).

Frente significativa interação GxE, tem-se como alternativa a seleção de genótipos estáveis, definidos como genótipos de mínima interação com o ambiente. Vários autores obtiveram sucesso na seleção para genótipos estáveis, sugerindo que a estabilidade está sob controle genético (LEWIS, 1954; SCOTT, 1967; OLIVEIRA, 1976).

De acordo com Finlay e Wilkinson (1963), genótipos de alta estabilidade caracterizam-se por fenótipos que variam seu comportamento de acordo com a capacidade dos ambientes em proporcionar alta ou baixa performance, revelando características de adaptabilidade e responsividade agrônômica (MARIOTTI et al., 1976; FALCONER e MACKAY, 1996).

2.3 Adaptabilidade e estabilidade: importância e aspectos genéticos

Toma-se que a interação genótipo x ambiente é significativa para a maioria dos caracteres quantitativos, uma vez que estes são de natureza poligênica, isto é, são governados por muitos locos. Dessa forma, são muito influenciados pelo ambiente, uma vez que estão condicionados à ação conjunta de diversos genes, cada qual com sua influência do ambiente, com grande somatória do efeito ambiental (FALCONER e MACKAY, 1996). Para Borém, Miranda e Fritsche-Neto (2017), após o conhecimento da magnitude da interação GxE, deve-se proceder com estudos de adaptabilidade e

estabilidade, como estratégia para reduzir os efeitos da interação e desenvolver alternativas de recomendação.

Segundo Mariotti et al., (1976), Vencovsky e Barriga (1992) e Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), a estabilidade é definida como a capacidade de determinado genótipo mostrar-se previsível em relação ao seu comportamento, em diferentes estímulos do ambiente. Para Yue et al., (1997), a estabilidade está associada à consistência no ranqueamento e ordenamento dos genótipos, em relação aos seus comportamentos nos ambientes avaliados, sendo a adaptabilidade a capacidade do genótipo em explorar de maneira vantajosa a variação do ambiente. A adaptabilidade para Verma, Chahal e Murty (1978) traduz a capacidade dos genótipos em apresentarem elevado e constante rendimento, em ambientes considerados desfavoráveis, e responsividade à sua melhoria. Para os autores, a estabilidade refere-se à previsibilidade do genótipo em relação a sua adaptabilidade, sendo em termos estatísticos, o ajuste do comportamento dos genótipos ao modelo de regressão adotado.

Para Vencovsky e Torres (1988), a estabilidade espacial é sinônimo de adaptabilidade. Dessa forma, coloca-se que os genótipos de alta adaptabilidade deverão ter bons rendimentos, sem que haja interações significativas com as flutuações climáticas entre anos. Nesse contexto, a adaptabilidade e a estabilidade referem-se, na devida ordem, às dimensões espacial e temporal (FOX, CROSSA e ROMAGOSA, 1997). Para Vencovsky e Barriga (1992), ainda, a estabilidade pode se referir à maior capacidade dos genótipos ao adaptarem-se às alterações climáticas ao longo de anos agrícolas, de uma mesma localidade, sendo a adaptabilidade um conceito aplicado para identificar a adaptação ecológica a diferentes ambientes, locais ou condições geográficas.

De acordo com Lin e Binns (1988), a adaptabilidade e a estabilidade são ocorrências que estão na dependência da constituição genética, sobretudo referente ao grau de heterozigosidade existente, cenário onde os genótipos podem apresentar características que possibilitam respostas aos fatores limitantes e, simultaneamente, aos fatores favoráveis. Para Hoogerheide et al., (2007), o estudo da adaptabilidade e estabilidade possibilita ao melhorista a identificação de genótipos que respondem bem, não somente em um ambiente particular, mas também sob diferentes condições ambientais.

Cannon (1932), observando a capacidade dos genótipos em manter determinados atributos fisiológicos, mesmo com ação do ambiente que forçam sua alteração, constatou impressionantes manifestações da homeostase. Posteriormente, Becker (1981) propôs a classificação da estabilidade em estabilidade estática ou dinâmica. A estabilidade estática caracteriza-se pelo comportamento estável, mesmo em diferentes ambientes, enquanto a estabilidade dinâmica designa desempenho estável, no entanto, para ambientes ou condições ambientais específicas. Segundo Borém, Miranda e Fritsche-Neto (2017), a estabilidade dinâmica pode ser definida ainda como estabilidade agrônômica.

Lin, Burs e Lefkouitch (1986) propuseram três interpretações dos conceitos de estabilidade. Segundo os autores, há a estabilidade do tipo I, condição na qual o genótipo é considerado estável por sua variância nos ambientes ser pequena; do tipo II, em que o genótipo é considerado estável pela resposta paralela à resposta média de todos os genótipos em avaliação; e do tipo III, situação em que o genótipo é estável por sua variância dos desvios de regressão ser o mais próximo de zero.

Dessa forma, em um programa de melhoramento, prioriza-se a identificação de genótipos de alta estabilidade fenotípica, somada a valores de adaptabilidade ampla, proporcionando condições de boas produtividades em condições edafoclimáticas variadas (DUARTE, 1988).

Allard e Bradshaw (1964) apontam que o desenvolvimento de genótipos com alta previsibilidade, associada às características de adaptabilidade ampla, torna-se a melhor alternativa para atenuar os efeitos da interação GxE, tendo em vista a possibilidade de recomendação geral ou para diversas regiões produtoras. Contudo, ressalta-se que, mesmo um genótipo não possuindo comportamento altamente previsível, em função da diversificação de ambientes, esse pode, eventualmente, possuir desempenho favorável em ambientes específicos, necessitando de seleção ou recomendação local ou para condições de estresse específicas (ARANTES, 2013).

Nesse contexto, para Franceschini et al., (2010), melhoristas de plantas devem contar com ferramentas e metodologias de fácil interpretação e confiança, para otimizar o desenvolvimento e o lançamento de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade. De acordo com Carbonell et al., (2007), essas análises garantem refinamento no desenvolvimento de novas cultivares de feijão-comum em diversos ambientes de produção.

Dentre as análises estatísticas mais utilizadas para as observações da interação GxE, aquelas que buscam vincular o valor fenotípico (Y) a índices ambientais (X) possuem destaque. Tem-se que X e Y são binormais, tendo o valor esperado de Y, em função do valor esperado de X, traduzindo uma reta, cuja inclinação ficará na dependência da correlação entre X e Y e seus desvios padrão (HOGG e CRAIG, 1965).

Finlay e Wilkinson (1963) foram os primeiros cientistas a considerar os índices ambientais e a regressão linear em análises de interação GxE, estimando um índice a partir da média de rendimento de todos os genótipos em cada ambiente. Para os autores, o índice ambiental é calculado a partir da subtração entre a média do ambiente, sendo essa a média de todos os genótipos neste ambiente, e a média geral, que compreende a média geral de todos os genótipos avaliados em todos os ambientes. Eberhart e Russel (1966) estenderam o modelo e propuseram a avaliação qualitativa dos ambientes, classificando-os como favoráveis ou desfavoráveis. Para Eberhart e Russell (1966), tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos, em relação ao índice ambiental, quanto os desvios desta regressão, proporcionam estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade dos genótipos.

Em sua metodologia, Eberhart e Russell (1966) utilizam-se do índice ambiental como abscissa X e o valor observado do genótipo para o ambiente como ordenada Y, usando-se de uma regressão linear para cada genótipo. O valor de β , que representa o ângulo da reta com o eixo X, dá-nos a estimativa de adaptabilidade. Para os autores, genótipos com estimativa de $\beta < 1$ são avaliados como de pouca responsividade à melhoria do ambiente, sendo classificado ainda como de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. Quando $\beta = 1$, toma-se que os genótipos respondem razoavelmente à melhoria do ambiente, classificando-os como de adaptabilidade geral ou ampla. Quando $\beta > 1$, sugere-se que os genótipos respondem bastante à melhoria do ambiente, estimados como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (EBERHART e RUSSELL, 1966; BERNARDO, 2010).

Para Lynch e Walsh (1998), a utilização da metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966), para diferentes genótipos em análise de interação GxE, proporciona-nos condições estatísticas para ordenamento e ranqueamento dos genótipos em relação à responsividade às alterações ambientais. Para Vencovsky e Barriga (1992), trata-se da metodologia mais recomendada para estudos com genótipos promissores em número restrito de ambientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

Foram avaliadas 28 linhagens do programa de melhoramento genético de feijão da UNESP – Campus de Ilha Solteira, mais a testemunha BRS Notável, linhagem comercial da Embrapa (Figuras 1 a 4). A cultivar BRS Notável (BRSN) possui ciclo produtivo semi precoce e é classificada como grão do grupo comercial carioca. Sua massa de cem grãos é de 26 g, possui arquitetura semiereta, sendo adaptada à colheita mecânica, com potencial produtivo de 4.472kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2014).

Figura 1. Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP1 (A), LP3 (B), LP4 (C), LP6 (D), LP7 (E), LP8 (F), LP9 (G) e LP11 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira.



Figura 2. Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP12 (A), LP13 (B), LP17 (C) e LP18 (D), LP19 (E), LP20 (F), LP23 (G) e LP24 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira.



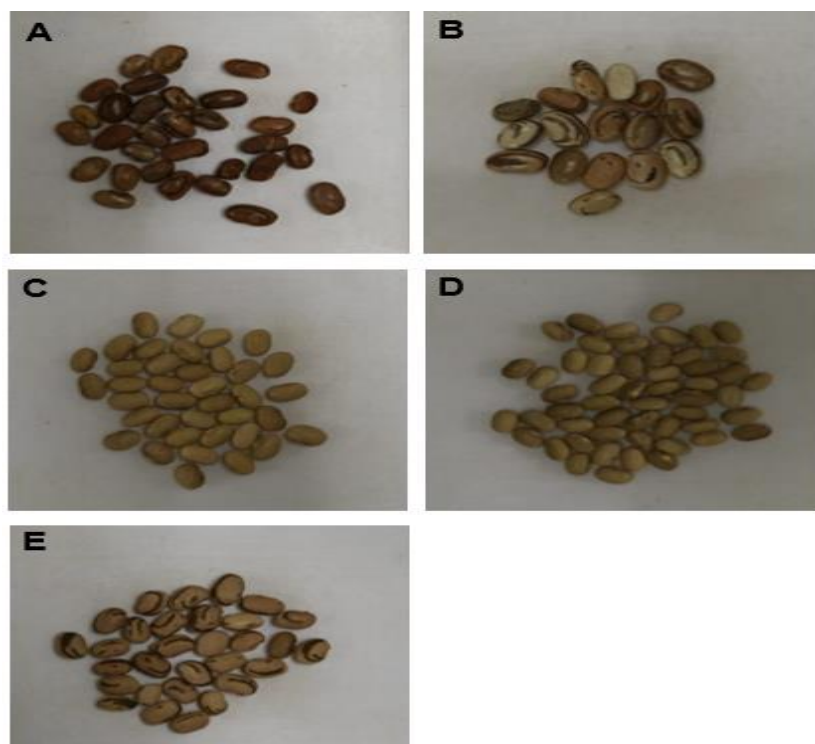
Figura 3. Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP26 (A), LP27 (B), LP28 (C), LP30 (D), LP33 (E), LP37 (F), LP44 (G) e LP45 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira.



Figura 3. Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP26 (A), LP27 (B), LP28 (C), LP30 (D), LP33 (E), LP37 (F), LP44 (G) e LP45 (H) da UNESP – Campus de Ilha Solteira.



Figura 4. Aspectos morfológicos dos grãos das linhagens experimentais de feijão-comum LP46 (A), LP48 (B), VISAC (C) e VISAE (D) da UNESP – Campus de Ilha Solteira, e BRSN (E) da Embrapa.



3.2 Condução experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp – Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria, no Estado do Mato Grosso do Sul, e caracterizada por ser uma região de Cerrado, com altitude de 335 metros (Figura 5). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). A análise química realizada na área correspondente ao terceiro ano, na camada de até 0,20 m, revelou os seguintes valores: M.O.: 28 g dm^{-3} (2,8%); pH (CaCl_2): 5,4; P_{resina} , S, B, Cu, Fe, Mn e Zn: 15; 1; 0,25; 2,9; 22; 26,6; e $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente; K, Ca, Mg, H+Al e CTC: 3,4; 24; 15; 25; e $67,4 \text{ mmolc dm}^{-3}$, respectivamente; e V: 63%.

Figura 5. Localização da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP – Campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria, no Cerrado do Mato Grosso do Sul, na divisa entre os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, Brasil.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

O clima da região, segundo Köppen (ALVARES et al., 2013), é classificado como Aw, indicando tropicalidade com chuvas no verão e seca no inverno. A estação chuvosa se estende de outubro a março, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro representantes do trimestre mais chuvoso e os meses de junho, julho e agosto, do trimestre mais seco. A temperatura média anual é $23,5^{\circ}\text{C}$ e as médias anuais de chuva e umidade relativa do ar são, respectivamente, 1.370 mm e 80%.

Tabela 1. Médias de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), insolação (h/dia), radiação solar (MJ/m² dia) e chuva (mm), durante os quatro meses de desenvolvimento de feijão-comum, de 2015 a 2021 no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Ambiente	Mês/Ano	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Insolação (h/dia)	Radiação solar (MJ/m ² .dia)	Chuva mensal (mm)	Chuva acumulada (mm)
Ambiente 1 (2015)	Maio/2015	22,8	81,9	5,3	12,5	125,2	246,5
	Junho/2015	22,5	76,4	6,6	12,2	46,2	
	Julho/2015	22,3	76,2	4,9	11,7	53,3	
	Agosto/2015	24,9	55,0	7,9	16,8	21,8	
Ambiente 2 (2016)	Maio/2016	21,9	80,4	5,2	12,3	134,9	340,9
	Junho/2016	20,2	78,2	6,2	11,8	62,5	
	Julho/2016	21,9	65,1	6,8	13,8	3,8	
	Agosto/2016	23,1	66,0	5,5	13,6	139,7	
Ambiente 3 (2017)	Maio/2017	24,4	81,5	5,3	12,6	160,8	227,6
	Junho/2017	21,7	74,1	6,5	12,1	5,6	
	Julho/2017	21,3	60,5	6,5	13,6	0,0	
	Agosto/2017	23,7	63,5	5,1	13,1	61,2	
Ambiente 4 (2018)	Maio/2018	23,7	68,4	5,4	12,6	3,6	18,1
	Junho/2018	23,1	69,3	5,1	10,8	0,3	
	Julho/2018	23,3	59,0	5,7	12,7	0,0	
	Agosto/2018	22,0	66,5	4,6	12,4	14,2	
Ambiente 5 (2019)	Maio/2019	24,2	79,1	2,8	9,7	26,7	85,0
	Junho/2019	23,3	68,7	4,2	9,9	9,7	
	Julho/2019	22,1	63,4	3,3	10,2	16,3	
	Agosto/2019	23,8	62,2	3,6	10,3	32,3	
Ambiente 6 (2020)	Maio/2020	21,7	71,8	4,6	11,3	11,2	36,4
	Junho/2020	24,0	69,9	4,8	10,3	22,9	
	Julho/2020	23,3	62,4	5,5	12,5	1,0	
	Agosto/2020	24,2	54,0	5,8	14,1	1,3	
Ambiente 7 (2021)	Maio/2021	24,0	67,0	5,1	12,1	12,4	43,2
	Junho/2021	22,0	69,7	5,3	10,7	16,0	
	Julho/2021	20,3	53,7	6,1	12,9	0,3	
	Agosto/2021	24,6	53,5	6,1	14,5	14,5	

Fonte: Adaptado de UNESP (2021).

Tabela 2. Médias de temperaturas (°C) máximas e mínimas para junho, correspondente ao período de florescimento de genótipos de feijão-comum no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Ambiente	Mês/Ano	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Ambiente 1	Junho/2015	29,0	17,0
Ambiente 2	Junho/2016	27,0	15,0
Ambiente 3	Junho/2017	29,0	16,0
Ambiente 4	Junho/2018	31,0	17,0
Ambiente 5	Junho/2019	31,0	17,0
Ambiente 6	Junho/2020	31,0	18,0
Ambiente 7	Junho/2021	29,0	16,0

Fonte: Adaptado de UNESP (2021).

Os dados analisados compreendem experimentos conduzidos em campo de 2015 a 2021, semeados em época de safra “de inverno” de cultivo do feijão-comum, em semeadura direta, usando-se de semeadoras manuais tipo matraca (tico-tico), com irrigação suplementar, realizada com pivô central aplicando-se lâmina de água de 12 mm por semana.

Realizou-se a adubação com 300 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 (N-P₂O₅-K₂O), por ocasião da semeadura, e 80 kg ha⁻¹ de N (em forma de ureia) em cobertura, durante o pré-florescimento, em todos os anos.

As sementes não foram tratadas e foi realizada uma aplicação do inseticida metomil (129 g ha⁻¹) 12 dias após emergência, uma aplicação de herbicida fomesafem (187,5 g ha⁻¹) 24 dias após emergência e uma aplicação do inseticida imidacloprido (200 g ha⁻¹) 25 dias após a emergência. No terceiro ano foi necessária mais uma aplicação de herbicida 30 dias após a emergência (37,5 g ha⁻¹ de fenoxaprope-p-etílico mais 37,5 g ha⁻¹ de cletodim). Nos três primeiros anos e em 2021, foi necessária uma capina para eliminação de reboleiras de ervas daninhas.

O delineamento experimental nos anos de 2015 a 2019 foi de blocos ao acaso. No ano de 2015, foram utilizadas três repetições. Para os demais anos, adotou-se quatro repetições. A parcela experimental foi composta de seis linhas de 5 m espaçadas em 0,45 m, sendo apenas as quatro linhas centrais utilizadas como área útil.

Em 2020 e 2021 o experimento foi conduzido em faixas, com sete linhas de 30 m espaçadas de 0,45 m para cada linhagem. Para avaliação, em 2020, em cada faixa foram tomadas quatro repetições de quatro linhas de 5 m em cada faixa. Em 2021 a avaliação foi feita em quatro repetições de duas linhas de 5 m de cada faixa.

As linhagens LP1, LP3, LP9, LP17, LP19, LP26, LP27, LP30 e LP33 participaram em todos os anos, de 2015 a 2021. As linhagens LP4, LP6, LP7, LP8, LP11, LP12, LP13, LP18, LP20, LP23, LP24, LP28, LP37 e LP45 foram avaliadas em seis anos, de 2015 a 2020.

As linhagens VISAC, VISAE e a cultivar BRSN participaram nos experimentos de 2016 a 2021 e as linhagens LP44, LP46 e LP48 foram avaliadas em cinco anos, de 2016 a 2020. Em 2021, apenas 12 genótipos foram avaliados em faixas, sendo as linhagens LP1, LP3, LP9, LP17, LP19, LP26, LP26, LP30, LP33, VISAC, VISAE E BRSN.

3.3 Procedimentos de biometria

Realizou-se as análises de variância individuais para cada um dos sete anos, e conjunta para os tratamentos comuns, para se verificar a significância da interação genótipo x ambiente (anos). As estimativas de adaptabilidade e estabilidade foram analisadas em relação ao rendimento de grãos (kg ha^{-1}), corrigido para 13% de umidade. Observou-se, ainda, as seguintes características morfofisiológicas: hábito de crescimento, peso de cem grãos (g) e dias para florescimento, nos experimentos de 2017, 2019 e 2020.

Tabela 3. Esquema das análises de variância individuais e conjunta.

Fontes de Variação	G.L. ¹	QM	F
Análise individual			
Blocos	r-1	Q ₁	Q ₁ /Q ₃
Linhagens	l-1	Q ₂	Q ₂ /Q ₃
Resíduo	(r-1)(l-1)	Q ₃	
TOTAL	lr-1		
Análise conjunta			
Blocos/A	a(r-1)	Q ₄	Q ₄ /Q ₈
Anos (A)	a-1	Q ₅	Q ₅ /Q ₄
Linhagens (L)	l-1	Q ₆	Q ₆ /Q ₈
A x L	(l-1)(a-1)	Q ₇	Q ₇ /Q ₈
Erro médio	a(r-1)(l-1)	Q ₈	
TOTAL	alr-1		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para a análise de variância individual, nos anos de 2015 a 2019, utilizou-se o modelo estatístico: $Y_{ik} = \mu + G_i + B_k + \varepsilon_{ik}$, em que:

- Y_{ik} : valor observado do i-ésimo genótipo no k-ésimo bloco;
- μ : média geral do experimento;
- G_i : efeito do i-ésimo genótipo;
- B_k : efeito do k-ésimo bloco;
- ε_{ik} : erro aleatório associado à observação Y_{ik} .

Nos anos 2020 e 2021 o delineamento não se encaixa em nenhuma situação possível para uma análise mais acurada de variância. Teoricamente, apenas seria possível um teste de médias para comparação das linhagens. Contudo, como foram necessários os quadrados médios residuais para incluir as médias de 2020 e 2021 nas análises de adaptabilidade e estabilidade, foi feita uma análise considerando

delineamento inteiramente ao acaso nesses dois anos, por ser a condição mais próxima da realidade. Então adotou-se o modelo $Y_{ik} = \mu + G_i + \varepsilon_{ik}$, em que:

- Y_{ik} : valor observado do i -ésimo genótipo na k -ésima repetição em cada faixa;
- μ : média geral de todas as parcelas;
- G_i : efeito do i -ésimo genótipo;
- ε_{ik} : erro aleatório associado à observação Y_{ik} .

Para os experimentos dos anos de 2015 a 2019 foi realizada a análise de variância conjunta, com os efeitos de linhagens, épocas e da interação genótipos x ambiente considerados fixos, segundo o modelo estatístico: $Y_{ikj} = \mu + (B/A)_{kj} + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ikj}$, em que:

- Y_{ikj} : valor observado do i -ésimo genótipo no k -ésimo bloco do j -ésimo ano;
- μ : média geral;
- $(B/A)_{kj}$: efeito do k -ésimo bloco dentro do j -ésimo ano;
- G_i : efeito do i -ésimo genótipo;
- A_j : efeito do j -ésimo ano;
- GA_{ij} : efeito da interação do i -ésimo genótipo com o j -ésimo ano;
- ε_{ikj} : erro aleatório associado à observação Y_{ikj} .

Para o estudo da adaptabilidade e estabilidade, utilizou-se do método proposto por Eberhart e Russel (1966), baseado no modelo $Y_{ij} = \beta_{01} + \beta_{11}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$ em que:

- Y_{ij} : média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ano;
- β_{01} : média geral do genótipo i ;
- β_{11} : coeficiente de regressão do genótipo i em função do índice ambiental I_j ;
- I_j : índice ambiental ($j = 1, 2, \dots, a$), sendo $I_j = \frac{\sum_i Y_{ij}}{g} - \frac{\sum_{ij} Y_{ij}}{ga}$;
- δ_{ij} : desvios da regressão;
- ε_{ij} : erro experimental médio.

Optou-se por incluir as médias dos anos de 2020 e 2021 nessa análise, mesmo esses anos não tendo participado da análise conjunta. Os quadrados médios dos resíduos desses anos, necessários para essa análise, foram obtidos pela média dos quadrados médios do resíduo dos cinco anos anteriores.

A não utilização dos Quadrados Médios dos resíduos, das análises de variância considerando delineamento inteiramente ao acaso os anos de 2020 e 2021, se deu pelo fato deles serem menores que a média dos Quadrados Médios residuais dos anos anteriores. Dessa forma, entende-se que o rigor foi maior nas análises de adaptabilidade e estabilidade.

Como nem todos os genótipos foram comuns em todos os ambientes, foram realizadas três análises de variância conjuntas considerando as linhagens comuns em cinco, seis e sete anos.

A estimativa de adaptabilidade foi definida a partir da média do genótipo (β_0) e do coeficiente de regressão linear (β_1). Devido ao número diferente de anos, assim como as análises de variância conjuntas, foram realizadas análises de adaptabilidade e estabilidade com cinco, seis e sete anos, considerando os tratamentos comuns.

As linhagens foram classificadas como de adaptabilidade geral ou ampla, em que $\beta_1=1$; de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, quando $\beta_1>1$; e de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, caso $\beta_1<1$.

Os parâmetros de estabilidade foram determinados pela variância (quadrados médios) dos desvios de regressão de cada linhagem em relação aos índices ambientais. Foram consideradas estáveis as linhagens com variância dos desvios de regressão não significativa e instáveis as linhagens com variância dos desvios de regressão significativa.

Ainda, para contemplar o máximo de bons genótipos, considerou a interpretação do coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto do comportamento fenotípico está representado pela regressão.

O coeficiente de determinação, quando acima de 80%, é a melhor referência para concluir sobre os ajustes dos dados ao modelo de regressão, uma vez que sugere baixa dispersão dos dados e maior segurança nas respostas ambientais demonstradas, possibilitando a classificação das linhagens em relação a estabilidade, mesmo com variância significativa dos Quadrados Médios (RAIZER e VENCOVSKY, 1999).

Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas empregando-se os recursos computacionais dos programas SAS e Genes (SAS, 1997; CRUZ, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os feijões mesoamericanos e andinos são distinguidos, de maneira geral, pelo tamanho de suas sementes. O grupo andino caracteriza-se por possuir sementes de tamanho médio e grande, com peso de 100 sementes entre 25 e 40 g, e o grupo mesoamericano por possuírem sementes pequenas, com peso de 100 sementes inferior a 25 g (SINGH, GEPTS e DEBOUCK, 1991). Dessa forma, portanto, observa-se que todos os genótipos avaliados são pertencentes ao centro de domesticação mesoamericano, uma vez que nenhuma linhagem apresentou peso de 100 sementes superior a 25 g (Tabela 4).

Tabela 4. Hábitos de crescimento, florescimento (dias) e massa de cem grãos (g) de 29 genótipos de feijão-comum avaliados em Selvíria, Mato Grosso do Sul.

Genótipo	Hábito de crescimento	Florescimento (dias) ⁽¹⁾	Florescimento (dias) ⁽²⁾	Florescimento médio (dias)	Massa de 100 grãos (g) ⁽³⁾
LP1	Indeterminado	55	45	50	24
LP3	Indeterminado	52	45	49	18
LP4	Indeterminado	52	44	48	20
LP6	Indeterminado	44	48	46	19
LP7	Indeterminado	48	43	46	17
LP8	Indeterminado	51	45	48	21
LP9	Indeterminado	47	42	45	18
LP11	Determinado	54	47	51	20
LP12	Indeterminado	48	42	45	20
LP13	Determinado	51	45	48	21
LP17	Indeterminado	51	42	57	16
LP18	Indeterminado	48	47	48	20
LP19	Determinado	51	44	48	19
LP20	Indeterminado	49	44	47	16
LP23	Indeterminado	47	44	46	19
LP24	Indeterminado	44	44	44	20
LP26	Determinado	45	48	47	21
LP27	Indeterminado	49	43	46	20
LP28	Indeterminado	50	42	46	21
LP30	Indeterminado	49	42	46	19
LP33	Indeterminado	53	45	49	24
LP37	Indeterminado	46	43	45	19
LP44	Indeterminado	47	45	46	23
LP45	Indeterminado	51	44	48	20
LP46	Indeterminado	47	42	45	20
LP48	Indeterminado	49	44	47	23
VISAC	Indeterminado	51	44	48	20
VISAE	Indeterminado	51	45	48	16
BRSN	Indeterminado	51	42	47	16

⁽¹⁾: ano de referência: 2017; ⁽²⁾: ano de referência: 2019; ⁽³⁾: ano de referência: 2020.

Fonte: Próprio autor.

A separação de dois grupos de domesticação ganha importância pela crescente necessidade de exploração da diversidade genética para atributos agronômicos. Segundo Tohme et al., (1996), a diversidade dos feijões do grupo andino é baixa, vinculada principalmente às condições de relevo e topografia dos Andes. Em compensação, diversos autores relatam que o germoplasma mesoamericano compõe diversidade ampla, com capacidade de gerar novos genótipos, mais produtivos e nutritivos.

A partir das análises de variância, individuais e conjunta (Tabela 5), constatou-se a significância para interação genótipo x ambiente, indicando a possibilidade e a importância das análises de adaptabilidade e estabilidade das linhagens em estudo.

Lucche et al., (2013), estimando os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para cultivares nacionais e exóticas de aveia, apontaram que a significância das análises de variâncias dos fatores genótipo e ano, bem como da interação GxE, indicam variabilidade genética entre os genótipos avaliados, com resposta diferenciada diante ao ambiente de cada ano, além da presença dos efeitos do ano sobre o rendimento. Barili et al., (2015) e Alves et al., (2020), avaliando rendimento de grãos para linhagens de feijão e arroz, respectivamente, observaram que a interação genótipo x ambiente, quando significativa, dá-se pelo tipo complexa, uma vez que provoca alteração no ranking dos genótipos, com inconsistência na superioridade particularmente com a variação ambiental (BARROS, 2012).

Os coeficientes de variação (CV%) encontrados no estudo foram aceitáveis para todos os ambientes, com variação de 10,4 a 24,3%, sobretudo pelo comportamento do caráter rendimento de grãos, poligênico, de alta influência e variação do ambiente, portanto, já esperada. Para Pimentel Gomes (2009), os coeficientes de variação representam parte da precisão experimental, sendo para ensaios de campo, coeficientes de valores baixos quando inferiores a 10%, médios quando de 10-20%, altos quando de 20-30%, e muito altos, quando superiores a 30%. Valores semelhantes de CV% foram observados por Barros (2012), que encontrou, em estudos de seleção para adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi, intervalos de variação de 13,85 a 29,83%.

Valores de coeficiente de variação inferiores ou iguais a 25% estão de acordo com o que é exigido pelo RNC/MAPA para o registro de cultivares de feijão (MAPA, 2006).

Tabela 5. Quadrados médios (QM) das análises de variância individuais e conjuntas para 29 linhagens de feijão-comum em sete ambientes, avaliados de 2015 a 2021 no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Fontes de Variação	G.L.	QM – Análises individuais						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Blocos	3(2) ¹	180721,6	293868,3*	271339,1	53184,7	403540,8	-----	-----
Genótipos	21(11) ²	162497,9**	192161,4**	912665,3**	443837,7**	498219,0	539446,6**	906284,6**
Resíduo	63(42) ³	65038,9	77277,9	196396,1	128201,8	380002,3	61155,8	48863,1
Média		2449,4	1733,6	1819,6	2133,6	3019,5	1501,2	1947,3
CV (%)		10,4	16,0	24,3	16,7	20,4	16,4	11,3

	Análises conjuntas					
	5 anos		6 anos		7 anos	
	G.L.	QM	G.L.	QM	G.L.	QM
Blocos/A	14	244803,0**	-----	-----	-----	-----
Anos (A)	4	23501904,3**	5	28723491,0**	6	9375210,6**
Genótipos (G)	21	1052790,2**	22	1384291,0**	8	1540047,2**
G x A	84	272165,4**	110	298990,0**	48	350751,0**
Resíduo Médio	286	179963,8	286	179964,5	286	179964,5
Média		2215,1		2236,2		2236,3
CV (%)		19,1		11,4		10,5

¹ – 2 Graus de liberdade em 2015 e 3 nos demais anos; ² – No total 28 linhagens mais BRS Notável participaram do processo, mas algumas apenas de alguns experimentos; 11 graus de liberdade em 2020 e 2021.

Fonte: Próprio autor.

Empregando-se do método de Eberhart e Russel (1966), bem como da interpretação de Cruz, Torres e Vencovsky (1989), utilizou-se dos valores de índice ambiental para a classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis (Tabela 6). Os ambientes em que os genótipos alcançaram médias superiores à média geral foram classificados como favoráveis ao desenvolvimento dos genótipos avaliados, ou seja, os mesmos puderam aproveitar as condições ambientais e expressar seus genes para a produção de grãos, apresentando um bom desempenho médio, fato este confirmado pelos índices ambientais positivos.

Observou-se que os anos de 2015 (ambiente 1), 2018 (ambiente 4) e 2019 (ambiente 5), se colocaram como os ambientes que ofertaram as melhores condições para o desenvolvimento e produção das plantas de feijão, com médias de rendimento de grãos de 2.585,22 kg ha⁻¹, 2.252,66 kg ha⁻¹ e 3.201,77 kg ha⁻¹, respectivamente, e índices ambientais 348,95, 16,40 e 965,51, na devida ordem. Segundo Carvalho et al., (2013), ambiente favorável refere-se àquele que possibilita média de produção acima da média geral de todos os ambientes, resultando em índices positivos. O ambiente 5 foi o mais favorável, seguido pelo ambiente 1, e os anos de 2016 (ambiente 2), 2017 (ambiente 3), 2020 (ambiente 6) e 2021 (ambiente 7), foram os ambientes mais desfavoráveis, apresentando índices ambientais negativos (-320,85, -142,38, -499,71 e -367,94, respectivamente), sendo o ambiente 6 mais desfavorável.

Tabela 6. Índices ambientais por Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), médias de rendimento de grãos (kg ha⁻¹) e classificação qualitativa de ambientes com genótipos de feijão-comum no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Ambiente/Ano	Média	Índice ambiental	Classificação
Ambiente 1/2015	2585,22	348,9524	Favorável
Ambiente 2/2016	1915,44	-320,8524	Desfavorável
Ambiente 3/2017	2093,88	-142,381	Desfavorável
Ambiente 4/2018	2252,66	16,3968	Favorável
Ambiente 5/2019	3201,77	965,5079	Favorável
Ambiente 6/2020	1736,55	-499,7143	Desfavorável
Ambiente 7/2021	1868,33	-367,9365	Desfavorável

Fonte: Próprio autor.

Foram considerados como genótipos de potencial de recomendação aquelas linhagens que apresentaram rendimento de grãos acima da média geral, nos ambientes desfavoráveis e nos ambientes favoráveis, com responsividade à melhoria ambiental ($\beta_1 > 1$ ou $\beta_1 = 1$), e de boa previsibilidade, com desvios da regressão (σ^2_d) não significativos e $R^2 > 80\%$.

Tabela 7. Estimativas de adaptabilidade e estabilidade para rendimento de grãos (kg ha⁻¹) obtidas de acordo com o método de Eberhart e Russel (1966), para genótipos de feijão-comum avaliados de 2015 a 2021 no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Genótipo	(β_0) ⁽¹⁾	β_1 ⁽²⁾	σ^2d ⁽³⁾	R ² (%) ⁽⁴⁾
LP1 ^(7a)	2169	0,6005*	-43090,0	73,50
LP3 ^(7a)	2191	0,6880*	20801,0	69,25
LP4 ^(6a)	2121	1,0691	23380,0	90,41
LP6 ^(6a)	1752	1,3078*	126601,0**	80,00
LP7 ^(6a)	1948	1,0258	28662,0	85,00
LP8 ^(6a)	1948	0,9090	-44376,0	99,81
LP9 ^(7a)	2088	1,0909	-15000,0	92,50
LP11 ^(6a)	1859	1,6238*	93480,0	88,14
LP12 ^(6a)	1911	1,2291	-34454,0	98,24
LP13 ^(6a)	2144	0,7796	-16563,0	89,30
LP17 ^(7a)	2662	1,2212	16810,0	90,90
LP18 ^(6a)	1864	1,1029	216012,0**	64,53
LP19 ^(7a)	2465	1,1289	29400,0	84,30
LP20 ^(6a)	1957	1,0593	-42570,0	99,45
LP23 ^(6a)	2188	0,9925	28441,0	84,00
LP24 ^(6a)	1907	1,0855	26558,0	96,14
LP26 ^(7a)	2428	1,4210*	10010,0**	81,24
LP27 ^(7a)	2171	0,9083	-15404,0	90,00
LP28 ^(6a)	2080	0,5867*	-38108,0	95,12
LP30 ^(7a)	1993	0,9462	39600,0	77,00
LP33 ^(7a)	1959	0,9949	11700,0**	66,00
LP37 ^(6a)	2093	0,5150*	-30691,0	88,00
LP44 ^(5a)	1719	0,8352*	36619,575	81,00
LP45 ^(6a)	1989	1,2065	99475,164*	80,00
LP46 ^(5a)	1823	0,9928	163434,6782**	70,00
LP48 ^(5a)	1793	1,1175	-18694,4786	96,00
VISAC ^(6b)	2256	1,0751	295953,9224**	56,41
VISAE ^(6b)	2163	0,7774*	15708,0	79,20
BRSN ^(6b)	2393	1,5051*	44092,0	91,00
Média geral	2070			

⁽¹⁾: produtividade média; ⁽²⁾: coeficiente de regressão linear (estimativa de adaptabilidade); ⁽³⁾: variância dos desvios de regressão (estimativa de estabilidade); ⁽⁴⁾: coeficiente de determinação; **, *: significativamente diferente de zero e significativamente diferente de um pelo teste F; ^(7a): avaliado em 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021; ^(6a): avaliado em 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020; ^(6b): avaliado em 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021; e ^(5a): avaliado em 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.
Fonte: Próprio autor.

A partir das estimativas de adaptabilidade e estabilidade, bem como do desempenho em produtividade, aponta-se que as linhagens LP4 (2.122 kg ha⁻¹), LP9 (2.088 kg ha⁻¹), LP17 (2.662 kg ha⁻¹), LP19 (2.465 kg ha⁻¹), LP23 (2.188 kg ha⁻¹) e LP27 (2.171 kg ha⁻¹) (Tabela 7 e Anexos 1.C; 2.A; 2.E; 3.A; 3.C; e 3.F), se apresentam como excelentes opções para diferentes sistemas de produção e níveis tecnológicos de insumo, devido à associação de boa performance para rendimento de grãos, acima da média geral, aos valores de adaptabilidade e estabilidade, sendo classificadas como de adaptabilidade geral ou ampla ($\beta_1=1$), estáveis ou previsíveis ($\sigma^2d=0$), com

coeficiente de determinação todos acima de 80% ($R^2 = 90,41\%$, $R^2 = 92,50\%$, $R^2 = 90,90\%$, $R^2 = 84,30\%$, $R^2 = 84,00\%$ e $R^2 = 90,00\%$, respectivamente). Silva et al., (2011), avaliando genótipos de trigo-comum no Estado de São Paulo, concluíram que a cultivar IAC-370 se destacou por apresentar rendimento de grãos superior à média em todos os ambientes, enfatizando que o resultado se refere à estabilidade e adaptabilidade ampla, situação que oportuniza a indicação do genótipo para qualquer tipo de ambiente. Luche et al., (2013), estudando os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade para genótipos de aveia branca no município de Capão do Leão, no Rio Grande do Sul, concluíram que o genótipo UPF 15 foi classificado como genótipo ideal, para rendimento de grãos, com elevado desempenho médio, adaptabilidade ampla ($\beta_1 = 1,0$) e estabilidade ($\sigma^2_d = 0$ e $R^2 = 0,99$). No mesmo sentido, Tavares et al., (2017), avaliando diferentes genótipos de feijão-comum no município de Gurupi, no Tocantins, concluíram que a cultivar IAC Centauro possui comportamento de um genótipo ideal, segundo metodologia de Eberhart e Russell (1966), associando alta produtividade de grãos, adaptabilidade ampla, e alta estabilidade com coeficiente de determinação (95,78%). No entanto, Monteiro (2012), avaliando diferentes métodos estatísticos para análises de adaptabilidade e estabilidade, concluiu que não foram encontrados genótipos ideais de soja, utilizando-se da metodologia de Eberhart e Russell (1966). Para Andrade et al., (2016), a seleção de um genótipo ideal pressupõe elevado rendimento do produto agrícola, associado a elevada estabilidade entre os ambientes avaliados.

As linhagens LP1 (2.169 kg ha⁻¹), LP3 (2.191 kg ha⁻¹), LP13 (2.144 kg ha⁻¹), LP28 (2.080 kg ha⁻¹) e VISAE (2.163 kg ha⁻¹) (Tabela 7 e Anexos 1.A; 1.B; 2.D; 4.A; e 5.D), embora de baixa responsividade à melhoria do ambiente, com valores de adaptabilidade todos inferiores à unidade ($\beta_1 < 1$), indicando adaptação específica a ambientes desfavoráveis, se apresentaram como genótipos atraentes como alternativas para produtores de baixo nível tecnológico de insumo, uma vez que apresentaram rendimento de grãos superior à média geral (2.070 kg ha⁻¹) e previsibilidade alta (σ^2_d não significativo), especialmente as linhagens LP13 e LP28, que apresentaram coeficiente de determinação acima de 80% ($R^2 = 89,30\%$ e $R^2 = 95,12\%$, respectivamente).

A linhagem LP26 (2.428 kg ha⁻¹) (Tabela 7 e Anexo 3.E) se colocou como promissora para produtores de alto nível tecnológico, com média de rendimento de grãos superior à média geral (2.070 kg ha⁻¹), adaptabilidade específica a ambientes

favoráveis, com estimativa de adaptabilidade superior à unidade ($\beta_1 > 1$), e estável, com coeficiente de determinação acima de 80%, apesar da variância significativa para os desvios de regressão ($\sigma^2_d \neq 0$). Avaliando as características de adaptabilidade de cultivares crioulas de feijão, Machado (2020) identificou que populações que apresentam produtividade acima de 1.000 kg ha⁻¹ (cultivares Serrana-Vagem-Branca, Chumbinho, Pardinho e Gralha-MST) foram classificadas como adaptadas a ambientes favoráveis, com valores β_1 superior à unidade (1,77, 1,59, 1,53 e 1,20 respectivamente). Para Santos (2014), a utilização de genótipos de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ($\beta_1 > 1$) deve ser cuidadosa, haja visto, quando em ambientes desfavoráveis, sobretudo por baixo nível tecnológico e de variações edafoclimáticas, podem ter sua produtividade reduzida.

Com a identificação das adaptabilidades específicas, tanto para ambientes favoráveis quanto para desfavoráveis, determina-se o melhor desempenho em determinado ambiente, essencial para o feijão, haja vista seu cultivo em diferentes épocas. As adaptabilidades específicas sugerem uma recomendação mais segura e precisa dos genótipos, uma vez que terão o melhor aproveitamento do seu potencial genético pela exploração da interação GxE a seu favor (RAMALHO, SANTOS e ZIMMERMANN, 1993).

De acordo com Alves et al., (2020), a seleção de genótipos deve considerar, simultaneamente, a estabilidade e o potencial adaptativo. As linhagens LP7 (1.948 kg ha⁻¹), LP8 (1.948 kg ha⁻¹), LP11 (1.859 kg ha⁻¹), LP12 (1.911 kg ha⁻¹), LP20 (1.957 kg ha⁻¹), LP24 (1.907 kg ha⁻¹), LP30 (1.993 kg ha⁻¹), LP44 (1.719 kg ha⁻¹), LP45 (1.989 kg ha⁻¹) e LP48 (1.793 kg ha⁻¹), embora tenham apresentado média de rendimento de grãos abaixo da média geral (2.070 kg ha⁻¹), se manifestaram como linhagens que possuem características genéticas relacionadas à estabilidade, condição que justifica a manutenção desses genótipos para o programa de melhoramento visando o desenvolvimento de linhagens mais previsíveis.

A linhagem VISAC, mesmo não previsível, apresentou alto potencial produtivo, com rendimento de grãos de 2.255 kg ha⁻¹, superior à média geral (2.070 kg ha⁻¹), e adaptabilidade ampla, sugerindo a manutenção do genótipo no programa de melhoramento. Em contrapartida, as linhagens LP18 (1.864 kg ha⁻¹), LP33 (1.959 kg ha⁻¹) e LP46 (1.823 kg ha⁻¹), apresentaram-se com rendimento de grãos inferior à média geral, além de alta instabilidade ou baixa previsibilidade ($R^2 < 80\%$), sugerindo a exclusão desses genótipos do programa de melhoramento.

5 CONCLUSÃO

As linhagens LP4, LP9, LP17, LP19, LP23 e LP27 colocam-se como alternativas de genótipos para diferentes tipos de ambientes, sobretudo para diferentes níveis tecnológicos de insumo, haja vista a associação de rendimento de grãos superior à média geral, às estimativas de adaptabilidade ampla e estabilidade alta.

As linhagens LP1, LP3, LP13, LP28 e VISAE apresentam-se como opções de genótipos para produtores de baixo nível tecnológico, uma vez que se mostraram como linhagens de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

A linhagem LP26 apresenta-se como um genótipo para cultivos de alto nível tecnológico, tendo em vista adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, ou alta responsividade, com média de rendimento de grãos superior à média geral e previsibilidade alta.

6 REFERÊNCIAS

- AFONSO, S. M. E. **Caracterização físico-química e atividade antioxidante de novas variedade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar), Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, p. 44, 2010.
- ALLARD, R W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. USAID: Rio de Janeiro, p. 381, 1971.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype–environmental interactions in applied plant breeding. *Madison: Crop Science*, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Berlin: *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, N. B.; NETO, A. R.; CASTRO, D. G.; SILVA, C. S. C.; MELO, B. M. R., BOTELHO, F. B. S. Adaptability and phenotypic stability of rice lines in Minas Gerais. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, 2020.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. Ed. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundação IAC, p. 285, 1997.
- ANDRADE, A. C. B.; SILVA, A. J.; FERRAUDO, A. S.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; DI MAURO A. O. Strategies for selecting soybean genotypes using mixed models and multivariate approach. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, 2016.
- ARANTES, F. C. **Interação genótipo x ambiente, adaptabilidade e estabilidade em genótipos de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, p. 94, 2013.
- ARUAH, B. C.; UGURU, M. I.; OYIGA, B. C. Genetic variability and inter-relationship among some Nigerian Pumpkin accessions (*Curcubita* spp.). *International Journal of Plant Breeding*, v.6, n.1, p. 34-41, 2012.
- BAĞDATLI, M. C.; ERDOĞAN, O. Effects of Different Irrigation Levels and Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), Photosynthesis Activator, Traditional Fertilizer on Yield and Growth Parameters of Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Arid Climatic Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 50, n. 5, p. 527–537, 2019.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira**: 2012-2014. Embrapa Arroz e Feijão, p. 248, 2012.

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

BARROS, M, B. **Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade produtiva na região Meio-Norte do Brasil**. (Dissertação de mestrado). Teresina: Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, p. 106, 2012.

BECKER, H. C. Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. Wageningen: **Euphytica**, v. 30, n. 3, p. 835-840, 1981.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2. Ed, Minnesota, p. 390, 2010.

BINOTTI, F. F. S. **Descrição e fisiologia da planta**. In: ARF, O; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P.; FERRARI, S. Aspectos gerais da cultura do feijão: *Phaseolus vulgaris* L. 1. Ed. Botucatu: UNESP/FEPAF, p. 433, 2015.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. Ed. Viçosa: UFV, 2017.

BULISANI, E. A. **Feijão**: fatores de produção e qualidade. Campinas: Fundação Cargill, p. 326, 1987.

CANNON, W. B. **The Wisdom of the Body**. New York: WW Norton, p. 4-9, 1932.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D.; DIAS, L. D. S.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Estabilidade de cultivares e linhagens de feijoeiro em diferentes ambientes no Estado de São Paulo. Campinas: **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 193-201, 2007.

CARBONELL, S. A. M; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. Santa Maria: **Ciência Rural**, v. 40, p. 2067-2073, 2010.

CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; VENCOVSKY, R.; FONSECA JUNIOR, N. S.; PINHEIRO, J. B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, p. 329-336, 2010.

COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; CARVALHO, F. I. F. Parâmetros genéticos do rendimento de grãos e seus componentes com implicações na seleção indireta em genótipos de feijão preto. Santa Maria: **Ciência Rural**, v.29, n.1, p. 1-6, 1999.

COMSTOCK, R. E.; MOLL, R. H. **Genotype**: environment Interactions. In: HANSON, W. D.; ROBINSON, H. F. (Eds.). Statistical genetics and plant breeding. Washington, p. 164-196, 1963.

COSTA, J. G. C. **Conhecendo a planta do feijoeiro comum**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Eds.). Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, cap. 2, p. 37-43, 2009.

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

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. A.; VENCOSKY, R. Na alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. Ribeirão Preto: **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, n. 2, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa: Editora UFV, p. 382, 2006.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta. Campinas: **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 908-916, 2011.

DALCHIAVON, F. C.; NEVES, G.; HAGA, K. I. Efeito de estresse salino em sementes de *Phaseolus vulgaris*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 404-412, 2016.

DE JONG, G. Phenotypic plasticity as a product of selection in a variable environment. Chicago: **The American Naturalist**, v. 145, p. 493-512, 1995.

DEBOUCK, D. G. Primary diversification of Phaseolus in the Americas: three centers? **Plant Genetic Resources Newsletter**, v. 67, p. 2-8, 1986.

DIDONET, A. D.; AIDAR, H.; THUNG, M.; KLUTHCOUSKI, J.; SOARES, D. M. **Efeitos da alta temperatura do ar**. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. (1. Ed.). Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 53-66, 2002.

DIDONET, A. D.; VITÓRIA, T. B. Resposta do feijoeiro comum ao estresse térmico aplicado em diferentes estágios fenológicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 199-204, 2006.

DIDONET, A. D.; SILVA, S. C. **Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 13-19, 2004.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, p. 385, 2000.

DUARTE, J. B. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Dissertação (mestrado em Agronomia), Escola de Agronomia, UFG, Goiânia, p. 155, 1988.

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

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. Madison: **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

EFETHA, A.; HARMS, T.; BANDARA, M. Irrigation management practices for maximizing seed yield and water use efficiency of Othello dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Southern Alberta, Canada. New York: **Irrigation Science**, v. 29, p. 103-113, 2011.

ELIAS, H. T.; HEMP, S.; CANTON, T. Análise da interação genótipo X ambiente na avaliação de cultivares de feijão em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 5, n.2, p. 271-275, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivares de feijão**. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa arroz e feijão**. 2004. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

EPAGRI - Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina, Brasil. **Boletim Agropecuário**: nº 69. 2019.

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, 2014.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**, 4. Ed. Longman Group, Essex, p. 464, 1996.

FAO - Food and Agriculture Organization United Nations. **FAOSTAT**: Food and agriculture data. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

FAO - Food and Agriculture Organization United Nations. **Perspectivas agrícolas no Brasil**: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. 2015.

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

FARIA, L. C.; SANTOS, P. G.; PEREIRA, H. S.; PELOSO, M. J. D. Genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. *Field Crops Research*, v. 142, p. 68-74, 2013.

FERNÁNDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)**. CIAT, Colômbia. p. 34, 1986.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programmed. Austrália: *Australian Journal Agriculture Research*, v. 14, p. 742-754, 1963.

FISHER, R. A.; MACKENZIE, W. A. Studies in crop variation. II. The manurial response of different potato varieties. *The Journal of Agricultural Science*, v. 13, b. 3, p. 311-320, 1923.

FOX, P. N.; CROSSA, J.; ROMAGOSA, I. **Multienvironment testing and genotype x environment interaction**. In: KEMPTON, R. A.; FOX, P. N. (1. Ed.). Statistical methods for plant variety evaluation. New York: Chapman and Hall, Cap. 8, p. 117-138, 1997.

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; MARCHIORO, V. S.; MARTIN, T. N.; SILVA, R. R.; DA SILVA, C. L. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no estado do paraná. Campinas: *Bragantia*, v. 69, n. 4, p. 797-805, 2010.

GARBUGLIO, D. D.; SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. G.; ARAÚJO, P.M.; BIANCO, R.; CUSTÓDIO, A. P. P.; BARROS, A. S. R. **Avaliação estadual de cultivares de milho Safra 2017/2018**. Londrina: IAPAR, p. 59, 2018.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trails. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed) **Genotype by environment interaction**. New York: CRC Press, p. 416-428, 1996.

GOOGLE EARTH: website. <http://earth.google.com>, 2020.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.)   seca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 70-75, 2006.

HOGG, R V.; CRAIG, A. T. **Introduction to mathematical statistics**. 2. Ed. New York, p. 388, 1965.

HOOGERHEIDE, E. S. S.; FARIAS, F. J.; VENCovsky, R.; FREIRE, E. C. Estabilidade fenotípica de genótipos de algodoeiro no Estado do Mato Grosso. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 695-698, 2007.

KANG, M. S. Breeding: **Genotype by environment interaction**. In: Encyclopedia of Plant and Crop Science, 1. Ed. New York. 2004.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science**. Berlin: Walter de Gruyter, p. 388, 1931.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem Bootstrap no modelo AMMI**. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 166, 2003.

LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L. C.; FARINELLI, R. **Cultivares**. In: ARF, O; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. Aspectos gerais da cultura do feijão: *Phaseolus vulgaris* L. 1. Ed. Botucatu: UNESP/FEPAF, p. 181-207, 2015.

LEWIS, D. Gene-environmental interaction: a relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. Edinburgh: **Heredity**, p. 333-356, 1954.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

LIN, C. S.; BURS, M. R.; LEFKOITCH, L. P. Stability analysis: where do we stand? Madison: **Crop Science**, n. 26, p. 894-900, 1986.

LUCHE, H. S.; NORNBERG, R.; CRESTANI, M.; Ribeiro, G.; WOYANN, L. G.; SILVA, J. A. G.; MAIA, L. C.; OLIVEIRA, A. C. Parameters of adaptability and stability in Brazilian and exotic cultivars of white oat. **Current Agricultural Science and Technology**, v.19, p. 31-40, 2013.

LYNCH, M.; WALSH, B. **Genetics and analysis of quantitative traits**. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., p. 980, 1998.

MACHADO, A. B. **Adaptabilidade e estabilidade de variedades crioulas de feijão**. (Dissertação de mestrado). Dois Vizinhos: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 58, 2020.

MAEDA, S.; MENDONÇA, A. L. **Época de Semeadura: a cultura do feijão no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa, 1990.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Requisitos Mínimos para Determinação do Valor de Cultivo e Uso de Feijão (*Phaseolus vulgaris*), para a Inscrição no Registro Nacional de Cultivares – RCN**. Brasília: MAPA, 2006.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. Ed. Minas Gerais: UFV, 2009.

MARIOTTI, J. A.; OYARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULATCIO, A. N. R.; ALMADA, G. H. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar I: interacciones dentro de una localidad experimental. Tucumán: **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, v. 13, n. 14, p. 105-127, 1976.

MATHER, K.; JINKS, J. L. **Biometrical genetics**. 2. Ed. London, p. 382, 1971.

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

MOLL, R. C.; COCKERHAM, C. C.; STUBER, C. W.; WILLIAMS, W. P. Selection Responses, genetic-environments interaction, and heterosis with recurrent Selection for yield in maize. Madison: **Crop Science**, v. 18, p. 641-645, 1978.

MONTEIRO, F. J. F. **Métodos estatísticos de análise da adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja na região Centro Sul do Estado do Tocantins, visando a produção de biodiesel**. (Dissertação de mestrado). Palmas: Universidade Federal do Tocantins, p. 67, 2012

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. (1. Ed.). Brasília: INMET, p. 530, 2009.

MORAIS, L. K.; PINHEIRO, J. B.; VENCovsky, R.; MOURA, M. F.; CHIORATO, A. F. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja para os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul**. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de plantas. Gramado, Rio Grande do Sul. Anais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2005.

OLIVEIRA, A. C. **Comparação de alguns métodos de determinação da estabilidade em plantas cultivadas**. (Dissertação de Mestrado). Brasília, DF. Universidade de Brasília, p. 64, 1976

OLIVEIRA, I. P.; ARAUJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de Nitrogênio. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O., (Coords). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, p. 169-221, 1996.

OLIVEIRA, L. A.; SILVA, C. P.; TEODORO, P. E.; TORRES, F. E.; CORRÊA, A. M.; BHERING, L. L. Performance of cowpea genotypes in the Brazilian Midwest using the bayesian additive main effects and multiplicative interaction model. **Agronomy Journal**, v.110, p.147-154, 2018.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos filotécnicos**. Embrapa, Brasília/DF, p. 61, 2018.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; BRANQUINHO, R. G.; SOUZA, P. I. D. M. Environmental Stratifications for soybean cultivar recommendation and its consistency over time. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 1-14, 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15ª edição, Ed. FEALQ, p. 451, 2009.

PORTES, T. A. **Ecofisiologia**. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafós, p. 101-137, 1996.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos do feijoeiro. In: ARF O. **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1. Ed. Botucatu/SP: FEPAF, Cap. 4, p. 65-75, 2015.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A. COSTA, L. C. Desenvolvimento folhar das culturas da soja e do feijão e de planta daninhas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 207- 211, 2003.

QUIJADA, R. M. **Interacción genotipo x ambiente**. In: FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. Mejora genética de arboles forestales. Merida: FAO/Danida, p. 231-235, 1980.

RAIZER, A. J.; VENCOVSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2241-2246, 1999.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. **Cultivares**. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. Feijão. 2. Ed. Viçosa: UFV, p. 415-436, 2006.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. 1. Ed. Goiania: UFG, p. 271, 1993.

RAVEN, P. H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 8. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 876, 2014.

ROMAGOSA, I.; FOX, P. N. **Genotype-Environment Interactions and Adaptation**. In: HAYWARD, M. D.; BOSENMARK, N. O.; ROMAGOSA, 1. Ed., Plant breeding: principles and prospects. London, p. 373-390, 1994.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade,

estabilidade e adaptabilidade. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 964-971, 2012.

SACCOL, A. V.; STORCK, L. Análise de estabilidade fenotípica de cultivares de soja em 28 ambientes do Rio Grande do Sul. Santa Maria: **Ciência Rural**, v. 23, n. 2, p. 145-149, 1993.

SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, p. 356, 2018.

SANTOS, A. **Comparação de métodos para descrição de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de feijão-caupi**. (Dissertação de mestrado). Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, p. 71, 2014.

SANTOS, A.; CECCON, G.; CORREA, A. M.; DURANTE, L. G. Y.; REGIS, J. A. V. B. Análise genética e de desempenho de genótipos de feijão-caupi cultivados na transição do cerrado-pantanal. , Cascavel: **Cultivando o Saber**, v.5, n.4, p. 87-102, 2012.

SAXTON, A. **Genetic Analysis of Complex Traits Using SAS**. 1. Ed., Cary, NC: SAS Institute Inc. p. 292, 2004.

SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIEIRA, R. A.; PINTO, R. J. B.; CONRADO, T. V. Correlations among yield and popping expansion stability parameters in popcorn. Dordrecht: **Euphytica**, v. 174, n. 2, p. 209-218, 2010.

SCHEINER, S. M. Genetics and evolution of phenotypic plasticity. Palo Alto: **Annual Review of Ecology Systems**, v. 24, p. 35-68, 1993.

SCOTT, G. Selecting for stability of yield in maize. Madison: **Crop Science**, v. 7, p. 549-551, 1967.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. **Melhoramento da Soja**. In: BOREM, A. (1. Ed.) Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV. p. 488-533, 1999.

SENDI, Y.; ROMDHANE, S. B.; MHAMDI, R.; MRABET, M. Diversity and geographic distribution of fungal strains infecting field-grown Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Tunisia. **European Journal of Plant Pathology**, v. 153, p. 947–955, 2019.

SILVA, F. M.; RAMOS-JÚNIOR, E. U.; ITO, M. A.; GALLO, P. B.; CAMARGO, C. E. O.; PATERNIANI, M. E. A. G.; FERREIRA-FILHO, A. W. P. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo comum em condições de sequeiro e irrigado no Estado de São Paulo**. V Reunião da Comissão Brasileira de Trigo e Triticale. Dourados, p. 6, 2011.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, p. 61, 2013.

SILVA, R. S. **Adaptabilidade e estabilidade genotípica de linhagens de algodoeiro herbáceo para as condições do Semiárido Nordestino**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, p. 76, 2019.

SINGH, S. P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. Madison: **Crop Science**, v. 41, p. 1659-1675, 2001.

SINGH, S. P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Economic. **Botany**, 1991, v. 45, p. 379–396.

SOUZA, G. M., VIANA, J. O. F., OLIVEIRA, R. F. Folhas assimétricas em feijoeiro sob deficiência hídrica exibem fotossíntese assimétrica. Londrina: **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 17, n. 2, 2005.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT software**: changes and enhancements through release 6.12. (software). Cary: SAS INSTITUTE, p. 1116, 1997.

TAI, G. C. C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, v. 11, p. 184-190, 1971.

TAVARES, T.; SOUSA, S.; SALGADOS, F.; SANTOS, G.; LOPES, M.; FIDELIS, R. Adaptability and stability of grain production in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.2, p. 411-418, 2017.

TOHME, J.; ORLANDO, G.; BEEBE, S.; DUQUE, M. C. AFLP analysis of gene pools of a wild bean core collection. Madison: **Crop Science**, v. 36, p. 1375-1384, 1996.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Canal Clima UNESP Ilha Solteira**. Ilha Solteira, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br/listaestacao.php>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

VELASCO, N. F.; LIGARRETO, G. A.; DÍAZ, H. R.; FONSECA, L. P. M. Photosynthetic responses and tolerance to root-zone hypoxia stress of five bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). **South African Journal of Botany**, v. 123, p. 200–207, 2019.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, p. 496, 1992.

VENCOVSKY, R.; TORRES, R. A. A. **Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., 1988, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: Embrapa CNPMS, p. 294-300, 1988.

VERISSIMO, M. A. A.; SILVA, S. D. A.; AIRES, R. F.; DAROS, E.; PANZIERA, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 561-568, 2012.

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

VILHORDO, B. W. Morfologia. In: ARAUJO, R. S.; et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, p. 71-99, 1996.

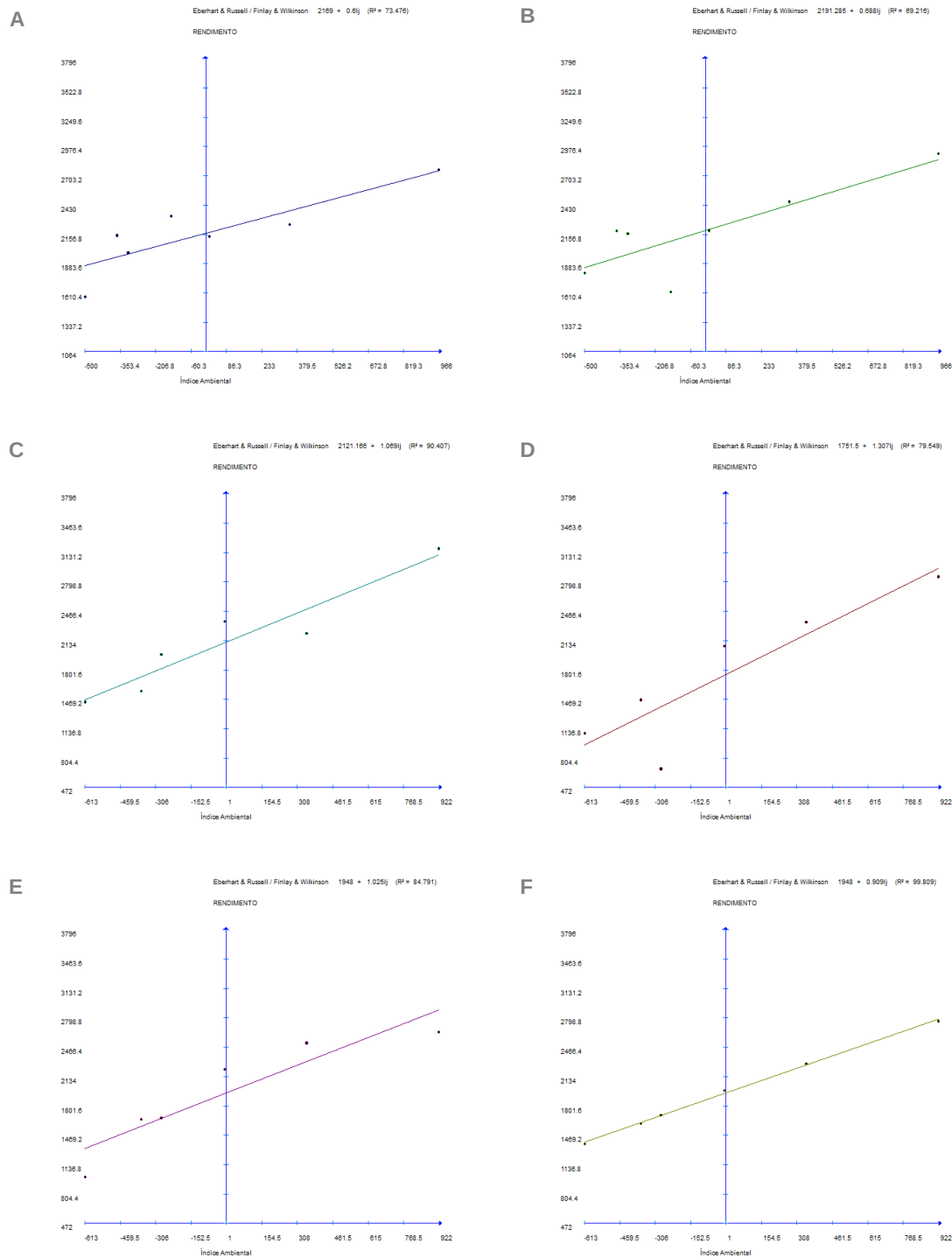
VLASOVA, A.; CAPELLA-GUTIÉRREZ, S.; RENDÓN-ANAYA, M.; HERNÁNDEZ-OÑATE, M.; MINOCHE, A. E.; ERB, I.; CÂMARA, F.; PRIETO-BARJA, P.; CORVELO, A.; SANSEVERINO, W. Genome and transcriptome analysis of the mesoamerican common bean and the role of gene duplications in establishing tissue and temporal specialization of genes. **Genome Biology**, p. 17:32, 2016.

YUE, G. L.; ROOZEBOOM, K. L.; SCHAPAUGH JÚNIOR, W. T.; LIANG, G. H. Evaluation of soybean cultivars using parametric and nonparametric stability estimates. Malden: **Plant Breeding**, v. 116, n. 3, p. 271-275, 1997.

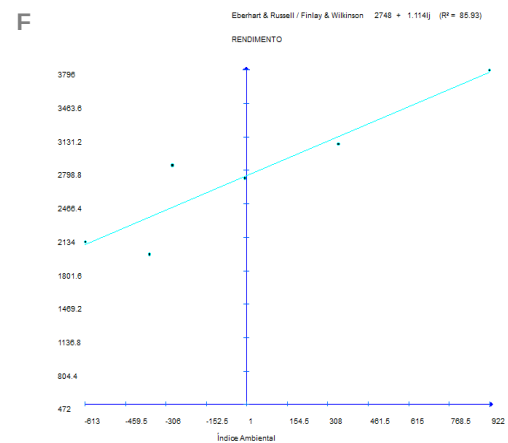
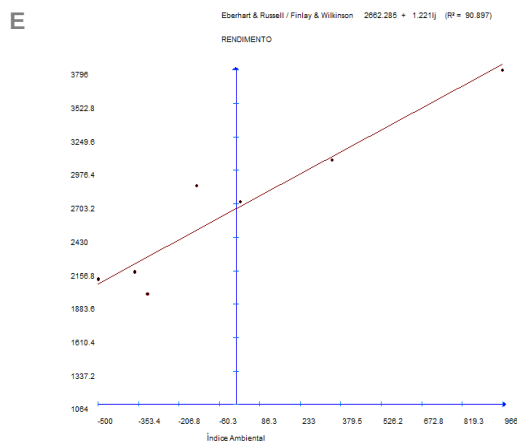
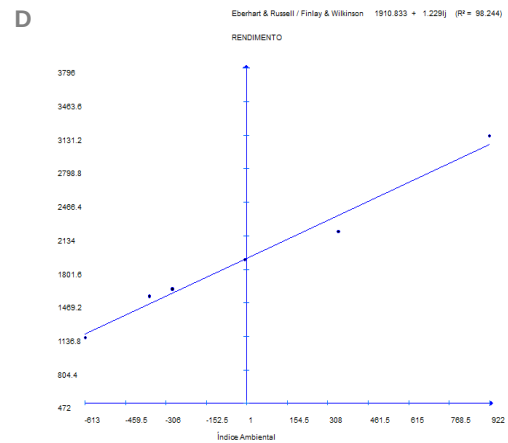
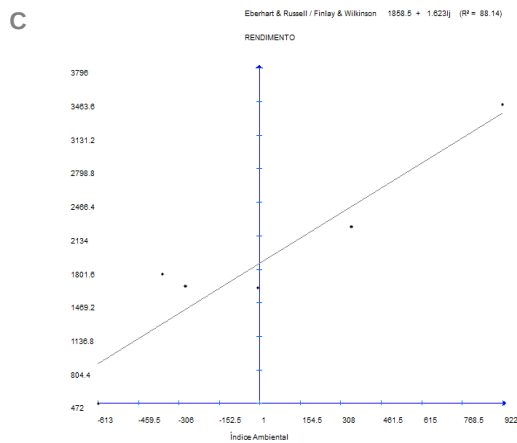
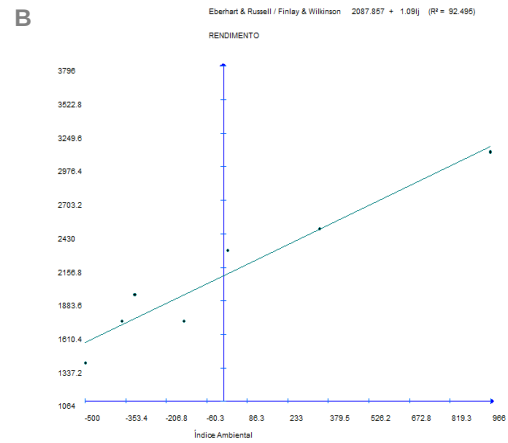
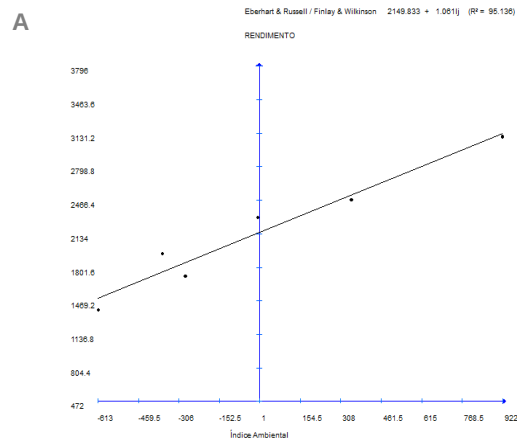
ZIMMERMANN, M. J. O.; TEIXEIRA, M. G.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: ABPPF, p. 78-84, 1988.

7 ANEXOS

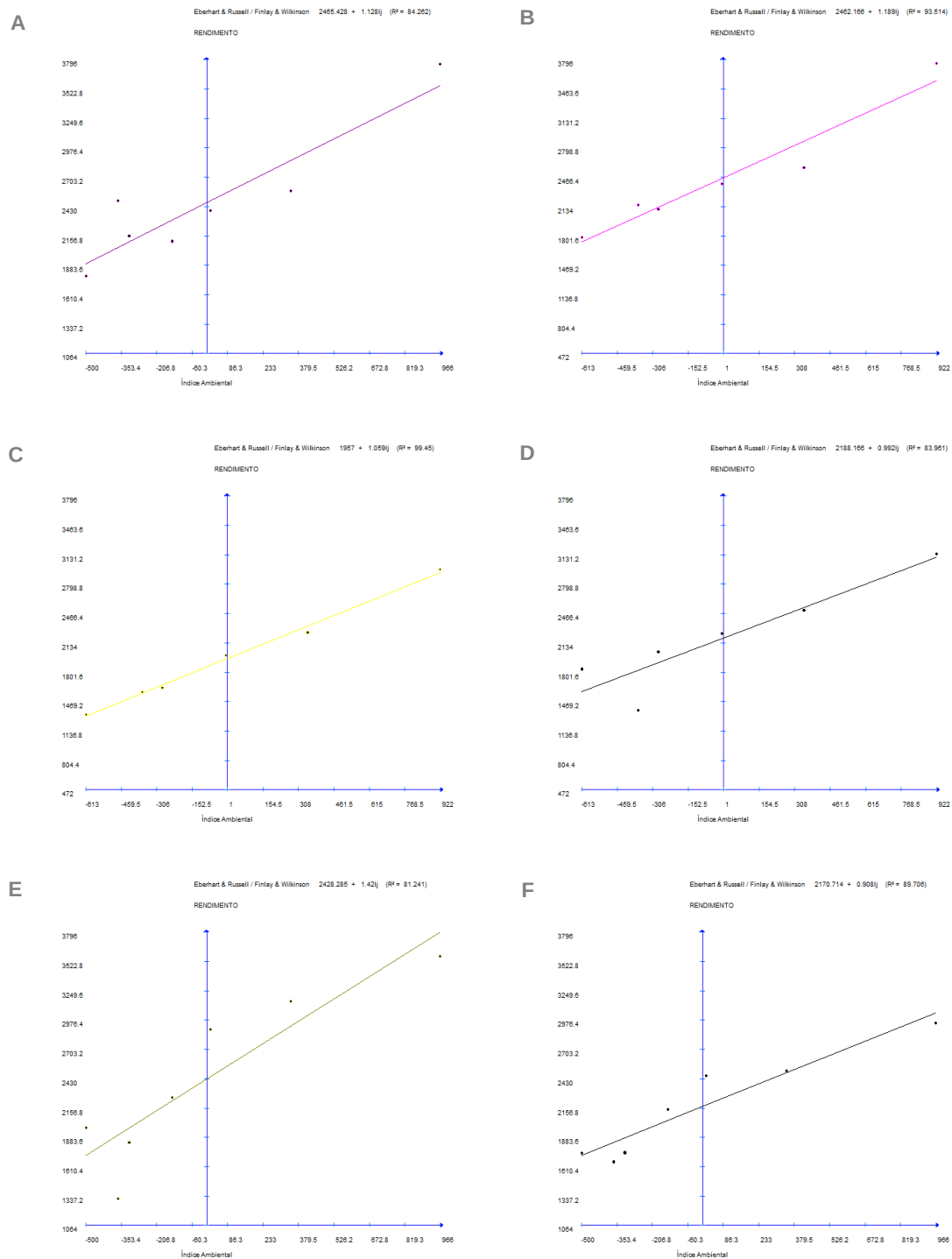
Anexo 1. Resultados gráficos de análise de regressão simples (EBERHART e RUSSEL 1966) para os genótipos LP1 (A), LP3 (B), LP4 (C), LP6 (D), LP7 (E), e LP8 (F).



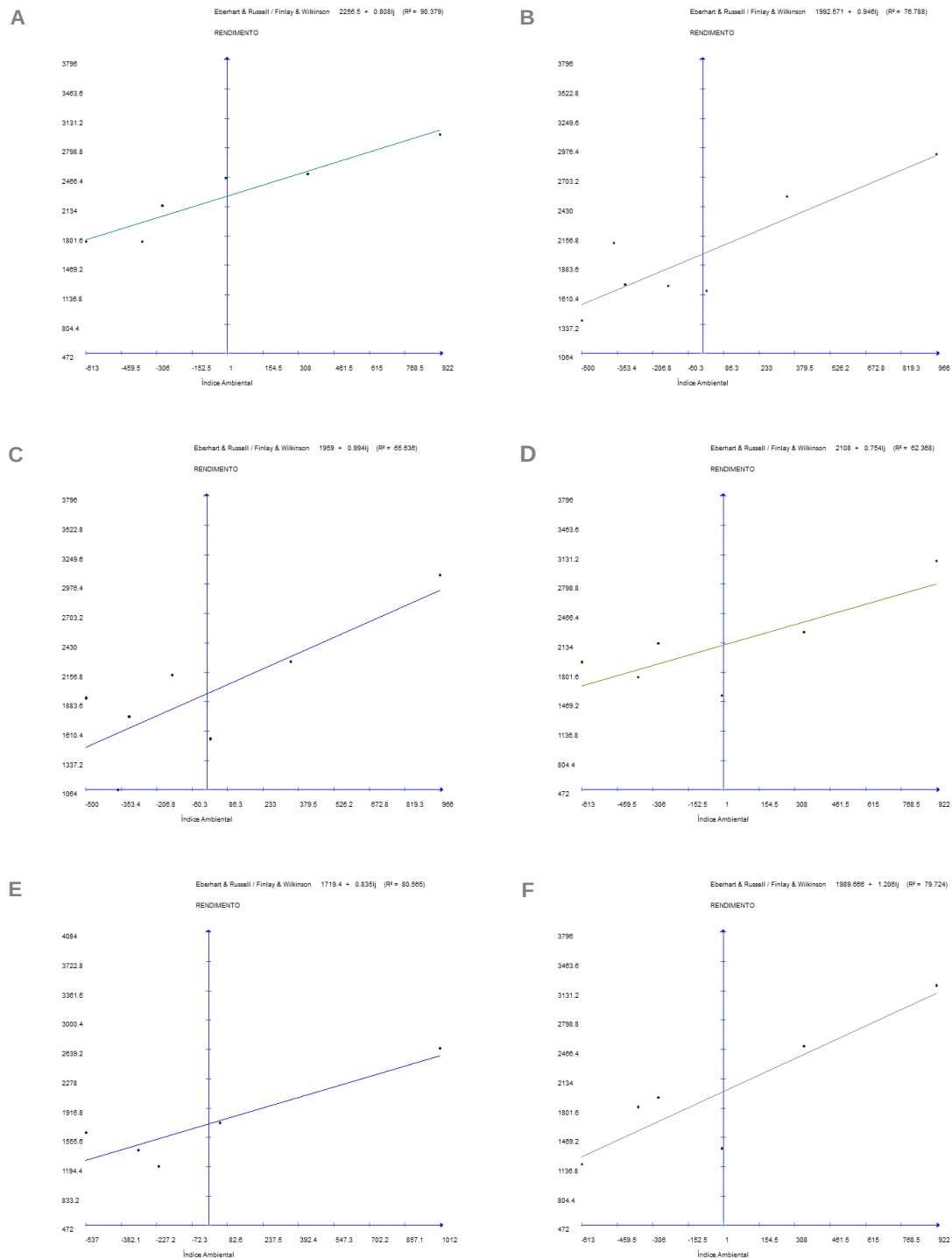
Anexo 2. Resultados gráficos de análise de regressão simples (EBERHART e RUSSEL 1966) para os genótipos LP9 (A), LP11 (B), LP12 (C), LP13 (D), LP17 (E), e LP18 (F).



Anexo 3. Resultados gráficos de análise de regressão simples (EBERHART e RUSSEL 1966) para os genótipos LP19 (A), LP20 (B), LP23 (C), LP24 (D), LP26 (E), e LP27 (F).



Anexo 4. Resultados gráficos de análise de regressão simples (EBERHART e RUSSEL (1966) para os genótipos LP28 (A), LP30 (B), LP33 (C), LP37 (D), LP44 (E), e LP45 (F).



Anexo 5. Resultados gráficos de análise de regressão simples (EBERHART e RUSSEL 1966) para os genótipos LP46 (A), LP48 (B), VISAC (C), VISAE (D), e BRNSN (E).

