UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ

PRÓ-REITORIA DE ENSINO E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MESTRADO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO

LANARA SILVA LIMA

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA O MERCADO DE TIPOS ESPECIAIS DE GRÃOS

TERESINA

2025

LANARA SILVA LIMA

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA O MERCADO DE TIPOS ESPECIAIS DE GRÃOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA da Universidade Federal do Piauí – UFPI na área de concentração Genética e Melhoramento, como requisito para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento.

Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha

TERESINA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

L732s Lima, Lanara Silva.
Seleção de genótipos de feijão-caupi para o mercado de tipos especiais de grãos. / Lanara Silva Lima. -- 2025.
72 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.
"Orientador: Prof. Dr. "Maurisrael de Moura Rocha."

1. *Vigna unguiculata.* 2. Melhoramento genético. 3. Caracteres agronômicos. 4. Parâmetros genéticos. 5. Genótipo-ideótipo. I. Rocha, Maurisrael de Moura. II. Título.

CDD 631.53

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

LANARA SILVA LIMA

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI PARA O MERCADO DE TIPOS ESPECIAIS DE GRÃOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA), da Universidade Federal do Piauí - UFPI como requisito exigido à obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento.

Área de Concentração: Genética e Melhoramento.

Linha de Pesquisa: Recursos Genéticos e Melhoramento.

Aprovada em 20 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
MAURISRAEL DE MOURA ROCHA
Data: 12/03/2025 10:26:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha (Embrapa Meio-Norte)
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br
VERONICA BRITO DA SILVA
Data: 12/03/2025 12:45:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Verônica Brito da Silva (UFPI)
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
gov.br
FABRICIO NAPOLEAO ANDRADE
Data: 13/03/2025 10:05:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Fabrício Napoleão Andrade (IFPI)
Examinador Externo ao Programa

A Deus tem toda minha gratidão.

Aos meus pais Maria Eunice e Françuilton, minha irmã Tandara, que se fizeram presentes ao longo dessa jornada me motivando e incentivando.

Aos meus avós maternos Maria Vilma e Toriba Casé pelo apoio e compreensão.

A meu amigo Gerardo Junior, que foi um pilar importante nos momentos de incertezas

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho é fruto da colaboração, apoio e incentivo de várias pessoas e instituições, às quais expressam a minha mais sincera gratidão.

À Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para enfrentar os desafios ao longo dessa jornada acadêmica.

Ao meu orientador(a), Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pela orientação, paciência, e incentivo constante durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições foram essenciais para o amadurecimento das ideias aqui apresentadas.

À Universidade Federal do Piauí/ PPGA, pela oportunidade de realizar esta pesquisa e pelo suporte técnico, científico e financeiro oferecido durante o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, que foi imprescindível para a realização desta pesquisa.

À Embrapa Meio-Norte, pela disponibilização da infraestrutura necessária, que possibilitou a realização dos ensaios.

Aos professores do programa de mestrado e colegas de turma, pelas investigações enriquecedoras, pelo apoio mútuo e pela troca de conhecimentos.

Aos técnicos e colaboradores do laboratório, pelo suporte técnico e pela contribuição prática nas atividades experimentais.

À minha família, em especial aos meus pais, Maria Eunice Silva Lima e Françuilton Ferreira Lima, e à minha irmã, Tandara Silva Lima, sou profundamente grata pelo amor, suporte inabalável e compreensão, mesmo nos momentos em que minha dedicação aos estudos exigiu minha ausência.

Expresso também minha profunda gratidão a Ceilson Teone, cujo apoio, paciência e motivação constante foram indispensáveis para que eu pudesse superar os desafios deste percurso.

Aos meus amigos Gerardo Junior, Adriele de Castro e Thayane Martins, agradeço pela parceria, estímulo e presença ao longo do caminho, elementos essenciais para que eu alcançasse este tão esperado objetivo.

Por fim, a todos aqueles que, de alguma forma, desenvolveram para a realização deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O mercado do feijão-caupi tem sido dominado por cultivares das classes comerciais Branco (Subclasses Branco Liso, Branco Rugoso e Fradinho) e cores de grãos marrons (Subclasses Sempre-verde, Mulato e Canapu). O desenvolvimento de cultivares com novos tipos comerciais pode contribuir para ampliar o mercado e o consumo interno, bem como aumentar as exportações. Diante disso, esse estudo teve como objetivo avaliar e selecionar genótipos de feijão-caupi superiores em caracteres agronômicos com potencial para o mercado de tipos especiais de grãos. Foram avaliados 27 genótipos do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, divididos em dois ensaios (16 genótipos da classe comercial preto e 11 genótipos da classe comercial cores, subclasses Vinagre, Manteiga e Rajado), conduzidos em delineamento em blocos completos casualizados com três repetições, no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI, na safra 2023/2024. Foram avaliados os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e a produtividade de grãos (PROD). Os dados foram analisados estatisticamente por modelos mistos, via Máximo Verossimilhança Restrita/Melhor Preditor Linear não Viesado (REML/BLUP). Foram estimados valores genéticos aditivos, parâmetros genéticos e a seleção de genótipos superiores realizada via índice de distância genótipo-ideótipo multicaráter (MGIDI). As estimativas de parâmetros genéticos indicaram a existência de alta variabilidade genética, maior componente genético na expressão do fenótipo e situação confiável e favorável para seleção de genótipos superiores em ambos as classes comerciais (preto e cores), para todos os caracteres avaliados, notadamente para o P100G, IG e PROD. As estimativas de correlações genética entre os caracteres avaliados indicam que: é viável a seleção simultânea para precocidade de floração e alta PROD nos genótipos da classe comercial preto, no entanto, inviável nos genótipos da classe comercial cores; a seleção simultânea para aumentos no IG e PROD é possível em ambos os genótipos e classes comerciais avaliados; e a seleção para aumento do P100G pode diminuir o NGV e o IG em ambos os genótipos e classes comerciais avaliados. Com base nos valores genéticos preditos (BLUPs), destacaram-se os genótipos da classe comercial preto BRS Tapahium, MNC10-998B-8-1, Pretinho-PA, MNC09-981B-6, MNC10-998B-20-3, MNC09-988B-20, MNC09-981B-9, MNC10-982B-3-7 e MNC10-982B-11-1 e da classe comercial cores BRA-002412 (subclasse manteiga), manteiga-Ipiranga (subclasse manteiga), BRA-002411 (subclasse manteiga), MNC11-1019E-40 (subclasse rajado) e IT97KD-1042-3 (subclasse vinagre). Considerando a seleção simultânea com base em todo os caracteres avaliados realizado pelo índice MGIDI, os genótipos da classe comercial preto MNC09-981B-1, MNC09-981B-9, MNC09-988B-3, MNC10-982B-11-1 e MNC10-998B-8-1; e da classe comercial cores, subclasse comercial vinagre IT97KD-1042-3 e BRA-086657; e da subclasse rajado MNC11-1019E-40 apresentam potencial para o mercado de feijão-caupi de tipos especiais de grãos.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; melhoramento genético; caracteres agronômicos; parâmetros genéticos; genótipo-ideótipo.

ABSTRACT

The cowpea market has been dominated by cultivars of the commercial classes White (Branco Liso, Branco Rugoso and Fradinho subclasses) and brown grain colors (Sempre-verde, Mulato and Canapu subclasses). Thus, the development of cultivars with new commercial types can contribute to expanding the market and domestic consumption, as well as exports. Therefore, this study aimed to evaluate and select cowpea genotypes superior in agronomic traits with potential for the market of special types of grains. Twenty-seven genotypes from the cowpea genetic improvement program of Embrapa Meio-Norte were evaluated, divided into two trials (16 genotypes of the commercial class black and 11 genotypes of the commercial class colors, subclasses Vinagre, Manteiga and, Rajado), conducted in a randomized complete block design with three replications, in the experimental field of Embrapa Meio-Norte, in Teresina-PI, in the 2023/2024 harvest. The following traits were evaluated: number of days to start of flowering (NDIF), pod length (COMPV), number of grains per pod (NGV), 100-grain weight (P100G), grain index (GI) and grain yield (PROD). Data were statistically analyzed by mixed models, via Restricted Maximum Likelihood/Best Unbiased Linear Predictor (REML/BLUP). Additive genetic values and genetic parameters were estimated and the selection of superior genotypes was performed via multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI). The estimates of genetic parameters indicated the existence of high genetic variability, greater genetic component in the expression of the phenotype and reliable and favorable situation for the selection of superior genotypes in both commercial classes (black and colors), for all evaluated traits, notably for P100G, GI and PROD. Estimates of genetic correlations between the evaluated traits indicate that: simultaneous selection for early flowering and high PROD is feasible in the black commercial class genotypes, however, it is not feasible in the color commercial class genotypes; simultaneous selection for increases in GI and PROD is possible in both genotypes and commercial classes evaluated; and selection for increased P100G can decrease NGV and GI in both genotypes and commercial classes evaluated. Based on the predicted genetic values (BLUPs), the genotypes of the commercial class black BRS Tapahium, MNC10-998B-8-1, Pretinho-PA, MNC09-981B-6, MNC10-998B-20-3, MNC09-988B-20, MNC09-981B-9, MNC10-982B-3-7 and MNC10-982B-11-1 and of the commercial class colors BRA-002412 (manteiga subclass), butter-Ipiranga (manteiga subclass), BRA-002411 (manteiga subclass), MNC11-1019E-40 (rajado subclass) and IT97KD-1042-3 (vinagre) highlighted. Considering the simultaneous selection based on all the evaluated traits performed by the MGIDI index, the genotypes of the black commercial class MNC09-981B-1, MNC09-981B-9, MNC09-988B-3, MNC10-982B-11-1 and MNC10-998B-8-1; and of the color commercial class, vinagre subclass IT97KD-1042-3 and BRA-086657; and of the rajado subclass MNC11-1019E-40 present potential for the market of cowpea of special types of grains.

Keywords: *Vigna unguiculata*; genetic breeding; agronomic traits; genetic parameters; genotype-ideotype.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classe Branco, subclasse Branco Liso 19

Figura 2. Classe Branco, subclasse Branco rugoso.....19

Figura 3. Classe Branco, subclasse Fradinho.....19

Figura 4. Classe Branco, subclasse Olho-marrom.....19

Figura 5. Classe Branco, subclasse Olho-vermelho.....19

Figura 6. Classe Preto, subclasse Preto-fosco.....19

Figura 7. Classe Preto, subclasse Preto-brilhoso.....19

Figura 8. Classe Cores, subclasse Mulato Liso.....19

Figura 9. Classe Cores, subclasse Mulato Rugoso.....20

Figura 10. Classe Cores, subclasse Canapu.....20

Figura 11. Classe Cores, subclasse Sempre-verde.....20

Figura 12. Classe Cores, subclasse Verde.....20

Figura 13. Classe Cores, subclasse Manteiga.....20

Figura 14. Classe Cores, subclasse Vinagre.....20

Figura 15. Classe Cores, subclasse Azulão.....20

Figura 16. Classe Cores, subclasse Corujinha.....20

Figura 17. Classe Cores, subclasse Rajado.....20

Figura 18. Panorama geral dos ensaios de genótipos de feijão-caupi das classes comerciais preto e cores, em diferentes fases do ciclo da cultura. Teresina, PI, 2023/2,024 30

Figura 19. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de dias para o início da floração (NDIF) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024 39

Figura 20. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de dias para o início da floração (NDIF) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.....40

Figura 21. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter comprimento de vagem (COMPV) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....41

Figura 22. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter comprimento de vagem (COMPV) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 42

Figura 23. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de grãos por vagem (NGV) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....43

Figura 24. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de grãos por vagem (NGV) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores. Teresina, PI, 2023/2024 44

Figura 25. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter peso de 100 grãos (P100G) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....44

Figura 26. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter peso de 100 grãos (P100G) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.....45

Figura 27. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter índice de grãos (IG) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....46

Figura 28. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter índice de grãos (IG) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.....47

Figura 29. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024 48

Figura 30. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 49

Figura 31. Correlações genotípicas entre os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024 50

Figura 32. Correlações genotípicas de Pearson entre os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 51

Figura 33. Visualização dos pontos fortes e fracos de 16 genótipos de feijão caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024. 55

Figura 34. Visualização dos pontos fortes e fracos de 11 genótipos de feijão caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.....60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do feijão-caupi quanto a cor e aspecto do tegumento do grão 18

Tabela 2. Genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto avaliados 29

Tabela 3. Genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses Vinagre, Manteiga e Rajado, avaliados 29

Tabela 4. Resumos das análises de deviance para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidos a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.....35

Tabela 5. Resumos das análises de deviance para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidos a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023.....36

Tabela 6. Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024 37

Tabela 7. Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 38

Tabela 8. Estimativas de autovalores por análise de componentes principais (CP) e a proporção da variância explicada por eles com base na variação de seis caracteres (Número de dias para o início da floração, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, pesos de 100 grãos, índice de grãos e produtividade de grãos), a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....53

Tabela 9. Cargas fatoriais após rotação varimax e comunalidades (h) obtidas na análise fatorial (FA) a partir da análise de seis caracteres a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....54

Tabela 10. Diferencial de seleção (Ds), herdabilidade (h^2) e ganho predito com a seleção (Gs) com base no índice MGIDI para seis caracteres, obtidos a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.....54

Tabela 11. Estimativas de autovalores por análise de componentes principais (CP) e a proporção da variância explicada por eles com base na variação de seis caracteres (Número de dias para o início da floração, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, pesos de 100 grãos, índice de grãos e produtividade de grãos), a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 57

Tabela 12. Cargas fatoriais após rotação varimax e comunalidades (h) obtidas na análise fatorial (FA) a partir da análise de seis caracteres a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 57

Tabela 13. Diferencial de seleção (Ds), herdabilidade (h^2) e ganho predito com a seleção (Gs) com base no índice MGIDI para seis caracteres, obtidos a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024 58

XIII

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO DE LITERATURA 17
2.1 Importância socioeconômica do feijão-caupi 17
2.2 Tipos comerciais de feijão-caupi 18
2.3 Melhoramento genético do feijão-caupi 21
2.4 Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi 24
2.4.1 Coeficiente de variação genética (CV_g) 24
2.4.2 Coeficiente de herdabilidade (h^2) 25
2.4.3 Correlações entre caracteres (r_g) 26
2.5 Uso de índices de seleção no melhoramento de feijão-caupi 26
3 MATERIAL E MÉTODOS 29
3.1 Material genético 29
3.2 Caracterização experimental 30
3.3 Implantação e condução dos ensaios 31
3.4 Caracteres avaliados 31
3.5 Análises estatísticas 32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 36
4.1 Genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto 36
4.1.1 Seleção de genótipos com base nos valores genéticos preditos (BLUPs) 39
4.1.2 Correlação genética entre caracteres 51
4.1.3 Seleção de genótipos com base no índice MGIDI 57
4.2 Genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores 45
5 CONCLUSÕES 61
REFERÊNCIAS 62

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) faz parte da dieta de milhões de pessoas, constituindo-se em um alimento importante da dieta básica de comunidades pobres de países em desenvolvimento. É uma cultura originária da África e foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses pelo Estado da Bahia na segunda metade do século VI (FREIRE FILHO, 2011). É uma planta Dicotyledonea pertencente a ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinea, gênero *Vigna*, secção Catiang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e subespécie unguiculata. Esta é subdividida em quatro cultigrupos: unguiculata, sesquipedalis, biflora e textilis (VERDECOURT, 1970; PADULOSI; NG, 1997).

A cultura do feijão-caupi apresenta diversas características que favorecem o seu cultivo em várias regiões do mundo, como ciclo de cultivo curto, baixa exigência hídrica, pouca necessidade de fertilizantes e capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio por meio da associação com bactérias do solo, melhorando a qualidade do solo (BOUKAR et al., 2018; SPRIGGS et al., 2018).

Feijão-de-corda, feijão macassar, feijão de estrada, feijão miúdo, feijão catador, feijão gurutuba e manteiguinha são alguns dos vários nomes vulgares atribuídos ao feijão-caupi nas diferentes regiões do Brasil em virtude de sua diversidade genética. Na safra 2023/2024, o Brasil apresentou uma área, produção e produtividade de 1.287.300 hectares, 631.400 toneladas e 491 kg ha^{-1}, respectivamente (CONAB, 2024). É cultivado predominantemente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do país, para os mercados grãos secos ou verdes (FREIRE FILHO et al., 2017).

Devido à grande variabilidade de características fenotípicas no grão do feijão-caupi, como a cor do tegumento, que varia entre as cultivares produzidas e comercializadas no Brasil, há a necessidade de classificar e caracterizar essa variação. Neste sentido, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) instituiu o regulamento técnico do feijão por meio da Instrução Normativa Nº 12 de 28 de março de 2008, que define a classificação do feijão em grupos, classes e tipos comerciais. O feijão é classificado em dois grupos, sendo o grupo I o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e o grupo II (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Dentro do grupo II, a classificação é realizada de acordo com a coloração do tegumento do grão: branco: produto que contém, no mínimo 90% de grãos de coloração branca; preto: produto que contém, no mínimo 90%

de grãos de coloração preta; cores: produto que contém no mínimo, 90% de grãos da classe cores, admitindo-se até 10% de outras cultivares da classe cores, que apresentem contraste na cor ou no tamanho; misturado: produto que não atende às especificações das classes anteriores (BRASIL, 2008).

Com o objetivo de representar melhor a diversidade de cores do grão e da preferência pelo mercado e consumidor brasileiro, Freire Filho et al. (2012) propôs uma classificação, subdividindo as classes comerciais em subclasses, ficando a seguinte classificação comercial: classe Branco, subclasses Branco Liso, Branco Rugoso, Fradinho, Branco Olho-marrom e Branco Olho-vermelho; classe Preto, subclasses Preto Fosco e Preto Brilhante; e classe Cores, subclasses Sempre-Verde, Mulato Liso, Mulato Rugoso, Canapu, Verde, Vinagre, Manteiga, Rajado, Corujinha e Azulão.

No Brasil, o objetivo do melhoramento do feijão-caupi inicialmente era voltado, principalmente, no aumento do rendimento do grão; depois, o melhoramento voltou-se para a resistência às doenças, principalmente viroses; atualmente, grande ênfase tem sido dada à qualidade comercial e nutricional do grão e a arquitetura da planta (FREIRE FILHO et al., 2017; ROCHA; DAMASCENO-SILVA; MENEZES JÚNIOR, 2017).

O mercado do feijão-caupi tem sido dominado por cultivares das classes comerciais Branco (Subclasses Branco Liso, Branco Rugoso e Fradinho) e cores de grãos marrons (Subclasses Sempre-verde, Mulato Liso e Canapu). O desenvolvimento de cultivares com novos tipos comerciais pode contribuir para ampliar o mercado e o consumo interno, bem como aumentar as exportações. Diante disso, esse estudo teve como objetivo avaliar e selecionar genótipos de feijão-caupi para caracteres agronômicos com potencial para o mercado de tipos especiais de grãos da subclasse preta, manteiga, vinagre, rajado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância socioeconômica do feijão-caupi

No Brasil, várias espécies de feijão são cultivadas, no entanto, somente as espécies feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* (L.)) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) são consideradas pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) como feijões (BRASIL, 2008).

Os maiores produtores mundiais de feijão-caupi no ano de 2022 foram Nigéria, Niger, Burkina Faso e Brasil (FAOSTAT, 2022; CONAB, 2022). A produção média anual no Brasil, no período de 2021 a 2024, apresentou uma oscilação, mas com tendência de aumento no decorrer das safras. Na safra 2020/2021, a produção de feijão-caupi foi de 623.800 toneladas. Nas safras 2021/2022 e 2022/2023, as produções foram ligeiramente maiores, com 629.300 toneladas e 584.500 toneladas, respectivamente. Na safra 2023/2024 a produção foi de 692.400 toneladas. Este crescimento é atribuído a avanços tecnológicos e condições climáticas favoráveis em certas regiões produtoras, apesar de desafios em outras áreas. Esses dados refletem as flutuações e tendências de produção de feijão-caupi ao longo dos anos recentes, com expectativa de estabilidade ou aumento moderado nos próximos ciclos (CONAB, 2024)

A produção média anual de feijão-caupi no Nordeste do Brasil entre 2021 e 2024 tem sido significativa, representando uma grande parcela da produção nacional dessa leguminosa. Na safra 2023/2024, o Nordeste respondeu por 68,730% da produção total de feijão-caupi no país, devido à sua adaptação ao clima semiárido da região e à grande tradição de cultivo e consumo.

Os maiores produtores nacionais na safra 2023/2024 foram os estados da Bahia (156.700 toneladas), Ceará (120.400 toneladas), Mato Grosso (101.600 toneladas) e Tocantins (76.400 toneladas), sendo o Piauí (83.600 toneladas) possuindo ainda uma produção inferior (CONAB, 2024).

Com base nas médias de área e produção do feijão-caupi no período de 2014 a 2024, considerando o consumo per capta de 18,21 kg/pessoa/ano e o preço histórico da saca de 60 kg de feijão de R$ 80,00, o feijão-caupi apresentou um potencial de suprimento alimentar de 3,3 milhões de pessoas, gerou 1,3 milhões de empregos/ano e um valor de produção de 814,3 milhões de reais.

2.2 Tipos comerciais de feijão-caupi

O feijão-caupi é classificado oficialmente em quatro classes comerciais: Branco, Preto, Cores e Misturado. Devido à variação de tipos de feijão-caupi comercializados, Freire Filho et al. (2005) subdividiram as classes branco e cores em subclasses, visando agregar o nome oficial e o nome conhecido popularmente. Uma modificação da definição de algumas subclasses (Tabela 1) foi realizada por Freire Filho (2011) e Freire Filho et al. (2012).

Tabela 1. Classificação do feijão-caupi quanto a cor e aspecto do tegumento do grão.

Classe[1]	Subclasse[2]	Característica dos grãos
a) Branco	Branco Liso	Tegumento branco e liso.
	Branco Rugoso	Tegumento branco e rugoso.
	Fradinho	Tegumento branco, rugoso com halo preto.
	Olho-marrom	Tegumento branco, podendo ser liso ou rugoso com halo marrom.
	Olho-vermelho	Tegumento branco, podendo ser liso ou rugoso com halo vermelho.
b) Preto	Preto-fosco	Tegumento preto, liso e fosco.
	Preto-brilhoso	Tegumento preto, liso e brilhoso.
c) Cores	Mulato Liso	Tegumento marrom e liso.
	Mulato Rugoso	Tegumento marrom e rugoso.
	Canapu	Tegumento marrom-claro, liso, comprimidos nas extremidades.
	Sempre-verde	Tegumento esverdeado-claro e liso.
	Verde	Tegumento e/ou cotilédones verdes.
	Manteiga	Tegumento creme-amarelado, liso ou levemente enrugado.
	Vinagre	Tegumento vermelho e liso.
	Azulão	Tegumento azulado e liso.
	Corujinha	Tegumento mosqueado cinza ou azulado e liso.
	Rajado	Tegumento de cor marrom, liso, com rajas longitudinais mais escuras.
d) Misturado		Produto com grãos de diferentes classes e subclasses.

Fonte: [1]Instrução Normativa Nº 12, de 28/03/2008 do MAPA (BRASIL, 2008); [2]Adaptado de Freire Filho (2011); Freire Filho et al. (2012).

As classes e subclasses comerciais dos grãos de feijão-caupi podem ser visualizadas nas Figura 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 16 e 17, segundo Freire Filho (2011).

Figura 1. Classe Branco, subclasse Branco Liso

Figura 2. Classe Branco, subclasse Branco Rugoso

Figura 3. Classe Branco, subclasse Fradinho

Figura 4. Classe Branco, subclasse Olho-marrom

Figura 5. Classe Branco, subclasse Olho-vermelho

Figura 6. Classe Preto, subclasse Preto-fosco

Figura 7. Classe Preto, subclasse Preto-brilhoso

Figura 8. Classe Cores, subclasse Mulato Liso

Figura 9. Classe Cores, subclasse Mulato Rugoso

Figura 10. Classe Cores, subclasse Canapu

Figura 11. Classe Cores, subclasse Sempre-verde

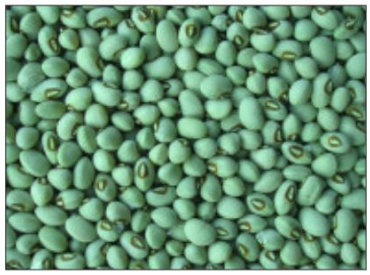

Figura 12. Classe Cores, subclasse Verde

Figura 13. Classe Cores, subclasse Manteiga

Figura 14. Classe Cores, subclasse Vinagre

Figura 15. Classe Cores, subclasse Azulão

Figura 16. Classe Cores, subclasse Corujinha

Figura 17. Classe Cores, subclasse Rajado

O desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi com características específicas, como cor e formato do grão, é importante para atender às preferências dos consumidores e nichos de mercado regionais e internacionais (BOUKAR et al., 2018). A crescente demanda por produtos diferenciados no mercado interno e externo tem impulsionado a produção de tipos especiais de grãos, como os das subclasses preto, manteiga, rajado e vinagre (LANGYINTUO et al., 2003). Além disso, em regiões como o Nordeste do Brasil, onde o feijão-caupi é tradicionalmente cultivado, há uma valorização crescente de variedades locais, incluindo esses tipos especiais, o que fortalece o mercado ao atender preferências culturais e culinárias específicas (FREIRE FILHO et al., 2005).

O mercado externo, especialmente os países africanos e asiáticos, têm interesse por tipos especiais de grãos de feijão-caupi, o que tem incentivado produtores brasileiros a investirem em variedades específicas que atendam a essas demandas. Esse mercado deve continuar crescendo, impulsionado por iniciativas de diversificação de culturas, aumento da demanda por alimentos diferenciados, e a expansão de mercados internacionais. O mercado para os tipos pertencentes às subclasses comerciais preto, manteiga, vinagre e rajado tem se mostrado dinâmico, com cada uma desses tipos atendendo a nichos específicos e demandas regionais tanto no Brasil quanto no exterior (FREIRE FILHO et al., 2005).

2.3 Melhoramento genético do feijão-caupi

O melhoramento genético do feijão-caupi teve início em 1925, quando Henrique Lobbe publicou um estudo pioneiro avaliando 12 cultivares dessa leguminosa (LOBBE, 1925). Desde então, os esforços na área têm se concentrado em aumentar a produtividade e a adaptabilidade das plantas a diferentes condições ambientais. Além disso, busca-se melhorar a estabilidade da produção diante de estresses bióticos e abióticos e desenvolver cultivares com características nutricionais superiores, como maior teor de proteína, ferro, zinco e fibras. Esses avanços visam atender às demandas por alimentos mais nutritivos e resilientes, contribuindo para a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola. O melhoramento da qualidade visual e culinária do grão também é um objetivo para atender a demanda dos consumidores e facilitar a difusão de cultivares melhorados (FREIRE FILHO, 2011).

Recentemente, o melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil tem se voltado para o desenvolvimento de cultivares para atender a novos nichos de mercado, com a introdução de novos tipos comerciais, visando a diversificação de mercado e consumo, além dos tipos tradicionais das classes comerciais branco (branco liso, branco rugoso e fradinho) e cores (sempre-verde, mulato e canapu), que têm dominado o mercado nacional. Um exemplo são os lançamentos das primeiras cultivares de feijão-caupi de grãos verdes (BRS Aracê, BRS Juruá e BRS Verdejante), pretos (BRS Tapaihum e BRS Guirá) e grãos beges/manteiga (BRS Natalina).

As cultivares de feijão-caupi de grão vermelho (subclasse vinagre) são muito antigas e não há mais produção de sementes; no entanto, há uma demanda por grãos dessa subclasse por países como Guiana e China. Ainda não existem cultivares registradas no Brasil para a subclasse rajado, um tipo de grão com grande potencial de aceitação no mercado nacional, semelhante à popularidade do tipo carioca de *P. vulgaris*. Essa lacuna reflete a necessidade de investimentos no desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi adaptadas para atender às demandas emergentes de novos nichos de mercado, que buscam diversificação e produtos diferenciados.

O feijão-caupi é uma espécie autógama, com reprodução preferencialmente por autofecundação, devido a ocorrência de cleistogamia, (abertura da flor após a autopolinização), no entanto, ocorre uma pequena taxa de cruzamento natural (<1%) praticada principalmente por algumas espécies de insetos (FREIRE FILHO et al., 2005). No Brasil, o inseto que é responsável pela maior parte dos cruzamentos é a mamangava, uma espécie de abelha do gênero *Bombus* spp. Essa taxa de cruzamento aparentemente baixa, requer cuidados na produção de sementes e manutenção da pureza da cultivares (FREIRE FILHO et al., 2007).

De acordo com Freire Filho, Lima e Ribeiro (2007), entre 1925 e 1963 ocorreram as primeiras introduções de materiais genéticos de feijão-caupi no Brasil, que formaram a base dos programas de melhoramento genético. Na segunda fase, entre 1963 e 1973, ocorreram as primeiras coletas de germoplasma de feijão-caupi no Brasil e a introdução de materiais genéticos de outros países, resultando na liberação das primeiras cultivares melhoradas, como BR 1, BR 2, BR 3 (Pitiúba) e BR 4 (Sempre Verde). Essas cultivares foram desenvolvidas com o objetivo de aumentar a produtividade, a adaptabilidade a diferentes condições ambientais e a qualidade dos grãos, marcando o início de uma

integração regional nas pesquisas relacionadas ao melhoramento dessa cultura genética (FREIRE FILHO et al., 2007).

Na terceira fase (1973 a 1991), foi criado o Programa Nacional de Feijão, que incluía o feijão comum e o feijão-caupi com os programas de melhoramento das duas culturas, sendo coordenados pela Embrapa Arroz e Feijão (CNPAF), em Goiás. Nesta fase consolidou-se a rede nacional de pesquisa de feijão-caupi, a qual incluiu algumas unidades da Embrapa, empresas e institutos estaduais de pesquisa e universidades, com avanços no melhoramento da produtividade e resistência a doenças causadas por vírus. Destacaram-se os lançamentos das cultivares CE-315, BR 14-Mulato, BR 3-Tracuateu e BR 2-Bragança; no final desse período, o programa de melhoramento de feijão-caupi foi desestruturado e transferido para a Embrapa Meio-Norte, em Teresina/PI (FREIRE FILHO et al., 2007).

Na quarta fase (1992 a 2010), a coordenação do programa de melhoramento de feijão-caupi passou para a Embrapa Meio-Norte, que reorganizou a rede de pesquisa nas regiões Nordeste e Norte. Os objetivos do melhoramento ampliaram-se, voltando-se também para o melhoramento da arquitetura da planta, da qualidade de grão e da adaptação a condições de cerrado; o programa passou a lançar cultivares com maior abrangência de recomendação, possibilitando integrar, ampliar e dar mais competitividade ao mercado de sementes das cultivares melhoradas. Nesta fase foram lanças as primeiras cultivares de portes semiereto (BRS Guariba, BRS Novaera) e ereto (BRS Itaim), as primeiras cultivares biofortificadas (BRS Xiquexique, BRS Tumucumaque e BRS Aracê), além de outras cultivares da classe cores, subclasses sempre-verde (BR 17-Gurguéia, BRS Marataoã) e mulato (Patativa, BRS Pajeú) (FREIRE FILHO et al., 2007).

A quinta fase (2010-Atual) caracteriza-se pela continuidade de ampliação da rede de melhoramento, com a inclusão de mais unidades da Embrapa, muitas universidades e institutos federais de pesquisa. O programa passou a atuar em quatro regiões (Nordeste, Norte, Centro-Oeste e Sudeste), com ampliação também dos objetivos, voltando-se também o melhoramento para tolerância e estresses abióticos (seca, calor, herbicida, baixo fósforo), biofortificação, qualidade comercial do grão, forragem animal e maior integração do melhoramento com o manejo da cultura etc. Nesta fase foi lançada a cultivar BRS Imponente de grão extra-grande. Desde a introdução do feijão-caupi no País até 2023 foram lançadas e recomendadas 77 cultivares melhoradas (FREIRE FILHO et al.,

2007). Segundo Freire Filho (2011), esse número ainda é considerado pequeno, quando comparado ao de outras culturas anuais cultivadas no País.

Segundo Boukar et al. (2016), o melhoramento genético do feijão-caupi é direcionado para aumentar a tolerância à seca e ao calor, além de atender às necessidades dos agricultores em diversas regiões agroecológicas. Além disso, os mesmos autores mencionam a importância de desenvolver variedades que possam ser empregadas tanto por pequenos agricultores familiares quanto por operações comerciais maiores, visando um foco em toda a cadeia produtiva, incluindo a possibilidade de expansão para mercados de exportação. Desde 1973, quando a Embrapa iniciou os trabalhos de melhoramento genético do feijão-caupi, foram lançadas até o ano de 2011, 71 cultivares de feijão-caupi (FREIRE FILHO et al., 2011).

2.4 Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi

As estimativas de parâmetros genéticos, tais como a herdabilidade (h^2), o coeficiente de variação genética (CV_g), o coeficiente b (CVg/CVe), a acurácia seletiva (Ac_s) e a correlação (r) entre os caracteres permitem fazer inferências sobre a variabilidade genética que uma determinada população apresenta e o que pode se esperar de ganho com a seleção. Elas são usadas pelo melhorista para definir as melhores estratégias de seleção e a obtenção de genótipos superiores (CORREA et al., 2003).

2.4.1 Coeficiente de variação genético (CV_g)

Por meio do estudo de parâmetros genéticos (variâncias fenotípicas, genotípicas e ambientais, coeficientes de variação fenotípica, genotípica e ambiental, herdabilidade, ganho genético) é possível conhecer a variabilidade genética, o grau de expressão de um caráter de uma geração para outra e a possibilidade de ganhos por meio da seleção direta ou indireta (ROCHA et al., 2003; MEIRA et al., 2017). Esses parâmetros podem ser estimados tanto em gerações iniciais, como em populações segregantes, quanto em gerações finais, durante a seleção de linhagens em programas de melhoramento (RAMALHO; BRUZI; TEIXEIRA, 2017).

O feijão-caupi apresenta ampla variabilidade genética para praticamente todos os caracteres de interesse agronômico, o que possibilita avanços no seu melhoramento. Essa

diversidade genética oferece uma base sólida para a seleção e desenvolvimento de genótipos com características desejáveis, contribuindo para a produtividade e adaptação da cultura a diferentes condições ambientais. As estimativas de CVg observadas e feijão-caupi para o caráter produtividade de grãos geralmente têm sido as mais altas (acima de 20%), quando comparadas com as obtidas para os demais caracteres. Os caracteres comprimento de vagem, número de grãos por vagem e peso de 100 grãos têm apresentado estimativas intermediárias (10 a 20%). As menores estimativas de CVg (< 10%) têm sido apresentadas pelos caracteres número de dias para floração e número de dias para maturação, evidenciando que os ganhos com seleção serão mais difíceis (LOPES et al., 2001; SANTOS et al., 2004; OMOIGUI et al., 2006; MACHADO et al., 2008; MATOS FILHO et al., 2009; BENVINDO et al., 2010; ANDRADE et al., 2010; CORREA et al., 2012).

2.4.2 Coeficiente de herdabilidade (h^2)

A porção herdável da variabilidade total é designada de herdabilidade (h^2), que também pode ser conceituado como a proporção da variância genética presente na variância fenotípica total. Portanto, ele estima a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo (BORÉM, 2011; RAMALHO et al., 2012). É um indicador chave de quanto da variação fenotípica nos caracteres do feijão-caupi pode ser atribuída a diferenças genéticas. A herdabilidade pode ser classificada como herdabilidade no sentido amplo (h_a^2), que é a razão da variância genotípica pela variância fenotípica e herdabilidade no sentido restrito (h_r^2), que é a razão da variância aditiva pela variância fenotípica (CRUZ et al., 2006).

Estimativas altas de h^2 dos componentes de rendimento sugerem que esses caracteres são controlados principalmente por fatores genéticos, tornando-as confiáveis para a seleção (AKINWALE et al., 2011). Gibely (2021), corroborando com essa firmação, relata que os caracteres com alta h^2 são mais propensos a responder positivamente à seleção, facilitando assim estratégias de melhoramento de forma eficaz.

Andrade et al. (2010), em um estudo sobre estimativas de parâmetros genéticos em feijão-verde, mostrou altas estimativas de h^2 para todos os caracteres avaliados, notadamente para o peso de 100 grãos (94,80%), o número de dias para a maturação (95,61%), número de grãos por vagem (96,98%) e comprimento de vagem (98,72%).

Correa et al. (2012) também observaram altas estimativas de h^2 (acima de 75%), ao avaliarem um grupo de genótipos de feijão-caupi, com a estimativa mais alta para o caráter produtividade de grãos (94,41%) e menor estimativa para o caráter P100G (71,33%).

2.4.3 Correlações entre caracteres

O aproveitamento rápido e eficiente da variabilidade genética é essencial, e os estudos sobre correlações constituem um dos caminhos para se ganhar tempo e reduzir esforços (CRUZ, 2005). Quando se explora a variabilidade por meio da seleção sobre determinado caráter, outros caracteres podem ser simultaneamente alterados, devido à correlação genética entre os caracteres (SANTOS; VENCOVSKY, 1986).

As correlações diretamente observadas são fenotípicas, sendo necessário distinguir suas duas causas a genética e a ambiental. As correlações genéticas são devidas, principalmente, ao pleiotropismo e as ligações gênicas em situações de desequilíbrios. O pleiotropismo é fenômeno pelo qual um gene afeta simultaneamente dois ou mais caracteres. A ligação gênica se refere à ligação física de genes que estão no mesmo cromossomo e que afetam diferentes caracteres. O desequilíbrio de ligação gênica é causa transitório e poderá ser alterado em gerações avançadas por quebra nos conjuntos gênicos pelas permutas (CRUZ, 2005).

Os estudos de correlações entre caracteres em feijão-caupi têm evidenciado Correlações positivas entre a produtividade de grãos e seus componentes primários como comprimento de vagem, número de grãos por vagem, número de vagens por planta e peso de 100 grãos. As estimativas de correlações entre a produtividade de grãos e os caracteres número de dias para a floração e maturação têm mostrado resultados diferentes, com alguns estudos mostrando correlação positiva e outros negativas, o que indica que as estimativas de correlações não são imutáveis e dependem da população e das condições ambientais à qual é submetida. Em todos os trabalhos, a correlação entre o número de dias para o início da floração e o número de dias para a maturação foi positiva, alta e significativa (CORREA et al., 2012, 2015; PESSOA et al., 2023).

2.5 Uso de índices de seleção no melhoramento de feijão-caupi

O índice de seleção permite o estabelecimento de um caráter adicional para selecionar simultaneamente vários atributos de interesse por meio da combinação linear de vários caracteres (CRUZ, 2013). A literatura menciona vários métodos de índices de seleção que diferem quanto a suas características e adequação aos objetivos dos melhoristas. Os índices mais utilizados para a seleção simultânea de caracteres no melhoramento de feijão-caupi são os de Smith (1936) e Hazel (1943); Williams (1962); Pesek e Baker (1969); Mulamba e Mock (1978), como verificado nos estudos de Bertini et al. (2010), Oliveira et al. (2017) e Pessoa et al. (2023).

O índice de seleção clássico propósito por Smith (1936) e Hazel (1943) consiste numa combinação linear dos vários caracteres de importância econômica, cujos coeficientes de ponderação são estimados de modo a maximizar a correlação entre o índice e o agregado genotípico. Esse agregado é estabelecido por uma outra combinação linear, envolvendo os valores genéticos, os quais são ponderados pelos respectivos valores econômicos. A obtenção de índices fidedignos é dependente da disponibilidade de matrizes de variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas bem estimadas e de pesos econômicos relativos aos vários caracteres bem estabelecidos.

O índice de Williams (1962) é baseado na combinação linear dos valores fenotípicos médios dos caracteres, os quais são ponderados diretamente pelos seus respectivos pesos econômicos, evitando desta forma a interferência das imprecisões das matrizes de variâncias e covariâncias. Esse índice foi adotado por Pessoa et al. (2023) na seleção simultânea de caracteres em feijão-caupi.

Os índices de seleção com base nos ganhos desejados de Pesek e Baker (1969) e o índice de distância genótipo-ideótipo de Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) também têm sido utilizados no melhoramento simultânea de caracteres em feijão-caupi (BARROSO NETO et al., 2017; ALVINO et al., 2023; PESSOA et al., 2023).

O índice de soma de postos ou *ranks*, proposto por Mulamba e Mock (1978) baseia-se em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. Uma vez classificados, são somadas as ordens de cada material genético referente a cada caráter, resultando uma medida adicional tomada como índice de seleção. Esse índice caracteriza-se por eliminar a necessidade de estabelecer pesos econômicos e estimar variâncias e covariâncias. Neste caso, o índice é não-

paramétricos. Esse índice tem sido o mais adotado em feijão-caupi (RODRIGUES et al., 2017; SILVA et al., 2018; ARAGÃO et al., 2022; ALVINO et al., 2023; LOPES et al., 2023; PESSOA et al., 2023; SANTANA et al., 2023).

No contexto da seleção de múltiplos caracteres, índices lineares podem ser usados. Uma fragilidade dos índices de seleção linear é a colinearidade frequentemente observada no conjunto de caracteres avaliados, o que pode enviesar os coeficientes de regressão múltipla e, assim, diminuir os ganhos de seleção (OLIVOTO; NARDINO, 2021). Para superar as adversidades encontradas nos índices tradicionais, Olivoto e Nardino (2021) desenvolveram um novo índice de seleção baseado em análise fatorial, conhecido como índice de distância genótipo-ideótipo multicaráter (MGIDI). O índice MGIDI foi originalmente desenvolvido para selecionar genótipos no melhoramento de plantas com base em informações sobre múltiplos caracteres e tem sido usado com sucesso para essa finalidade (OLIVOTO et al., 2022).

Segundo Debnath et al. (2024), o índice MGIDI é uma técnica forte e adaptável para escolher genótipos superiores de diversas culturas com base em vários atributos. É um indicador de seleção multivariada que incorpora diferentes informações características em um único valor e classifica os genótipos com base em sua distância de um genótipo ideal. Os melhoristas podem usar critérios de seleção variáveis, incluindo características de ponderação e avaliação de pontos fortes e fracos genéticos. Ele organiza atributos em componentes e escolhe genótipos ideais com base em muitas características usando análise de componentes principais e fatoriais.

Sá (2024) utilizou pela primeira vez essa técnica em feijão-caupi em um estudo envolvendo 28 genótipos, nove caracteres agronômicos, três nutricionais e um tecnológico e selecionou de forma eficiente linhagens superiores para esses multicaracteres adaptadas a ambientes do semiárido do Piauí.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Foram avaliados 27 genótipos de feijão-caupi, sendo 16 pertencentes à classe comercial Preto, subclasses Preto Fosco e Preto Brilhante (Tabela 2), e 11 da classe comercial Cores, subclasses Manteiga, Vinagre e Rajado (Tabela 3), do banco de germoplasma de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, em Teresina PI.

Tabela 2. Genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto avaliados.

Nº do Tratamento	Nome/Código	Subclasse comercial
1	MNC08-937C-6-1	Preto opaco
2	MNC09-981B-1	Preto levemente brilhante
3	MNC09-981B-3	Preto levemente brilhante
4	MNC09-981B-6	Preto levemente brilhante
5	MNC09-981B-9	Preto levemente brilhante
6	MNC09-988B-3	Preto opaco
7	MNC09-988-1B-3-20	Preto opaco
8	MNC09-988B-20	Preto opaco
9	MNC10-982B-3-7	Preto levemente brilhante
10	MNC10-982B-11-1	Preto levemente brilhante
11	MNC10-998B-8-1	Preto levemente brilhante
12	MNC10-998B-20-3	Preto levemente brilhante
13	Pretinho-PA	Preto brilhante
14	Pretinho-The	Preto brilhante
15	BRS Tapahium	Preto brilhante
16	BRS Guirá	Preto levemente brilhante

Tabela 3. Genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses Vinagre, Manteiga e Rajado, avaliados.

Nº do Tratamento	Nome/Código	Subclasse comercial
1	IT82D-889	Vinagre
2	IT97KD-1042-3	Vinagre
3	BRA-005380	Vinagre
4	MNC11-1013E-15	Rajado
5	MNC11-1019E-40	Rajado
6	MNC11-1034E-2	Rajado
7	MNC11-1019E-46	Rajado
8	BRA-002411	Manteiga
9	BR 2-Bragança	Manteiga
10	BRA-086657	Vinagre
11	BRA-012807	Manteiga

3.2 Caracterização experimental

Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina/PI (latitude: 5°02'17"S, longitude: 42°47'54"W, altitude: 74 m). A textura do solo varia de franco-argilo-arenoso a argiloso, com pH em H_2O de 5,14 a 6,89. A temperatura média anual na região é de aproximadamente 27,2°C, com variações sazonais que influenciam as condições de cultivo. Um panorama geral dos experimentos é mostrado na Figura 18.

Figura 18. Panorama geral dos ensaios de genótipos de feijão-caupi das classes comerciais preto e cores, em diferentes fases do ciclo da cultura. Teresina, PI, 2023/2024.

Os ensaios foram conduzidos em delineamento experimental de blocos completos ao acaso, com três repetições. A unidade experimental (parcela) teve a dimensão de 10 m² (2 m x 5 m), composta por quatro fileiras, e a área útil de 5 m² (1,0 m x 5 m), composta pelas duas fileiras centrais, na qual foram coletados os dados. O espaçamento entre fileiras foi de 0,50 m, com estande final de 40 plantas/fileira.

3.3 Implantação e condução dos ensaios

A semeadura dos ensaios foi realizada utilizando-se 12 sementes por metro linear. Realizou-se um desbaste aos 15 dias após a semeadura, deixando-se 8 plantas/metro. Foram executadas capinas manuais aos 20 e 35 dias após a semeadura, respectivamente. O controle de insetos pragas e doenças foi realizado com o emprego de defensivos agrícolas, quando necessário, dando preferência aos biológicos, de acordo com as

recomendações da cultura, visando a estabilização do estande de plantas. O experimento foi conduzido sob condições de irrigação por aspersão. Não houve a ocorrência de chuvas durante o período de execução do experimento. A colheita foi realizada de forma manual em torno de 70 a 75 dias após o plantio (22/01/2024).

3.4 Caracteres avaliados

Foram avaliados os seguintes caracteres:

- Número de dias para o início da Floração (NDIF): número de dias do plantio até que 50% das plantas na área útil da parcela apresentem flores, em dias.
- Número de grãos por vagem (NGV): média do número de grãos obtidos a partir de cinco vagens tomadas ao acaso na área útil da parcela, em unidade.
- Peso de 100 grãos (P100G): peso médio de 100 grãos obtidos de cinco vagens tomadas ao acaso na área útil da parcela, em gramas.
- Índice de grãos (IG): razão entre o peso de grãos e o peso de vagens, obtido a partir de cinco vagens tomadas ao acaso na área útil da parcela, em %.
- Produtividade de grãos (PROD): produtividade de grãos na área útil da parcela (m^2), em g m^{-2} e extrapolada para kg ha^{-1}.

3.5 Análises estatísticas

Primeiramente foi realizada uma análise de resíduos dos dados fenotípicos obtidos nos experimentos visando-se verificar a presença de dados discrepantes e a substituição por seus respectivos valores fenotípicos preditos, bem como estimar os dados de parcelas perdidas, com auxílio do programa computacional SAS® Analytics (SAS INSTITUTE, 2018). As estimativas dos componentes de variância, valores genéticos e parâmetros genéticos foram obtidas por meio do método da máxima verossimilhança restrita e do melhor preditor não viesado (REML/BLUP), que consiste no seguinte estimador:

$$Y = Xr + Zg + e$$

em que:

Y = é o vetor dos dados;

r = é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados a média geral;

g = é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios);

e = é o vetor de erros ou resíduos (assumidos como aleatórios);
X e Z = representam as matrizes de incidência para os efeitos mencionados.

Os componentes de variância estimados via REML, foram posteriormente utilizados para estimar os seguintes parâmetros genéticos: variância fenotípica (σ_f^2), variância ambiental (σ_e^2); variância genotípica (σ_g^2); herdabilidade no sentido amplo ($h^2 = \sigma_g^2/\sigma_f^2$); coeficiente de variação genético ($CV_g = 100(\frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{m})$, onde σ_g^2 é a variância genotípica e *m* é a média geral do caráter; coeficiente de variação experimental ($CV_e = 100(\frac{\sqrt{QMe}}{m})$, onde *QMe* é o quadra médio do erro ou resíduo; Quociente ($b = CV_g/CV_e$); e acurácia seletiva de genótipos ($Ac_s = [\frac{1}{1} + \frac{\sigma_{e/r}^2}{\sigma_g^2}]^{0.5}$), onde *r* é o número de blocos, σ_e^2 é a variância residual e σ_g^2 é a variância genotípica.

Adotou-se o teste de razão da Verossimilhança (LRT), com a finalidade de avaliar a significância entre os efeitos aleatórios do modelo linear misto, disposto por meio da diferença entre as variantes para o modelo com o efeito e sem o efeito a serem testados, onde a significância foi comparada com o teste do Qui-quadrado (X^2), com 1 grau de liberdade.

Os valores genéticos foram estimados via BLUPs gerados para cada genótipo e caráter avaliado. A partir dos valores genéticos foram estimadas as correlações genéticas, utilizando-se a equação abaixo proposta por Falconer (1987) e Ramalho, Santos e Zimmerman (1993).

Correlação genotípica: $r_{g\,(xy)} = \frac{COV_{g(xy)}}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 \sigma_{gy}^2}}$,

em que:
$r_{(xy)}$ é a correlação genética entre os caracteres X e Y;
$COV_{g(xy)}$ é a covariância genética entre os caracteres X e Y;
σ_{gx}^2 *e* σ_{gy}^2 são as variâncias genéticas dos caracteres X e Y, respectivamente.

Os genótipos superiores dentro de cada subclasse comercial (Preto e Cores) foram selecionados com base em todos os caracteres avaliados, simultaneamente. Para tal, adotou-se o índice de seleção de distância genótipo-ideótipo multicaráter (MGIDI) proposto por Olivoto e Nardino (2021). Para o cálculo do índice MGIDI, primeiramente

deve-se conhecer o genótipo ideal e, em seguida, reescalonar os caracteres para que todos fiquem no intervalo de 0 a 100, conforme a seguinte equação:

$$rX_{ij} = \frac{\eta_{nj} - \varphi_{nj}}{\eta_{oj} - \varphi_{oj}} x\left(\theta_{ij} - \eta_{oj}\right) + \eta_{nj}$$

onde,

η_{nj} e φ_{nj}: são os novos valores máximo e mínimo para o j-ésimo caráter após o reescalonamento, respectivamente;

η_{oj} e φ_{oj}: são os valores originais máximo e mínimo para o j-ésimo caráter, respectivamente;

θ_{ij}: é o valor original para o j-ésimo caráter do i-ésimo genótipo.

Para o caráter NDIF, o qual é desejado valores mais baixos, é assumido $\eta_{nj} = 0$ e $\varphi_{nj} = 100$. Para os demais caracteres (COMPV, NGV, IG, P100G e PROD), para os quais são desejados valores maiores, considera-se $\eta_{nj} = 100$ e $\varphi_{nj} = 0$. Assim, o genótipo ideal seria aquele com 100 para todas os caracteres após o reescalonamento.

Na etapa seguinte, realizou-se uma análise fatorial exploratória com rX_{ij} para agrupar os caracteres relacionados e reduzir a dimensionalidade dos dados, gerando cargas fatoriais para cada genótipo através da seguinte equação:

$$X = \mu + Lf + \varepsilon$$

onde,

X: é um vetor $p \times 1$ de observações redimensionadas;

μ: é um vetor $p \times 1$ de médias padronizadas;

L: é uma matriz p × f de cargas fatoriais;

f: é um vetor $p \times 1$ de fatores comuns;

ε: é um vetor $p \times 1$ de resíduos, onde p e f são o número de caracteres e fatores comuns retidos, respectivamente.

Os autovalores e autovetores foram obtidos a partir da matriz de correlação genética da tabela de dupla-entrada rX_{ij}. Somente aqueles com autovalores maiores que um são retidos. Os escores foram obtidos pela equação:

$$F = Z(A^T R^{-1})^T$$

onde,

F: é uma matriz $g \times f$ com os escores fatoriais;

Z: é uma matriz $g \times p$ com médias padronizadas (reescalonadas);

A: é uma matriz p × f de cargas canônicas;

R: é uma matriz de correlação *p* × *p* entre caracteres;

g, *f* e *p*: representam o número de genótipos, fatores retidos e caracteres analisados, respectivamente.

Em seguida, estimou-se a distância euclidiana entre os escores genotípicos e os genótipos ideais, sendo calculada como o índice MGIDI, através da equação abaixo:

$$MGIDI_i=[\sum_{j=1}^{f}(Y_{ij}-Y_j)^2]^{0.5}$$

onde,

γ_{ij}: é o *p* escore do i-ésimo genótipo no j-ésimo fator (i = 1, 2, ..., g; j = 1, 2, ..., f), onde *g* e *f* são o número de genótipos e fatores, respectivamente;

γ_j: é o j-ésimo escore do ideótipo.

O genótipo que apresenta menor estimativa de MGIDI está mais próximo do ideótipo, apresentando valores desejados para todas os caracteres avaliados. O diferencial de seleção para todos os caracteres foi calculado considerando uma intensidade de seleção de 30% e foram considerados os seguintes pesos econômicos para os caracteres avaliados: NDIF (0,7), COMPV (0,6), NGV (0,6), P100G (0,7) e PROD (1,0).

A proporção do índice MGIDI do i-ésimo genótipo explicado pelo j-ésimo fator (ω_{ij}) foi utilizada para mostrar os pontos fortes e fracos dos genótipos, calculada pela equação abaixo:

$$\omega_i=\frac{\sqrt{D_{ij}^2}}{\sum_{j=1}^{f}\sqrt{D_{ij}^2}}$$

onde,

D_{ij}: é a distância entre o i-ésimo genótipo e o ideótipo para o j-ésimo fator.

As análises adotando modelos lineares mistos (deviance, estimativas dos componentes de variância, valores genéticos, parâmetros genéticos, correlação genética entre caracteres e o índice de seleção MGIDI) foram realizadas por meio do programa R v. 4.3.3 (R Core Team, 2024).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de deviance

Os resumos das análises de deviance para todos os caracteres avaliados nos genótipos da classe comercial preto são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resumos das análises de deviance para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidos a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023.

Caráter	Efeito	LTR	Pr ($> \chi^2$)
NDIF (dia)	Genótipo	21,30	$3,94e^{-6}$
COMPV (cm)	Genótipo	17,30	$3,24e^{-5}$
NGV (unid.)	Genótipo	22,30	$2,34e^{-6}$
P100G (g)	Genótipo	49,00	$2,54e^{-12}$
IG (%)	Genótipo	37,30	$1,00e^{-9}$
PROD (kg ha^{-1})	Genótipo	80,40	$2,99e^{-19}$

Observou-se diferenças significativas ($p<0,001$) para o efeito de genótipos, indicando a existência de variabilidade entre genótipos para todos os caracteres avaliados e a possibilidade de ganhos com a seleção. Esses resultados concordam, em parte, com os observados por Aragão et al. (2022), que ao avaliarem esses caracteres em genótipos de feijão-caupi de inflorescência composta, observaram variabilidade genética para todos os caracteres, exceto para o NDIF. Esses resultados concordam com os encontrados por Lopes et al. (2023), que também observaram variabilidade para todos os caracteres em genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses canapu e sempre-verde, no semiárido piauiense.

Os resumos das análises de deviance para os caracteres avaliados no ensaio de genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado, são mostrados na Tabela 5. Observou-se diferenças significativas ($p<0,001$) para o efeito de genótipos, indicando a existência de variabilidade genética entre genótipos para todos os caracteres avaliados e a possibilidade de ganhos com a seleção.

Tabela 5. Resumos das análises de deviance para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidos a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Caráter	Efeito	LRT[1]	Pr (> χ^2)
NDIF (dia)	Genótipo	10,94	$9{,}39e^{-4}$
COMPV (cm)	Genótipo	43,56	$4{,}10e^{-11}$
NGV (unid.)	Genótipo	29,73	$4{,}97e^{-8}$
P100G (g)	Genótipo	63,92	$1{,}29e^{-15}$
IG (%)	Genótipo	42,32	$7{,}75e^{-11}$
PROD (kg ha^{-1})	Genótipo	42,24	$8{,}07e^{-11}$

[1]LRT: Teste de razão de verossimilhança; χ^2: Qui-quadrado.

Esses resultados concordam, em parte, com os observados por Aragão et al. (2022), que ao avaliarem esses caracteres em genótipos de feijão-caupi de inflorescência composta, observaram variabilidade genética para todos os caracteres, exceto para o NDIF.

4.2 Estimativas de parâmetros genéticos

As estimativas de parâmetros genéticos para todos os caracteres avaliados nos genótipos da classe comercial preto são apresentadas na Tabela 6. As altas magnitudes das estimativas de variância genética e herdabilidade sugerem que a variância genética é o principal componente na expressão do fenótipo, indicando que a seleção será bastante eficaz no melhoramento desses caracteres, notadamente para P100G, IG e PROD, onde as estimativas de o CV_g foram mais altas, traduzindo em maior variabilidade genética para esses caracteres.

As altas estimativas de acurácia seletiva mostram que as estimativas de médias estão próximas do real, evidenciando alta confiabilidade de seleção. A razão CV_g/CV_e > 1 indica situação favorável para a prática da seleção no melhoramento dos caracteres avaliados.

Tabela 6. Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Parâmetro genético	NDIF (dia)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PROD (kg ha^{-1})
σ_f^2	1,72	0,77	1,49	9,57	39,60	178.174,00
σ_g^2	1,17	0,48	1,03	8,45	32,60	171.036,00
σ_e^2	0,55	0,29	0,46	1,12	7,02	7.138,00
σ_g^2(%)	68,00	62,50	69,20	88,30	82,30	96,00
σ_e^2 (%)	32,00	37,50	30,80	11,70	17,70	4,01
h^2_{mg}	0,86	0,83	0,87	0,90	0,89	0,94
Ac_s	0,93	0,91	0,93	0,94	0,92	0,95
CV_g	2,98	3,74	7,53	17,2	7,74	53,60
CV_e	2,04	2,90	5,02	6,26	3,59	10,90
CV_g/CV_e	1,46	1,29	1,50	2,74	2,15	2,89

Essas estimativas são maiores do que as observadas nos trabalhos de Rocha et al. (2017a, b), Aragão et al. (2022) e Lopes et al. (2023), ao avaliarem genótipos de feijão-caupi, também adotando análises segundo modelos mistos.

As estimativas de parâmetros genéticos para todos os caracteres avaliados nos genótipos da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado, são apresentadas na Tabela 7. Os resultados corroboram com os verificados por Lopes et al. (2023), ao observarem variabilidade para todos esses caracteres em genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses canapu e sempre-verde, no semiárido piauiense.

Assim como as estimativas obtidas no ensaio de genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, no ensaio de genótipos de classe comercial cores foram obtidas altas magnitudes das estimativas de variância genética e herdabilidade, sugerindo que a variância genética é a principal componente na expressão do fenótipo, sendo um indicativo que a seleção será bastante eficaz no melhoramento desses caracteres, notadamente para P100G, IG e PROD, onde as estimativas de CV_g para esses caracteres foram mais altas, indicando maior variabilidade genética para esses caracteres.

Tabela 7. Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Parâmetro genético	NDIF (dia)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PROD (kg ha^{-1})
σ_f^2	0,70	11,1	2,54	29,79	87,20	141.861,00
σ_g^2	0,43	10,3	2,19	29,08	81,00	131.706,00
σ_e^2	0,27	0,74	0,348	0,71	6,22	10.155,00
σ_g^2(%)	61,20	93,30	86,30	97,62	92,90	92,8
σ_e^2 (%)	38,80	6,69	13,70	2,38	7,13	7,16
h^2_{mg}	0,86	0,93	0,98	0,83	0,87	0,95
Ac_s	0,92	0,91	0,93	0,97	0,96	0,99
CV_g	1,81	17,00	13,10	26,00	10,80	55,80
CV_e	1,44	4,55	5,21	4,36	3,00	15,50
CV_g/CV_e	1,26	3,73	2,51	5,96	3,61	3,60

As altas estimativas de acurácia seletiva (Ac_s) mostram que as estimativas de médias se aproximam do valor real, evidenciando alta confiabilidade na seleção de genótipos superiores. A razão $CV_g/CV_e > 1$ para todos os caracteres indica situação favorável para a prática da seleção no melhoramento desses caracteres, principalmente para os caracteres P100G, IG e PROD.

4.3 Seleção com base nos valores genéticos preditos (BLUPs)

As estimativas de valores genéticos (BLUPs) para todos os caracteres avaliados nos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são apresentadas nas Figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30.

O caráter NDIF na classe comercial preto, apresentou variação de 33 a 39 dias e uma média geral de 36,27 dias (Figura 19). Essa média é menor que a observada por Lopes et al. (2023), que verificaram média geral de 40,62 dias, ao avaliarem genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores no semiárido piauiense; no entanto, maior que a média geral encontrada por Aragão et al. (2022), que foi de 31,51, ao avaliarem genótipos de feijão-caupi de inflorescência composta.

Do total de genótipos da classe comercial preto avaliados, 50% tiveram médias abaixo da média geral (36,27 dias), constituindo-se em genótipos superiores em

precocidade, quais são: 15 (BRS Tapanhium), 9 (MNC10-982B-3 -7), 10 (MNC10-982B-11-1), 3 (MNC09-981B-3), 11 (MNC10-998B-8-1), 2 (MNC09-981B-1), 6 (MNC09-988B-3) e 13 (Pretinho-PA).

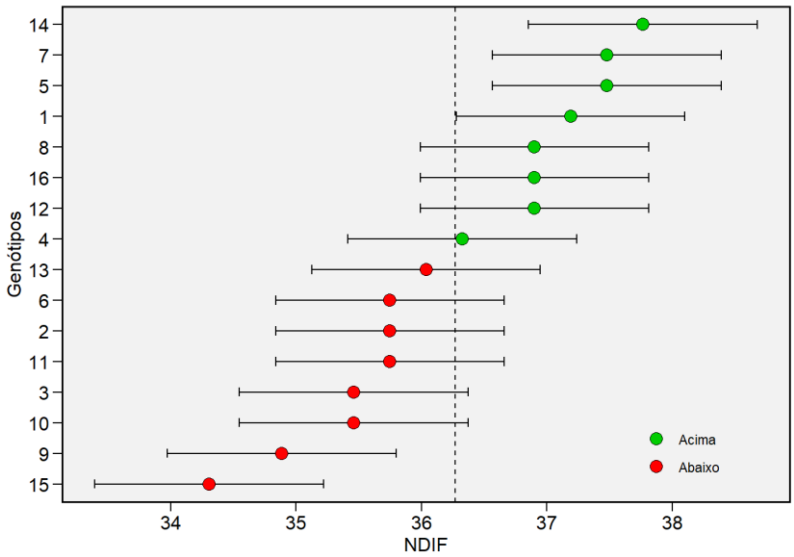

Figura 19. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de dias para o início da floração (NDIF) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Dentre estes, o genótipo 15 (BRS Tapanhium) destacou-se como o que apresentou o menor NDIF, reforçando sua superioridade em precocidade, enquanto o genótipo 14 (Pretinho-THE) apresentou o maior valor para NDIF, sendo o mais tardio para início da floração.

Do total de genótipos da classe comercial cores avaliadas, 45,45% tiveram médias do NDIF abaixo da média geral (36,30 dias) (Figura 20), constituindo-se em genótipos superiores em precocidade, sendo: 1 (IT82D-889), 3 (BRA- 005380), 4 (MNC-1013E-15), 7 (MNC11-1026E-19) e 9 (BR 2-Bragança), dois da subclasse Vinagre, dois da subclasse Rajado e um da subclasse Manteiga. Por outro lado, os genótipos que apresentaram os maiores NDIF foram: 5 (MNC11-1019E-15), 2 (IT97KD-1042-3) e 10 (BRA-086657), os mais tardios, relativamente aos demais. Observou-se uma variação em NDIF de 35 a 38 dias. A média geral (36,30 dias) observado no presente trabalho é menor que a verificada por Lopes et al. (2023), que verificaram média geral de 40,62 dias, ao avaliarem genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores no semiárido piauiense; no entanto, maior que a média geral encontrada por Aragão et al. (2022), que foi de 31,51, ao avaliarem genótipos de feijão-caupi de inflorescência composta.

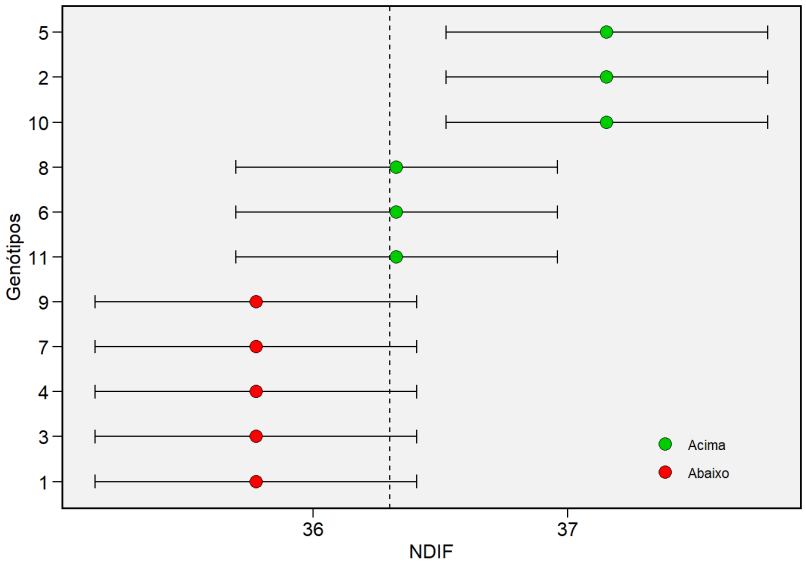

Figura 20. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de dias para o início da floração (NDIF) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

A literatura tem constatado uma correlação positiva alta e significativa entre os caracteres NDIF e o número de dias para a maturação (CORREA et al., 2012; SANTOS et al., 2014). Isso indica que o melhorista pode selecionar de forma indireta genótipos superiores em precocidade de maturação via o NDIF. A maturação precoce é uma característica importante em zonas agroecológicas com estações de cultivo curtas para evitar condições de estresse e fornecer benefícios à cultura. Um ciclo de cultivo mais curto pode evitar secas terminais e estabilizar a produção em regiões com longos períodos de seca; também pode ser usada para evitar a incidência de pragas ou doenças e temperaturas desfavoráveis durante os estágios de floração e formação de vagens. Um ciclo mais curto é útil para a rotação de culturas e permite até três estações de cultivo por ano, fornecendo sementes adicionais para a estação principal (ROCHA, DAMASCENO-SILVA; MENEZES JÚNIOR, 2017).

Atualmente, devido a inserção do feijão-caupi em sistemas de produção que envolvem a safrinha, a demanda por cultivares cada vez mais precoces é crescente pelo agricultor empresarial dos cerrados. Essa característica diminui o custo de produção e os riscos de perdas pela falta de chuvas no final da estação, já que a cultura fica no campo por um menor período (ROCHA et al., 2017c).

O caráter COMPV na classe comercial preto apresentou variação de 16,62 a 21,00 cm, com uma média geral de 18,51 cm (Figura 21). Essa média é inferior à observada por Lopes et al. (2023), que obtiveram uma média geral de 19,93 cm ao avaliarem genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores.

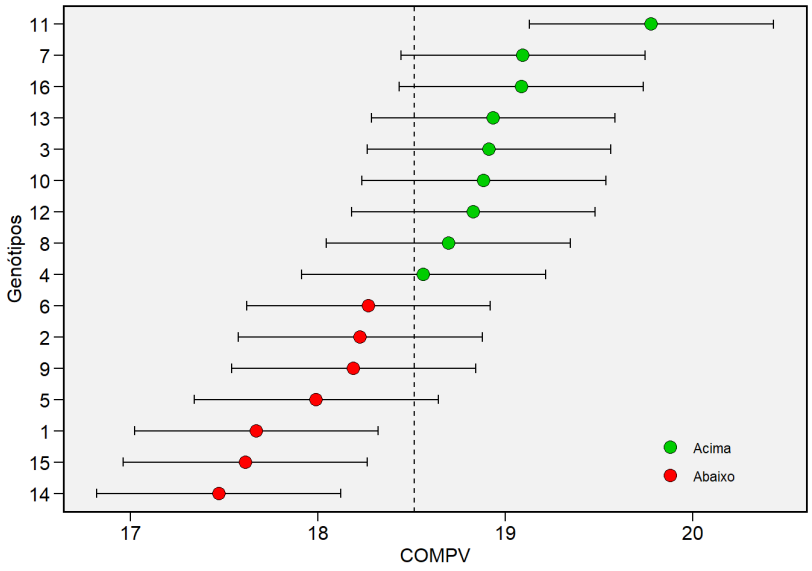

Figura 21. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter comprimento de vagem (COMPV) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Entre os 16 genótipos da classe comercial preto avaliados, 56,25% obtiveram COMPV acima da média geral (18,51 cm), destacando-se como superiores em relação ao tamanho da vagem os seguintes genótipos: 11 (MNC10-998B-8- 1), 7 (MNC09-988-1B-3-20), 16 (BRS Guirá), 13 (Pretinho-PA), 3 (MNC09-981B-3), 10 (MNC10-982B-11-1), 12 (MNC10-998B-20-3), 8 (MNC09-988B-20) e 4 (MNC09-981B-6). O genótipo com maior COMPV foi o 11 (MNC10-998B-8-1), enquanto o genótipo com menor COMPV foi o 14 (Pretinho-The).

Na classe comercial cores, o COMPV apresentou variação de 15,00 a 26,40 cm, com uma média geral de 18,92 cm (Figura 22). Essa média é inferior à relatada por Lopes et al. (2023), que observaram uma média geral de 19,93 cm ao avaliarem genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores. Entre os genótipos avaliados, o maior COMPV foi observado no genótipo 4 (MNC11-1013E-15), enquanto os genótipos 1 (IT82D-889) e 9 (BR2-Bragança) obtiveram os menores valores de COMPV.

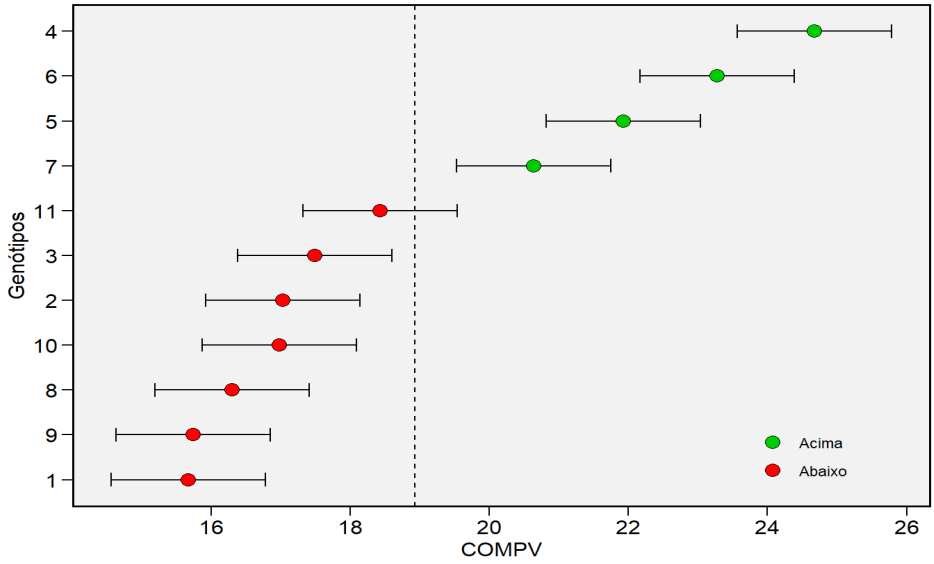

Figura 22. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter comprimento de vagem (COMPV) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Cultivares com tamanho de vagem maior são as preferidas pelos agricultores familiares, já para os agricultores empresariais, que cultivam o feijão-caupi totalmente mecanizado, vagens médias e pequenas são mais apropriadas para obtenção de um maior rendimento de colheita pelas colheitadeiras (SOUZA et al., 2017).

O caráter NGV na classe comercial preto, apresentou variação de 11,00 a 16,40 grãos/vagem e uma média geral de 13,47 grãos/vagem (Figura 23). A média geral do NGV observada no presente trabalho é maior que a encontrada por Aragão et al. (2022) e menor do que a verificada por Lopes et al. (2023), que foram de 11,06 e 14,74 grãos/vagem, respectivamente. Do total dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto, 50% tiveram médias de GNV acima da média geral (13,47 grãos/vagem), constituindo os genótipos com superioridade em relação ao número de grãos/vagem, são eles: 13 (Pretinho-PA), 12 (MNC10-998B-20-3), 7 (MNC09-988-1B-3-20), 6 (MNC09-988B-3), 8 (MNC09-988B-20), 14 (Pretinho-O), 4 (MNC09-981B-6) e 9 (MNC10-982B-3-7). O maior GNV foi encontrado no genótipo 13 (Pretinho-PA), enquanto o genótipo 15 (BRS Tapahium) apresentou o menor valor.

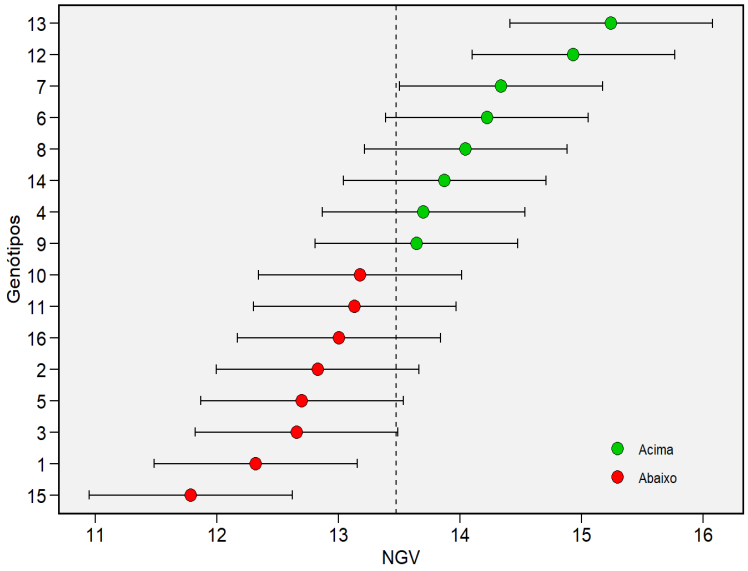

Figura 23. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de grãos por vagem (NGV) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

O caráter NGV é um dos componentes de produção mais importantes e, em muitos casos, a sua correlação positiva com a PROD, possibilita obter ganhos para a PROD via seleção indireta pelo NGV, sendo um caráter menos influenciado pelo ambiente, relativamente à PROD.

Na classe comercial cores, o NGV apresentou variação de 7,20 a 14,40 grãos/vagem e uma média geral de 11,31 grãos/vagem (Figura 24). A média geral do NGV observada no presente trabalho é maior que a encontrada por Aragão et al. (2022), que encontraram média de 11,06 grãos/vagem, e menor do que a média verificada por Lopes et al. (2023), que foi de 14,74 grãos/vagem.

Entre os genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, 63,64% tiveram médias de NGV acima da média geral (11,31 grãos/vagem), constituindo os genótipos com superioridade para esse caráter. Destacaram-se os genótipos: 3 (BRA-005380), 5 (MNC11-1019E-46), 8 (BRA-002411), 2 (IT97KD-1042-3), 9 (BR 2-Bragança), 6 (MNC11-1034E -2) e 7 (MNC11-1026E-19). Dentre eles, o genótipo 3 (BRA-005380) apresentou o maior NGV, enquanto o genótipo 1 (IT82D-889), o menor NGV.

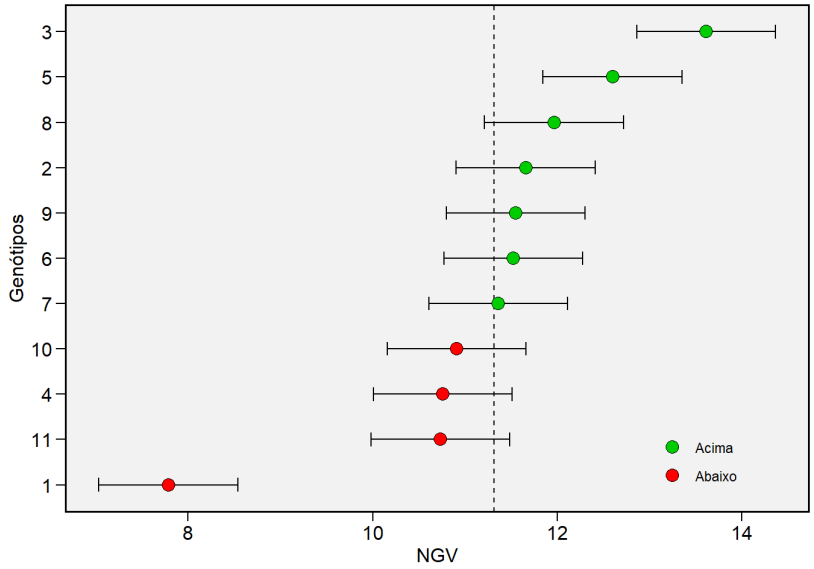

Figura 24. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter número de grãos por vagem (NGV) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores. Teresina, PI, 2023/2024.

O caráter NGV é um dos componentes de produção mais importantes e a seleção para o seu aumento pode levar indiretamente a ganhos na PROD, sendo que o NGV é um caráter menos influenciado pelo ambiente, relativamente à PROD.

O P100G na classe comercial preto exibiu variação de 10,72 a 23,06 g e uma média geral de 16,92 g (Figura 25).

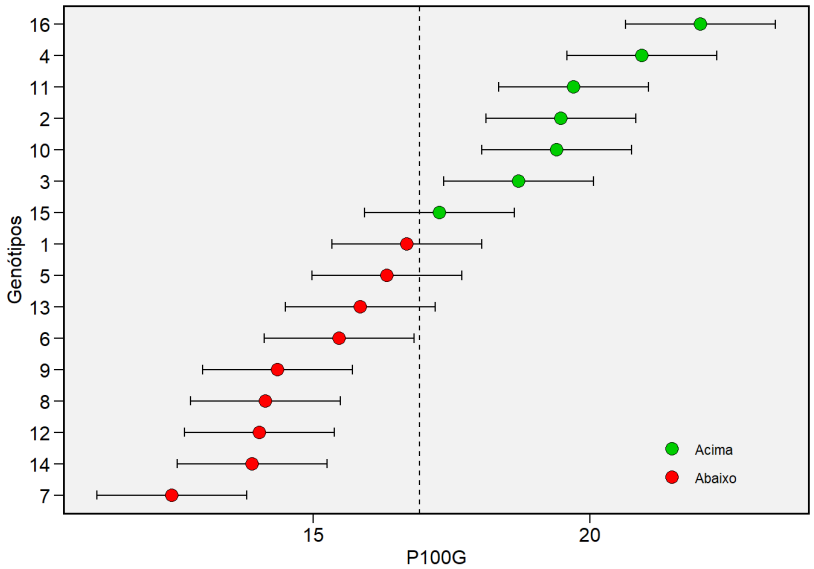

Figura 25. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter peso de 100 grãos (P100G) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

A média geral observada no presente trabalho é inferior à verificada por Lopes et al. (2023), ao avaliarem genótipos de feijão-caupi no semiárido piauiense, que foi de 19,93 g. Da totalidade de genótipos da classe comercial preto avaliados, 43,75% se enquadraram com P100G acima da média geral (16,92 g), evidenciando os genótipos com superioridade para o tamanho do grão: 16 (BRS Guirá), 4 (MNC09-981B-6), 11 (MNC10-998B-8-1), 2 (MNC09-981B-1), 10 (MNC10-982B-11-1), 3 (MNC09-981B-3) e 15 (BRS Tapahium). O genótipo que apresentou o maior P100G foi o 16 (BRS Guirá), com valores superiores a 20 g. Por outro lado, o genótipo que apresentou o menor P100G foi o 7 (MNC09-988-1B-3-20), evidenciando sua menor contribuição para o tamanho do grão. Segundo Freire Filho (2011), constata-se que tanto produtores quanto compradores e empacotadores preferem grãos com peso superior a 20g por 100 grãos. Isso, evidentemente, reflete a preferência dos consumidores.

O P100G na classe comercial cores, mostrou uma variação de 11,35 a 26,9 g e uma média geral de 18,30 g (Figura 26).

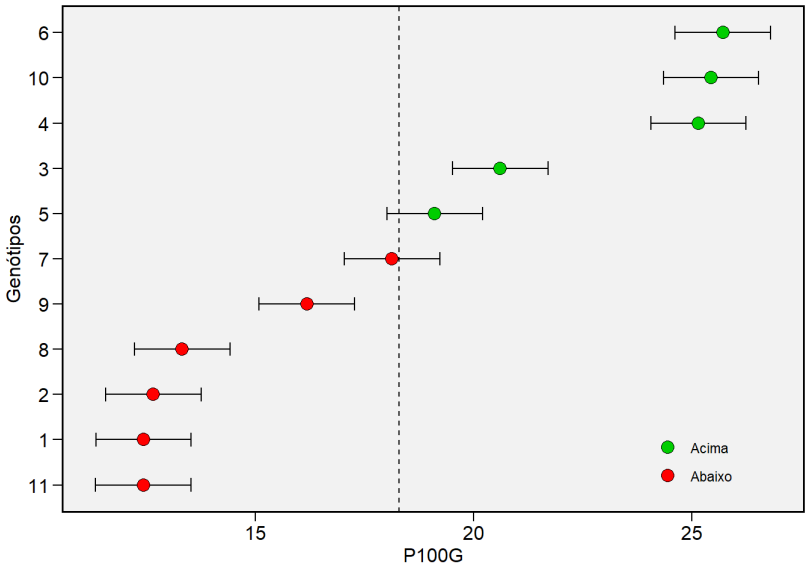

Figura 26. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter peso de 100 grãos (P100G) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

A média geral observada no presente trabalho é menor do que a encontrada por Lopes et al. (2023), ao avaliarem genótipos de feijão-caupi no semiárido piauiense, que verificaram média de P100G de 19,93 g.

Da totalidade de genótipos de feijão-caupi de grãos da classe comercial cores, 45,45% se enquadraram com P100G acima da média geral (18,30 g), evidenciando os genótipos com superioridade para o tamanho do grão, que foram os seguintes: 3 (BRA-005380), 4 (MNC11-1013E-15), 5 (MNC11-1019E-40), 6 (MNC11-1019E-46) e 10 (BA-086657), contemplando dois genótipos da subclasse vinagre e três da subclasse rajado. O genótipo que apresentou o maior P100G foi o 6 (MNC11-1034E-2), atendendo à preferência dos consumidores brasileiros, especialmente da região Norte do Brasil, que preferem fibras de tamanho grande, acima de 20 g (ROCHA, DAMASCENO-SILVA; MANEZES JÚNIOR, 2017). Por outro lado, os genótipos que apresentaram os menores valores de P100G foram o 11 (BRA-012807) e o 1 (IT82D-889), evidenciando menor contribuição para o tamanho do grão.

O caráter IG na classe comercial preto, variou de 62,90 a 90,95%, com média geral de 73,75% (Figura 27). Essa média é inferior à observada por Públio Júnior et al. (2017), que ao avaliarem o IG em genótipos de feijão-caupi em Vitória da Conquista-BA, verificaram média geral de 78,00%.

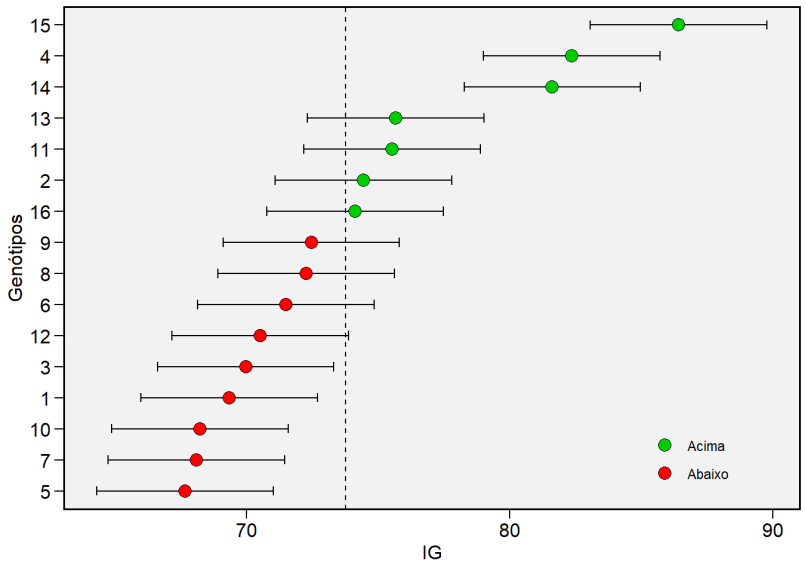

Figura 27. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter índice de grãos (IG) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Dentre os 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto avaliados, 43,75% atingiram IG acima da média geral (73,75%), concentrando os genótipos superiores para a relação peso do grão/peso da vagem, quais sejam: 15 (BRS Tapahium), 4 (MNC09-981B-6), 14 (Pretinho-O), 13 (Pretinho-PA), 11 (MNC10-998B-8-1), 2 (MNC09-981B-

1) e 16 (BRS Guirá). O genótipo que apresentou o maior IG foi o 15 (BRS Tapahium), destacando-se como o mais eficiente nesse parâmetro, enquanto o genótipo com o menor IG foi o 5 (MNC09-981B-9), registrou menor eficiência na relação peso do grão/peso da vagem.

O caráter IG na classe comercial cores, variou de 58,70 a 96,35%, com média geral de 82,97% (Figura 28). Essa média é maior que a observada por Públio Júnior et al. (2017), que ao avaliarem o IG em genótipos de feijão-caupi em Vitória da Conquista-BA, verificaram média geral de 78,00 %.

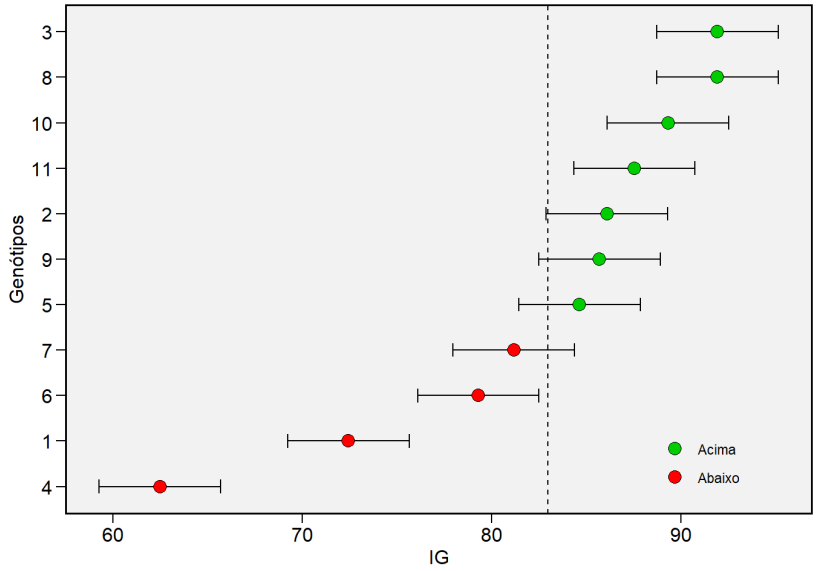

Figura 28. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter índice de grãos (IG) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Dentre os 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, 63,64% atingiram IG acima da média geral (82,97%), concentrando os genótipos superiores para a relação peso do grão/peso da vagem, quais sejam: 3 (BRA-005380), 8 (BRA-002411), 10 (BRA-086657), 11 (BRA-012807), 2 (IT97KD-1042-3), 9 (BR 2-Bragança) e 5 (MNC11-1019E-46), contemplando 4 genótipos da subclasse manteiga, dois da subclasse vinagre e um da subclasse rajado. Esses genótipos atendem ao IG ideal, que se situa entre 70 a 95% para uma boa debulha e também sem o risco de perda devido à deiscência no campo. O genótipo de maior IG foi o 3 (BRA-005380) e o 8 (BRA-002411), enquanto o genótipo com o menor valor foi o 4 (MNC11-1013E-15).

As cultivares de feijão-caupi que apresentam IG entre 70 a 95% são as mais adequadas para uma boa debulha (Manuel e mecânica) e também sem o risco de perda

devido a deiscência no campo. Genótipos com IG < 70% apresentam dificuldade de debulha, seja manual ou mecânica e genótipos com IG > 95% são mais suscetíveis a deiscência no campo e a casca da vagem é muito fina, sendo menos resistentes às intempéries.

O caráter PROD na classe comercial preto apresentou variação de 195,45 a 1.686,60 kg ha^{-1} e uma média geral de 779,09 kg ha^{-1} (Figura 29). Essa produtividade é maior do que a produtividade média nacional, que é de 497 kg ha^{-1} (CONAB, 2024).

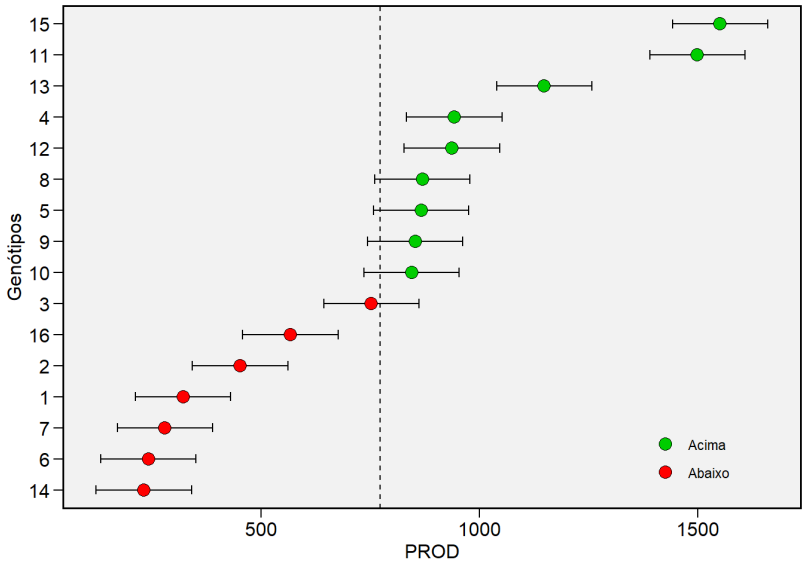

Figura 29. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Considerando todos os genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto avaliados, 56,25% tiveram produtividade de grãos (PROD) acima da média geral (779,09 kg ha^{-1}). Estes 15 (BRS Tapaihum), 11 (MNC10-998B-8-1), 13 (Pretinho-PA), 4 (MNC09-981B-6), 12 (MNC10-998B-20-3), 8 (MNC09-988B- 20), 5 (MNC09-981B-9), 9 (MNC10-982B-3-7), e 10 (MNC10-982B-11-1). Dentre os genótipos avaliados, o genótipo de maior produtividade foi o 15 (BRS Tapahium), genótipo de menor produtividade foi o 14 (Pretinho-The).

O caráter PROD na classe comercial cores apresentou variação de 158,16 a 1.542,60 kg ha^{-1} e uma média geral de 650,55 kg ha^{-1} (Figura 30).

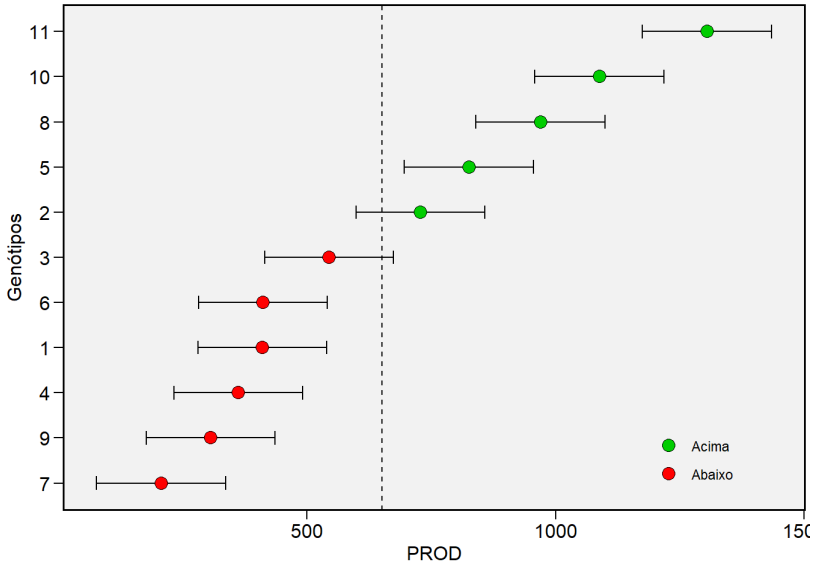

Figura 30. Estimativas dos valores genéticos (BLUPs) para o caráter produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

A média de produtividade de grãos (PROD) observada no presente trabalho (650,55 kg ha^{-1}) é superior à média nacional, que é de 497 kg ha^{-1} (CONAB, 2024). Entre os genótipos de feijão-caupi da classe comercial núcleos avaliados, 45,55% obtiveram PROD acima da média geral, sendo classificados como superiores em produtividade. Esses genótipos são: 11 (BRA-012807), 10 (BRA086657), 8 (BRA-002411), 5 (MNC11-1019E-46) e 2 (IT97KD-1042-3). O genótipo de maior produtividade foi o 11 (BRA-012807), enquanto o genótipo de menor produtividade foi o 7 (MNC11-1019E-2).

O aumento da PROD é o principal objetivo dos programas de melhoramento de feijão-caupi (ROCHA et al., 2017), sendo uma grande demanda cultivares cada vez mais produtivas, trazendo maior vantagem do ponto de vista econômico para os agricultores. O melhoramento genético dessa cultura é o modo mais eficaz de aumentar a produtividade média, desenvolvendo assim cultivares mais promissora, por meio de ensaios de valor de cultivo é possível selecionar genótipos de alta produção e adaptados às diferentes condições edafoclimáticas brasileiras (TORRES et al., 2015).

Na cultura do feijoeiro, a produtividade de grãos é altamente correlacionada com os componentes da produção, ou seja, número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos (COSTA; ZIMMERMANN, 1988). Dependendo das condições, alguns componentes da produção podem aumentar e outros diminuir, facilitando a manutenção da estabilidade produtiva (CASQUERO et al., 2006).

Segundo Carbonell et al. (2007), a avaliação do desempenho de linhagens e cultivares em locais estratégicos permitem a identificação de genótipos promissores nas regiões onde são avaliadas.

4.4 Correlações genéticas entre caracteres

As estimativas de correlações genotípicas de Pearson entre os caracteres avaliados obtidas com base na avaliação dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto são mostrados na Figura 31.

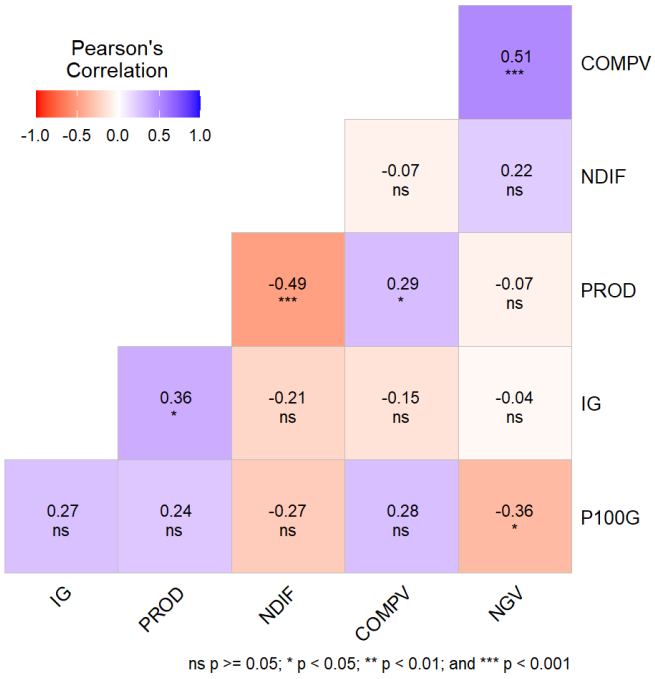

Figura 31. Correlações genotípicas entre os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Observaram-se correlações negativas e significativas entre o NDIF e a PROD (-0,49; p<0,001) e entre o NGV e P100G (-0,36; p<0,05), indicando que a seleção para precocidade de floração pode levar a aumentos na PROD, o que vantajoso no melhoramento, e a seleção para aumento do número de grãos por vagem pode diminuir o tamanho do grão, sendo, neste caso, desvantajoso a prática da seleção indireta no melhoramento.

Correlações positivas e significativas (p<0,05) foram observadas entre COMPV e NGV (0,51), entre IG e PROD (0,36; p<0,05), entre COMPV e PROD (0,29; p<0,05), evidenciando que a seleção para aumento do tamanho da vagem leva ao aumento do número de grãos por vagem, o aumento do tamanho da vagem e da razão peso do grão/peso da vagem (IG) pode levar a aumentos na PROD, sendo correlações vantajosas no melhoramento desses caracteres.

As demais correlações foram baixas e não significativas, indicando ausência de associação entre os caracteres e nenhuma influência entre caracteres quanto à seleção.

As estimativas de correlações genotípicas de Pearson entre os caracteres avaliados obtidas com base na avaliação dos genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores são mostrados na Figura 32.

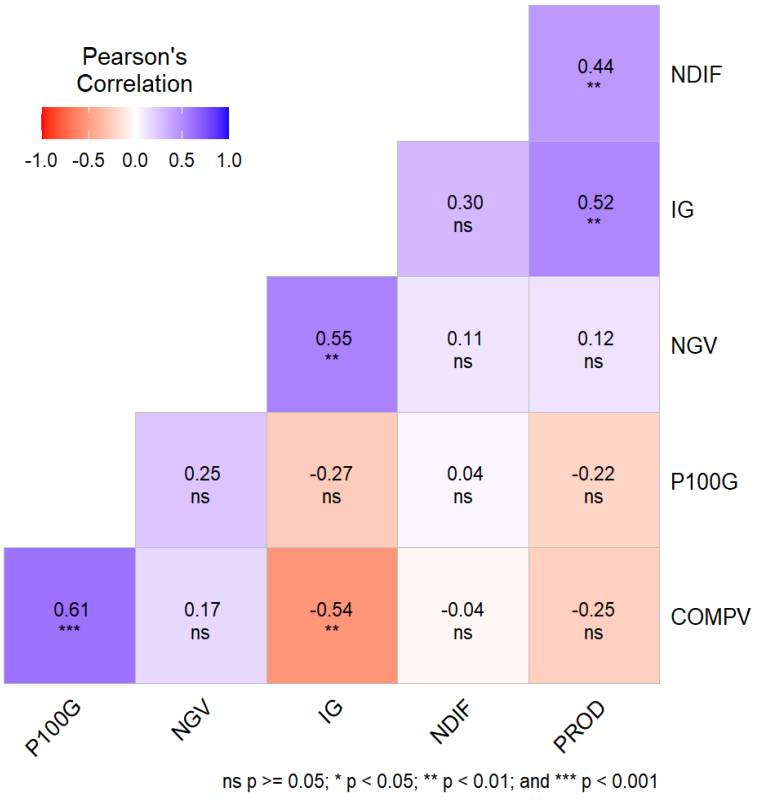

Figura 32. Correlações genotípicas de Pearson entre os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produtividade de grãos (PROD) obtidas a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Observaram-se correlações negativas e significativas entre o IG e COMPV (-0,54; p<0,001), indicando que a seleção para aumento do COMPV pode levar a diminuição do

IG, e vice-versa. Essas correlações são desvantajosas para uso da seleção indireta, pois quanto se obtém ganho com a seleção para um caráter, tem-se perda no outro.

Correlações positivas e significativas ($p<0,05$) foram observadas entre NDIF e PROD (0,44; $p<0,01$), entre IG e PROD (0,52; $p<0,01$), entre NGV e IG (0,55; $p<0,01$); e entre COMPV e P100G (0,61; $p<0,001$), evidenciando que a seleção para precocidade pode levar a diminuição da PROD, sendo desvantajoso para o melhoramento, que busca aliar precocidade e alta produtividade. Já o aumento do IG pode levar a aumentos na PROD; o aumento do NGV pode levar a aumento do IG; e o aumento do COMPV pode levar ao aumento do P100G, sendo consideradas correlações vantajosas para o uso da seleção indireta, pois obtém-se ganhos simultâneas com a seleção para os dois caracteres.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Correa et al. (2012), ao avaliarem 19 genótipos de feijão-caupi. Pessoa et al. (2022) também relataram uma correlação significativa entre variáveis de vagem, grãos e aspectos fisiológicos em genótipos de feijão-caupi, que podem ser usados direta ou indiretamente para auxiliar na seleção. A correlação entre caracteres é um importante parâmetro que pode ser usado como uma ferramenta de seleção indireta e para economia de tempo, ocorrendo quando um gene interfere na expressão de outros caracteres (SANTOS et al., 2019).

As demais correlações foram baixas e não significativas, indicando ausência de associação entre os caracteres e nenhuma influência entre caracteres quanto à seleção.

4.5 Seleção com base no índice MGIDI

No melhoramento genético de plantas, uma das etapas mais importantes é definir as características da cultivar a serem obtidas e seus propósitos (BRADSHAW, 2017). Assim, os autovalores, a variação explicada e a porcentagem acumulada para os seis componentes principais são apresentados na Tabela 8, que mostra o perfil do ideótipo para selecionar genótipos de feijão-caupi que apresentem floração precoce, maior tamanho da vagem e do grão, maior número de grãos por vagem, alta relação grão/vagem e alta produtividade de grãos.

Tabela 8. Estimativas de autovalores da análise de componentes principais (CP) e a proporção da variância explicada por eles com base na variação de seis caracteres (Número de dias para o início da floração, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, pesos de 100 grãos, índice de grãos e produtividade de grãos), a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

FA	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	2,27	37,80	37,80
CP2	1,46	24,40	62,10
CP3	1,08	18,00	80,10
CP4	0,66	11,10	91,20
CP5	0,41	6,75	98,00
CP6	0,12	2,05	100,00

Apenas os três primeiros componentes apresentaram autovalores acima de um e, portanto, segundo o critério de Kaiser (Kaiser, 1958), os dados podem ser condensados (redução dimensional) em três fatores. A variação cumulativa para os três primeiros componentes foi superior a 80%, indicando que é suficiente para representar 80,10% de toda a variabilidade. Essa variação é maior do que as verificadas por Pallavi et al. (2024), Ouattara et al. (2024) e Sá (2024), que observaram variação acumulada de 79,44%; 73,50%; e 68,29% nos componentes com autovalores acima de um, ao avaliarem oito caracteres em 285 genótipos de inhame, 21 caracteres em 42 genótipos de arroz e seis caracteres em 28 genótipos de feijão-caupi, respectivamente.

Os caracteres foram agrupados em três fatores pela análise de fatores (FA) (Tabela 9). O FA1 compreendeu os caracteres NDIF, IG e PROD. O FA2 contemplou apenas um caráter, o COMPV. O FA3 reuniu os caracteres NGV e P100G. Esses agrupamentos indicam alta correlação genética para o primeiro fator entre os caracteres NDIF, IG e PROD e para o terceiro fator entre os caracteres NGV e P100G. O caráter COMPV ficou isolado, não apresentando correlação genética entre os demais caracteres. A comunalidade média de 0,80 indica que 80% das variâncias observadas nos caracteres foram explicadas pelas dimensões comuns extraídas da análise fatorial, com os caracteres COMPV, NGV, P100G e PROD contribuindo mais que os outros caracteres para a variação presente no conjunto de dados.

Tabela 9. Cargas fatoriais após rotação varimax e comunalidades (h) obtidas na análise fatorial (FA) a partir da análise de seis caracteres a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Caráter[1]	FA1	FA2	FA3	Comunalidade
NDF	**-0,73**	0,04	-0,31	0,62
COMPV	-0,10	**0,97**	0,03	0,95
NGV	0,08	0,35	**0,87**	0,88
P100G	-0,24	0,28	**-0,82**	0,81
IG	**-0,71**	-0,48	-0,02	0,74
PROD	**-0,86**	0,26	-0,08	0,81
Comunalidade média				0,80

[1]NDIF: Número de dias para o início da floração; COMPV: Comprimento de vagem; NGV: Número de grãos por vagem; P100G: Peso de 100 grãos; IG: Índice de grãos; PROD: Produtividade de grãos. [2]FA: Fator retido; [3]Valores em negrito indicam os caracteres agrupados dentro de cada fator.

A estimativa de comunalidade observada no presente trabalho foi maior do que a apresentada por Sá (2024), avaliando 28 genótipos e 10 caracteres de feijão-caupi, que verificou comunalidade de 68%.

O índice MGIDI propiciou estimativas do diferencial de seleção (Ds) satisfatórias para a maioria dos caracteres avaliados (Tabela 10), com destaque para os caracteres IG e PROD. Foram observadas herdabilidades que variaram de 0,83 (P100G) a 0,98 (NGV), o que sugere bons indicativos de ganhos com a seleção para os caracteres com maior h^2, casos de COMPV (0,93), PROD (0,95) e NGV (0,98).

Tabela 10. Diferencial de seleção (Ds), herdabilidade (h^2) e ganho predito com a seleção (Gs) com base no índice MGIDI para seis caracteres, obtidos a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

Caráter[1]	Fator	X_o[2]	X_s[3]	Ds	h^2	Gs[4]	Gs(%)	Meta
NDIF	FA1	36,30	36,00	-0,30	0,86	-0,25	-0,69	100
IG	FA1	73,80	75,60	1,80	0,93	1,67	2,26	100
PROD	FA1	772,00	1062,00	290,00	0,98	284,20	36,81	100
COMPV	FA2	18,50	18,80	0,30	0,83	0,25	1,35	100
NGV	FA3	13,50	14,00	0,50	0,87	0,43	3,18	100
P100G	FA3	16,90	17,00	0,10	0,95	0,09	0,53	100
Gs total (acréscimo)						286,64	44,13	
Gs total (decréscimo)						0,25	0,69	

[1]NDIF: Número de dias para o início da floração; COMPV: Comprimento de vagem; NGV: Número de grãos por vagem; P100G: Peso de 100 grãos; IG: Índice de grãos; PROD: Produtividade de grãos.
[2]X_o: Média do caráter da população original. [3]X_s: Média do caráter dos genótipos selecionados, assumindo uma intensidade de seleção de 30%; [4]Ganho genético predito com a seleção dos cinco melhores genótipos.

De forma geral, o MGIDI proporcionou ganhos satisfatórios para todos os caracteres avaliados nos genótipos da classe comercial preto, possibilitando eficiência na seleção de genótipos que sejam próximos ao ideótipo, especialmente para a PROD, com um Gs total 36,81%. Os caracteres NDIF e P100G apresentaram os menores Gs, reflexos das estimativas mais baixas de Ds e h^2, relativamente aos demais caracteres. As metas de sentido da seleção (aumento ou decréscimo) foram obtidas 100% para todos os caracteres.

Os cinco genótipos selecionados com base no índice MGIDI, com a aplicação de uma intensidade de seleção de 30%, foram: 4 (MNC09-981B-1), 8 (MNC09-981B-9), 9 (MNC09-988B-3), 11 (MNC10-982B-11-1) e 13 (MNC10-998B-8-1). Os pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados podem ser visualizados na Figura 33.

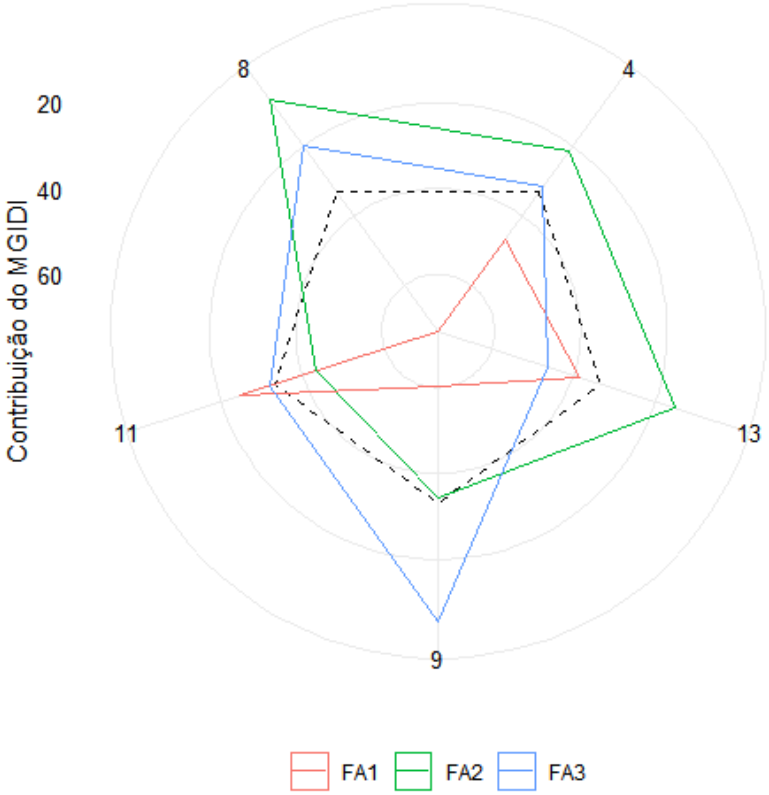

Figura 33. Visualização dos pontos fortes e fracos de 16 genótipos de feijão caupi da classe comercial preto. Teresina, PI, 2023/2024.

A menor proporção do fator para explicar o MGIDI, indica que os caracteres dentro deste fator estão próximos do ideótipo e se apresentam próximo da borda externa de cada fator (OLIVOTO; NARDINO, 2021). Neste sentido, o genótipo 11 (MNC10-982B-11-1) foi o que exibiu mais baixa contribuição do fator FA1, sugerindo que esse genótipo é o mais próximo do ideótipo para os caracteres NDIF, IG e PROD,

apresentando potencial para precocidade de floração, boa relação grão/palha na vagem e alta produtividade de grãos, sendo de grande importância para o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi para o cultivo dos agricultores na safrinha e sob condições de irrigação, com baixo custo de produção, além de alta rentabilidade econômica.

Os genótipos 4 (MNC09-981B-1), 8 (MNC09-981B-9) e 13 (MNC10-998B-8-1) mostraram baixa contribuição para o fator FA2, que compreende o caráter COMPV, constituindo-se em genótipos com maior COMPV, de grande importância para os agricultores familiares que preferem cultivares apresentando vagens de tamanho grande.

O genótipo 9 (MNC09-988B-3), apresentou baixa contribuição para o fator FA3, que compreende os caracteres NGV e P100G, constituindo-se no genótipo com maior número de grãos por vagem e maior tamanho de grão. Esses dois componentes do rendimento têm grande impacto sobre a PROD e segundo Rocha, Damasceno-Silva e Menezes Júnior (2017), a preferência do consumidor no geral é por grãos de tamanho grande, sendo mais evidente nos estados da região Norte (grãos brancos) e alguns estados da região Nordeste (grãos marrons), como o Ceará.

Os resultados de seleção de genótipos superiores com base no índice MGIDI corroboram em parte com os resultados de seleção via valores genéticos (BLUPs), mostrando que esse índice consegue agregar alta performance dos caracteres na seleção de genótipos superiores. As diferenças observadas em relação à seleção dos genótipos superiores pelas duas abordagens se devem principalmente ao fato da seleção via estimativas BLUPs focar mais no caráter PROD, enquanto o índice MGIDI considerar todos os caracteres na seleção e ainda privilegiando alguns caracteres que o melhorista considerar serem mais importantes, fornecendo a esses, pesos econômicos maiores. Neste sentido, um exemplo é P100G, que pelo índice MGIDI, por meio do peso econômico adotado, deu ênfase maior na seleção aos genótipos com maior tamanho de grão, desfavorecendo os genótipos da classe comercial cores, subclasse manteiga, que apresentaram grãos te tamanho pequeno e, assim, a seleção via BLUPs houve genótipos superiores selecionados, enquanto pelo índice MGIDI, sem genótipos selecionados para a subclasse comercial manteiga.

Os autovalores, variação explicada e porcentagem acumulada para os seis componentes principais estimados com base na avaliação dos genótipos da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado, são mostrados na Tabela 11, que mostra o perfil do ideótipo para selecionar genótipos de feijão-caupi que apresentem

floração precoce, maior tamanho da vagem e do grão, maior número de grãos por vagem, alta relação grão/vagem e alta produtividade de grãos.

Tabela 11. Estimativas de autovalores da análise de componentes principais (CP) e a proporção da variância explicada por eles com base na variação de seis caracteres (Número de dias para o início da floração, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, pesos de 100 grãos, índice de grãos e produtividade de grãos), a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

CP	Autovalor	Variância (%)	Variância acumulada (%)
CP1	2,52	42,00	42,00
CP2	1,71	28,40	70,40
CP3	1,02	17,00	87,40
CP4	0,38	6,38	93,80
CP5	0,32	5,26	99,00
CP6	0,06	0,98	100,00

Com base na análise de fatores, os caracteres foram agrupados em três fatores, FA1, FA2 e FA3 (Tabela 12).

Tabela 12. Cargas fatoriais após rotação varimax e comunalidades (h) obtidas na análise fatorial (FA) a partir da análise de seis caracteres a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Caráter[1]	FA1	FA2	FA3	Comunalidade
NDIF	**-0,91**	0,10	0,13	0,86
COMPV	-0,08	**-0,92**	0,09	0,86
NGV	0,06	-0,23	**-0,94**	0,95
P100G	-0,04	**-0,87**	-0,16	0,78
IG	0,39	0,50	**-0,74**	0,96
PROD	**0,87**	0,26	-0,01	0,84
Comunalidade média				0,87

[1]NDIF: Número de dias para o início da floração; COMPV: Comprimento de vagem; NGV: Número de grãos por vagem; P100G: Peso de 100 grãos; IG: Índice de grãos; PROD: Produtividade de grãos. [2]FA: Fator retido; [3]Valores em negrito indicam os caracteres agrupados dentro de cada fator.

Apenas os três primeiros componentes apresentaram autovalores acima de um e, portanto, segundo o critério de Kaiser (Kaiser, 1958), os dados podem ser condensados (redução dimensional) em três componentes.

A variação cumulativa para os três primeiros componentes foi superior a 87%, indicando que é suficiente para representar 87,40% de toda a variabilidade. Essa variação é maior do que as verificadas por Pallavi et al. (2024), Ouattara et al. (2024) e Sá (2024), que observaram variação acumulada de 79,44%; 73,50%; e 68,29% nos componentes com autovalores acima de um, ao avaliarem oito caracteres em 285 genótipos de inhame, 21 caracteres em 42 genótipos de arroz e seis caracteres em 28 genótipos de feijão-caupi, respectivamente.

O FA1 compreendeu os caracteres NDIF, IG e PROD. O FA2 contemplou apenas um caráter, o COMPV. O FA3 reuniu os caracteres NGV e P100G. Esses agrupamentos indicam alta correlação genética para o FA1 entre os caracteres NDIF e PROD; para o FA2, entre os caracteres COMPV e P100G; e para o FA3, entre os caracteres NGV e IG. A comunalidade média de 0,87 indica que 87% das variâncias observadas nos caracteres foram explicadas pelas dimensões comuns extraídas da análise fatorial, com os caracteres NDIF, COMPV e NGV contribuindo mais que os outros caracteres para a variação presente no conjunto de dados. A estimativa de comunalidade observada no presente trabalho foi maior do que a apresentada por Sá (2024), avaliando 28 genótipos e 10 caracteres de feijão-caupi, que verificou comunalidade de 68%.

O índice MGIDI apresentou estimativas do diferencial de seleção (Ds) satisfatórias para a maioria dos caracteres avaliados (Tabela 13), com destaque para os caracteres IG e PROD.

Tabela 13. Diferencial de seleção (Ds), herdabilidade (h^2) e ganho predito com a seleção (Gs) com base no índice MGIDI para seis caracteres, obtidos a partir da avaliação de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

Caráter[1]	Fator	X_o[2]	X_s[3]	Ds	h^2	Gs[4]	Gs(%)	Meta
NDIF	FA1	36,30	37,20	0,90	0,82	0,74	2,04	0
PROD	FA1	651,00	881,00	230,00	0,97	223,10	34,27	100
COMPV	FA2	18,90	18,60	-0,30	0,97	-0,29	-1,53	0
P100G	FA2	18,30	19,10	0,80	0,99	0,79	4,32	100
NGV	FA3	11,30	11,70	0,40	0,95	0,38	3,36	100
IG	FA3	83,00	86,70	3,70	0,97	3,59	4,32	100
Gs total (acréscimo)						227,57	44,74	
Gs total (decréscimo)						0,74	2,04	

[1]NDIF: Número de dias para o início da floração; COMPV: Comprimento de vagem; NGV: Número de grãos por vagem; P100G: Peso de 100 grãos; IG: Índice de grãos; PROD: Produtividade de grãos.
[2]X_o: Média do caráter da população original. [3]X_s: Média do caráter dos genótipos selecionados, assumindo uma intensidade de seleção de 30%; [4]Ganho genético predito com a seleção dos cinco melhores genótipos.

Foram observadas herdabilidades (h^2) que variaram de 0,82 (NDIF) a 0,99 (P100G), o que sugere bons indicativos de ganhos com a seleção para os caracteres com maior h^2, casos de COMPV (0,97), PROD (0,97), IG (0,97) e P100G (0,99). De forma geral, o MGIDI proporcionou ganhos satisfatórios para a maioria dos caracteres avaliados nos genótipos da classe comercial cores, possibilitando eficiência na seleção de genótipos que sejam próximos ao ideótipo, especialmente para a PROD (Gs = 34,27%). Os caracteres NDIF e COMPV apresentaram os menores Gs, consequência das menores estimativas Ds e h^2, relativamente aos demais caracteres.

As metas de sentido da seleção (acréscimo ou decréscimo) foram obtidas 100% para a maioria dos caracteres. As estimativas de metas com valor 0 para os caracteres NDIF e COMPV indicam que a seleção com base em todos os caracteres foi desfavorável para esses caracteres. De fato, o NDIF apresentou um ganho positivo (aumento), enquanto a meta (objetivo) era obter um ganho negativo (decréscimo), ou seja, a seleção de genótipos precoces (menor que a média geral). No caso do COMPV, este apresentou um ganho negativo (decréscimo), enquanto a meta (objetivo) era obter um ganho positivo (acréscimo), ou seja, genótipos com tamanho de vagem maior que a média geral.

Os cinco genótipos selecionados com base no índice MGIDI, considerando uma intensidade de seleção de 30% foram: 2 (IT97KD-1042-3, subclasse vinagre), 5 (MNC11-1019E-40, subclasse rajado) e 10 (BRA-086657, subclasse vinagre). Os pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados podem ser visualizados na Figura 34. Os genótipos 2 (IT97KD-1042-3) e 5 (MNC11-1019E-40) foram os que exibiram as mais baixas contribuições do fator FA1, sugerindo que esses genótipos são os mais próximos do ideótipo para os caracteres NDIF e PROD, apresentando potencial para precocidade de floração e alto rendimento de grãos/ha, sendo de grande importância para o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi para o cultivo dos agricultores na safrinha ou sob condições de irrigação, contribuindo para um baixo custo de produção, além de alta rentabilidade econômica.

O genótipo 10 (BRA-086657) mostrou baixa contribuição para o fator FA2, que compreende os caracteres COMPV e P100G, constituindo-se em um genótipo com maior tamanho comprimento de vagem e maior tamanho de grão, de grande importância para os agricultores familiares que preferem cultivares apresentando vagens e grãos de tamanho grande. Segundo Rocha et al. (2017c), a preferência do consumidor atual é por

grãos de tamanho grande, o que determina preços mais competitivos para as cultivares que apesentam essa característica.

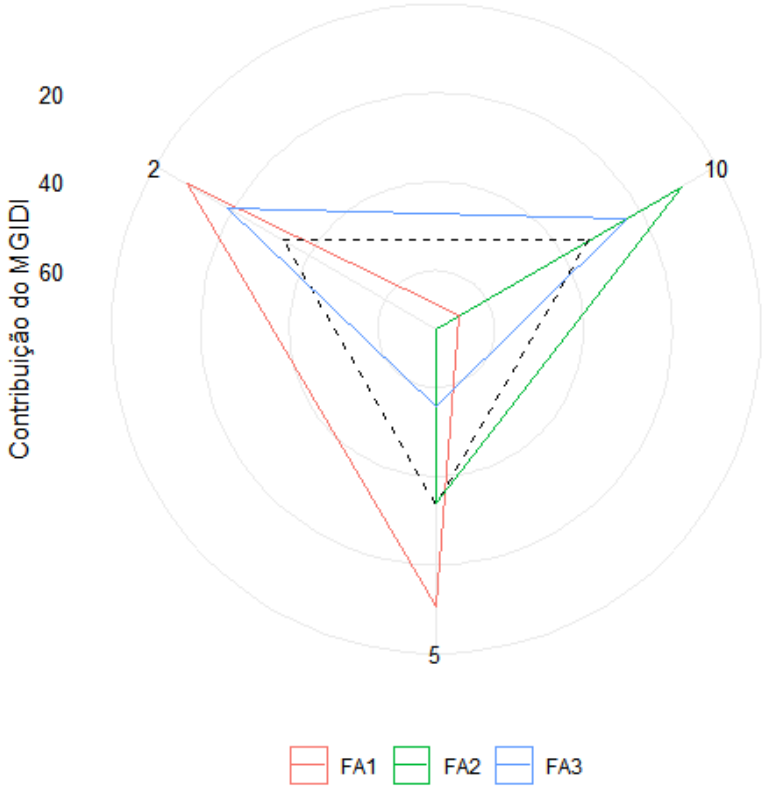

Figura 34. Visualização dos pontos fortes e fracos de 11 genótipos de feijão-caupi da classe comercial cores, subclasses vinagre, manteiga e rajado. Teresina, PI, 2023/2024.

O fator FA3 não agregou nenhum genótipo, compreendendo os caracteres NGV e IG, indicando o índice MGIDI, com base nos pesos e desempenhos dos genótipos para esses caracteres, não permitiu selecionar genótipos superiores para esses atributos.

Os resultados de seleção de genótipos superiores com base no índice MGIDI corroboram em grande parte com os resultados de seleção via valores genéticos (BLUps), mostrando que esse índice consegue agregar alta performance dos caracteres na seleção de genótipos superiores.

Segundo Sá (2024), os genótipos selecionados, tanto da classe preto, como da classe cores (subclasses vinagre, manteiga e rajado) representam recursos valiosos para desenvolver populações recombinantes de feijão-caupi, alinhando-se com estratégias sustentáveis e eficazes de melhoramento da cultura. Além disso, eles apresentam pontos fortes em várias características, oferecendo potencial para melhoria simultânea de caracteres em futuros programas de melhoramento.

A eficiência do MGIDI é destacada através da sua aplicação inovadora na seleção simultânea de caracteres, sublinhando a sua importância numa vasta gama de culturas, concordando com os estudos de Klein et al. (2023), Pallavi et al. (2024) e Sá (2024), ao adotarem o índice MGIDI em estudos com genótipos de aveia, arroz e feijão-caupi, concluíram que este demonstrou notável eficiência na seleção genótipos superiores, apresentando ganhos simultâneos desejáveis para múltiplos caracteres.

5 CONCLUSÕES

As estimativas de parâmetros genéticos indicam a existência de alta variabilidade genética, maior componente genético na expressão do fenótipo e situação confiável e favorável para seleção de genótipos superiores em ambos as classes comerciais (preto e cores), para os caracteres avaliados, notadamente para o peso de 100 grãos, índice de grãos e produtividade de grãos.

A seleção simultânea para precocidade de simplicidade e alta produtividade é viável nos genótipos da classe comercial preto, mas inviável na classe comercial cores. Entretanto, melhorias no índice de grãos, número de grãos por vagem e produtividade de grãos são possíveis em ambas as classes comerciais e genótipos avaliados. Por outro lado, a seleção para aumentar o tamanho do grão pode reduzir o número de grãos por vagem e o índice de grãos, independentemente da classe comercial.

Com base nos valores genéticos preditos (BLUPs), os genótipos que apresentam maior potencial para o mercado de feijão-caupi de tipos especiais de grãos da classe comercial pretos são: 15 (BRS Tapahium), 11 (MNC10-998B-8-1), 13 (Pretinho-PA), 4 (MNC09-981B-6), 12 (MNC10-998B-20-3), 8 (MNC09-988B-20), 5 (MNC09-981B-9), 9 (MNC10-982B-3-7) e 10 (MNC10-982B-11-1) ; e da classe comercial cores, subclasse Vinagre, 8 (BRA-002411) e 2 (IT97KD-1042-3), subclasse manteiga, 11 (BRA-012807) e 10 (BRA086657) e da subclasse rajado, 7 (MNC11-1019E-46).

Com base no índice MGIDI, os genótipos que apresentam maior potencial para o mercado de feijão-caupi de tipos especiais de grãos da classe comercial pretos são 2 (MNC09-981B-1), 5 (MNC09-981B-9), 3 (MNC09-988B-3), 10 (MNC10-982B-11-1) e 11 (MNC10-998B-8-1); e da classe comercial cores, subclasse comercial vinagre são 2 (IT97KD-1042-3) e 10 (BRA-086657), e da subclasse rajado é o 5 (MNC11-1019E-40).

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 2, p. 253-258, 2010.

ALVINO, F. C. G.; LACERDA, R. R. A.; ALVES, L. S.; SOUTO, L. S.; LUNA, R. G.; SILVA, M. C. C.; DANTAS, J. S.; SOUTO, J. S.; NEDER, D. G.; DUTRA FILHO, J. A.; SOUZA, A.S. Biometric genetics in cowpea beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) I: phenotypic and genotypic relations among production components. **Revista FCA UNCuyo**, v. 55, n. 1, p. 126-139, 2023.

AKINWALE, M. G. A. S.; GREGORIO, N. C.; NWILENE, A. O.; AKINYELE, O. T.; OGUNBAYO, B. C.; ODIYI, A. Heritability and correlation coefficient analysis for yield and its components in rice (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Plant Science,** v. 5, n. 3, p. 207-212, 2011.

ARAGÃO, W. F. L.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. R. S.; BARROS, M. A. L. Agronomic and commercial potential of compound-inflorescence cowpea lines. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, e02938, 2022.

BARROSO NETO, A. M.; SILVA, F. M. A.; TORRES, A. C.; CAVALCANTE, M. A. M.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R. Genetic variability and selection of extra-early cowpea progenies. **Revista Caatinga**, v. 3, p. 698-707, 2017.

BENVINDO, R. N.; SILVA, J. A. L.; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; BEZERRA, A. A. C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientie**, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2010.

BERTINI, C. H. C. M.; SILVA, K. J. D.; TEÓFILO, E. M.; AZEVEDO, A. M.; LOPES, A. C. A. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum Agronomia**, v. 32, n. 4, p. 613-619, 2010.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 523 p.

BOUKAR, O.; BELKO, N.; CHAMARTHI, S.; TOGOLA, A.; BATIENO, J.; OWUSU, E.; HARUNA, M.; DIALLO, S.; UMAR, M. U.; OLUFAJO, O.; FATOKUN, C. Cowpea (*Vigna unguiculata*): genetics, genomics and breeding. **Plant Breeding**, v. 138, n. 4, p. 415-424, 2018.

BOUKAR, O.; FATOKUN, C. A.; HUYNH, B. L.; ROBERTS, P. A.; CLOSE, T. J. Genomics tools in cowpea breeding programs: status and perspectives. **Frontiers in Plant Science,** v. 7, e757, 2016.

BRADSHAW, J. E. Plant breeding: past, presente and future. **Euphytica**, v. 213, n. 60, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília**, DF, 31 mar. 2008. Seção 1, 11-14 p.

CASQUERO, P.A.; LAMAS, M.; D.E. RON, A.M.; SANTALLA, M. Performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from Spain in the Atlantic and Mediterranean environments. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 53, n. 5, p. 1021-1032, 2006.

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

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF: CONAB, v. 9, safra 2021/22, n. 12, setembro 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF: CONAB, v. 11, safra 2023/24, n. 11, agosto 2024.

CORREA, A. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F.R..; ROCHA, M. M.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 88-94, 2012.

CORREA, A. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RAMOS, S. R. R. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de feijão-caupi. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 42-47, 2015.

CORREA, A. M.; GONÇALVES, M. C.; DESTRO, D.; SOUZA, L. C. F.; SOBRINHO, T. A. Estimates of genetic parameters in common bean genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 223-230, 2003.

COSTA, J. C. G.; ZIMMERMANN, M. J. O. Melhoramento genético. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **A cultura do feijoeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1988. p. 229-245.

CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 394 p.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria, experimentos e análise de dados.** 1.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 668 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 508 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A. J; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 480 p.

DEBNATH, P.; CHAKMA, K.; BHUIYAN, M.S.U.; THAPA, R.; P.A.N., R.; AKHTER, D. A novel multi trait genotype ideotype distance index (MGIDI) for genotype selection in plant breeding: Application, prospects and, limitations. **Crop Design**, v. 3, n. 4, e 100074, 2024.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**, Trad. SILVA, M.A.; SILVA, J. C. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária, 1987. 279 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. 2022. Disponível em: < https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 30 nov. 2024.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi**: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005a. p. 29-92.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D. e; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil**: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 84 p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D. e; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Produção, melhoramento e potencial da cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2012. 49 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 216).

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. F.; VIEIRA, P. F. M. J. A cultuara: aspectos socioeconômicos. In: VALE, J.C.; BERTINI, C. H. C. M.; BORÉM, A. **Feijão-caupi:** do plantio à colheita. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. cap. 1, p. 9-34.

FREIRE-FILHO, F. R. (Org.) **Feijão-caupi no Brasil:** produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

GIBELY, R. H. Variability, genetic components and selection rResponse in segregating generations among some cotton crosses. **Journal of Sustainable Agricultural Sciences**, v. 47, n. 1, p. 1-12, 2021.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1981-2010)**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytical rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KLEIN, H.; PEREIRA, G. B.; COSTA, M. S.; ZIMMERMANN, F. J. P.; FOLTRAN, D. E.; OLIVEIRA, M. L. F. Selection of superior black oat lines using the MGIDI index. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 23, n. 3, e45112332, 2023.

LANGYINTUO, A. S.; LOWENBERG-DEBOER, J.; FAYE, M.; LAMBERTO, D.; IBRO, G.; MOUSSA, B.; KERGNA, A.; KUSHWAHA, S.; MUSA, S.; NTOUKAM, G. Cowpea supply and demand in West and Central Africa. **Field Crops Research**, v. 82, n. 2-3, p. 215-231, 2003.

LOBBE, H. **Estudo sobre doze variedades de caupi**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1925. 10 p.

LOPES, A. C.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. Q. B.; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. M. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 515-529, 2001.

LOPES, A. F. S.; ARAGÃO, W. F. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M. Selection of superior cowpea lines derived from local cultivars for the Brazilian semi-arid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 58, e03391, 2023.

MACHADO, C. F.; TEIXEIRA, N. J.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. R.; GOMES, R. L. F. Identificação de genótipos de feijão-caupi quanto à precocidade, arquitetura da planta e produtividade de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 114-123, 2008.

MATOS FILHO, C. H. A.; GOMES, R. L. F.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A. Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 348-354, 2009.

MEIRA, A. L.; SANTANA, T. M.; AMARAL, C. L. F.; MIGUEL, D. L.; SANTOS JÚNIOR, N. S. Estimativas de parâmetros genéticos para características de crescimento em feijão-caupi sob estresse hídrico severo. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n.1, p. 41-47, 2017.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the ETO blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40-51, 1978.

OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, S. P.; ARAÚJO, M. S.; ARAGÃO, W. F. L.; SILVA, M. M. S.; ROCHA, M. M. Ganho genético por meio da seleção simultânea de caracteres agronômicos em linhagens de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 5., 2019, Fortaleza. **Sustentabilidade e inovações tecnológicas para o feijão-caupi**: desafios e perspectivas: anais. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: Embrapa Meio-Norte, 2019.

OLIVOTO, T.; PEREIRA, J. D.; FERREIRA, D. F.; MENEZES, G. M. de; SILVA, W. S. da. MGIDI: uma ferramenta poderosa para analisar dados multivariados de plantas. **Plant Methods**, v. 18, n. 1, p. 121, 2022.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: Rumo a uma seleção multivariada eficaz em experimentos biológicos. **Bioinformatics**, v. 37, n. 10, p. 1383-1389, 2021.

OMOIGUI, L. O.; ISHIYAKU, M. F.; KAMARA, A. Y.; ALABI, S. O.; MOHAMMED, S. G. Variabilidade genética e estudos de herdabilidade de alguns caracteres reprodutivos em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp**.). African Journal of Biotechnology**, v. 15, p. 1191-1195, 2006.

OUATTARA, S.; COULIBALY, S.; KONE, B.; KOUADIO, NE Análise de componentes principais de características agromorfológicas em genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 19, n. 3, p. 234-242, 2024.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origem, taxonomia e morfologia de Vigna unguiculata (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN-RAJI, D. R.; DASHIEL, K. E. **Avanços na pesquisa do feijão-caupi.** Nigéria: IITA, 1997.

PALLAVI, M.; PRASAD, B. M.; SHANTHI, P.; REDDY, V. L. N.; KUMAR, A. N. Índice de distância genótipo-ideótipo para múltiplos caracteres (MGIDI) para vigor inicial da plântula e caracteres relacionados ao rendimento para identificar linhas elite em arroz (*Oryza sativa* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 15, p. 120-131, 2024.

PESSOA, A.M.S.; LEITE, M.L.M.V.; RODRIGUES, J.C.; SILVA, J.B.; OLIVEIRA, R.A.S.; SOUZA, A.G. Relações fenotípicas entre caracteres de vagens, vegetais e aspectos fisiológicos em genótipos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 57, p. 1-10, 2022.

PESSOA, A. M. S.; SILVA, E. A.; ALMEIDA, G. L.; ALVES, M. G.; SILVA, D. F. Parâmetros genéticos e índices de seleção de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 2, p. 310-319, 2023.

PEŠEK, J.; BAKER, R. J. Melhorias desejadas em relação aos índices de seleção. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 49, p. 803-804, 1969.

PÚBLIO JÚNIOR, E.; MORAIS, O. M.; ROCHA, M. M.; PÚBLIO, A. P. P. B.; BANDEIRA, A. S. Características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. **Científica**, v. 3, p. 223-230, 2017.

RAMALHO, M. A. P.; BRUZI, A. T.; TEIXEIRA, R. D. K. S. Quantitaive genetics in breeding. In: SILVA, F. L.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; LUDKE, W. H. **Soybean breeding**. Cham: Springer, 2017. Cap. 6. p. 113-129.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** 1.ed. Lavras, MG: UFLA, 2012. 522 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicação ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia, UFG, 1993. 271 p.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. v. 4.4.2. Viena: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 02 dez. 2024.

ROCHA, M. M.; CAMPELO, J. E. G.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. C. A. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi de tegumento branco. **Revista Científica Rural**, v. 8, n. 1, p. 135-141, 2003.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MENEZES-JÚNIOR, J. A. N. Cultivares. In: VALE, J.C.; BERTINI, C. H. C. M.; BORÉM, A. **Feijão-caupi**: do plantio à colheita. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017a. cap. 6, p. 113-142.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G.; LIMA, R. C.; SANTOS, J. P. de. Adaptabilidade e estabilidade de produtividade de genótipos de feijão-caupi semi-ereto na região Nordeste do Brasil por REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 862-871, 2017b.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G.; LIMA, R. C.; SANTOS, J. P. de. Yield adaptability and stability of semi-prostrate cowpea genotypes in the Northeast region of Brazil by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5, p. 879-888, 2017c.

RODRIGUES, E. V.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, R. C.; SANTOS, J. P. Selection of cowpea populations tolerant to water deficit by selection index. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 5 (Especial), p. 889-896, 2017.

SÁ, G. H. **Seleção de linhagens de feijão-caupi superiores para multicaracteres, estabilidade e adaptabilidade ao semiárido do centro-leste piauiense**. 2024. 102 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2024.

SANTANA, F. J.; PEREIRA, L. A.; SOUZA, R. B.; SILVA, A. P. Genetic parameters and selection indices of cowpea genotypes for green grain production. **Revista Caatinga**, v. 44, p. 123-134, 2023.

SANTOS, C. A. F.; SANTOS, G. M. Correlações fenotípicas em dois cruzamentos de feijão-caupi nas gerações F_2, F_3, F_4 e F_5. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, 2004. Suplemento. 1 CD-ROM.

SANTOS, E. R.; ROBERTO SPEHAR, C.; ROBERTO PEREIRA, P.; CAPONE, A.; BARROS, H. BB. Parâmetros genéticos e avaliação agronômica em progênies F_2 de soja no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, e5625, 2019.

SANTOS, I. S.; SILVA, J. M.; OLIVEIRA, A. P.; COSTA, L. F.; PINTO, A. M. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agronômicos em feijão-caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 1, p. 1-7, 2014.

SANTOS, J.B.; VENCOVSKY, R. Correlações fenotípicas e genética entre alguns caracteres agronômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L**.). Ciência e Prática**, v. 10, p. 265-272, 1986.

SAS INSTITUTE Inc. 2018. **SAS Studio 5.1**: Users Guide. Cary, NC: SAS Instiutute Inc.

SILVA, A. C.; OLIVEIRA, A. F.; PESSOA, L.M.; LIMA, J. F.; MOURA, D. G.; MENDES, T. R.; PEREIRA, E. M.; COSTA, L. F. **Ganho genético por meio da seleção simultânea de caracteres agronômicos em linhagens de feijão-caupi**. Embrapa Meio-Norte, 2018. Disponível em: [https ://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bits/item/207971/1/Resumo-Ex-V-CONAC-Santos-et-. Acesso em: 10 out. 2024.

SILVA, M. B. O.; LIMA, L. L.; ARAÚJO, S. S.; SOUSA, L. M.; ALMEIDA, R. M. de. Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1059-1066, 2018.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936.

SOUZA, T. L. P.; **Seleção de genótipos de feijão-caupi para adaptabilidade e estabilidade de produção no Estado do Piauí.** 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

SPRIGGS, A.; HENDERSON, S.; HAND, M.; JOHNSON, S.; TAYLOR, J.; KOLTUNOW, A. Assembled genomic and tissue-specific transcriptomic data resources for two genetically distinct lines of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Gates Open Research**, v. 2, n. 7, p. 1-14, 2018.

TEIXEIRA, F. G.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, R. L.; HAMAWAKI, C. L.; MATTOS, T. P.; SILVEIRA, I. C.; MEDEIROS, L. A. Inheritance

of precocity and of agronomic characters in soybean. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 4, p. 1-16, 2017.

TORRES, F. E; TEODORO, P. E.; SAGRILO, E.; CECCON, G.; CORREA, A. M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 255-260, 2015.

VERDCOURT, B. Studies in the Leguminosae-Papilionoideae for the 'Flora of Tropical East Africa': IV. **Kew Bulletin**, v. 24, n. 3, p. 507-569, 1970.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection idex. **Biometria**, v. 18, p. 375-393, 1962.