



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

MILLENA BARREIRA LOPES

**ANÁLISE DA DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE
FEIJÃO-CAUPI AJUSTADOS À AGRICULTURA FAMILIAR
ATRAVÉS DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS**

**Gurupi, TO
2025**

Millena Barreira Lopes

Análise da divergência genética de genótipos de feijão-caupi ajustados à agricultura familiar através de descritores morfoagronômicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, como requisito para à obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador (a): Prof. Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis

Gurupi, TO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L864a Lopes, Millena Barreira.
 Análise da divergência genética de genótipos de feijão-caupi ajustados à agricultura familiar através de descritores morfoagronômicos. / Millena Barreira Lopes. – Gurupi, TO, 2025.
 66 f.

 Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Produção Vegetal, 2025.
 Orientador: Rodrigo Ribeiro Fidelis

 1. Vigna unguiculata L.. 2. Caracterização fenotípica. 3. Análise Multivariada. 4. Seleção. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Millena Barreira Lopes

**Análise da divergência genética de genótipos de feijão-caupi ajustados à
agricultura familiar através de descritores morfoagronômicos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi. Foi avaliado para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de Aprovação: 15 / 08 / 2025

Banca examinadora

Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis

Professor da Universidade Federal do Tocantins - UFT

(Orientador)

Dr. Manoel Mota dos Santos

Professor da Universidade Federal do Tocantins - UFT

(Examinador Interno)

Dr. Flávio Sérgio Afféri

Professor da Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

(Examinador Externo)

Aos meus pais, Domingos (*in memoriam*) e Maria Helena, que sempre estiveram comigo, me aconselhando e apoiando em todos os momentos, minha eterna gratidão e amor.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por me proporcionar a vida e a arte de sonhar, por me ajudar e conceder forças para enfrentar os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais, Domingos Lopes da Silva (*in memoriam*) e Maria Helena Barreira Gomes, que não mediram esforços para que eu pudesse realizar esse sonho, e que sempre estiveram ao meu lado me incentivando desde o início, com muita paciência e com todo o amor do mundo.

À minha avó e ao meu irmão, Maria da Natividade de A. S. e Daniel B. Lopes, que me apoiaram e acreditaram em mim.

Ao meu marido, Celso A. Lima, que esteve presente e me encorajou durante essa jornada, agradeço por todo amor, amparo, conselhos e motivações.

As minhas amigas Ana Licia L. F., Dalilla M. de O. Moura e Letícia B. Almeida, pela assistência quando necessário, por estarem presentes em todos os momentos, participando de cada conquista ao longo dessa jornada, agradeço pela amizade sincera.

A Universidade Federal do Tocantins - UFT e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPG/PV por todo suporte.

Aos membros do Grupo de Pesquisa de Melhoramento Genético de Culturas Anuais por todo auxílio durante a execução do trabalho e pelas amizades conquistadas ao longo do processo.

Ao meu orientador, Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis, por todo conhecimento passado e pelo apoio e oportunidade concedidos para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma maneira estiveram e estão ao meu lado e colaboraram para que este momento se tornasse realidade.

Obrigada!

RESUMO GERAL

O feijão-caupi é uma cultura de relevância significativa em termos nutricionais e socioeconômicos, sendo uma fonte valiosa de proteínas e minerais, e seu cultivo é vital para garantir a segurança alimentar. A escolha de cultivares adaptadas a condições específicas é crucial para maximizar a produtividade. Estudos de diversidade genética são igualmente essenciais para a seleção de genótipos com potencial produtivo elevado e para impulsionar o progresso em programas de melhoramento genético. Este estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade genética de genótipos de feijão-caupi utilizando descritores morfoagronômicos, classificá-los com base na dissimilaridade genética e identificar combinações promissoras para cruzamentos. A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Tocantins, no Campus de Gurupi, empregando um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Foram analisados dez genótipos superiores do banco de germoplasma da Cerrado's TechAgro, com características semiprostradas, além de duas cultivares comerciais — Pingo de Ouro e BRS Novaera — utilizadas como controles. Os 47 descritores morfoagronômicos, conforme as diretrizes do MAPA, foram aplicados, incluindo variáveis quantitativas. As informações obtidas foram submetidas à análise de variância e ao teste de Scott-Knott (5%). A maior distância genética foi encontrada entre os genótipos FC 704 e FC 2407, enquanto a menor ocorreu entre FC 2416 e FC 1101. A linhagem FC 3005 destacou-se pela sua elevada produtividade e significativa divergência genética, sendo recomendada para cruzamentos com FC 1101 e FC 2407. Genótipos como FC 704, FC 2416 e FC 3005 mostraram excelente adaptabilidade, enquanto FC 305, FC 904, FC 2305, FC 2407, FC 2603 e Pingo de Ouro apresentaram estabilidade produtiva. A linhagem FC 3005 exibiu um ótimo desempenho agrônomo, mostrando-se promissora para integração em sistemas de cultivo.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L., Caracterização fenotípica, Análise Multivariada, Seleção.

GENERAL SUMMARY

Cowpea is a crop of significant nutritional and socioeconomic importance, a valuable source of protein and minerals, and its cultivation is vital to ensuring food security. Selecting cultivars adapted to specific conditions is crucial to maximizing productivity. Genetic diversity studies are equally essential for selecting genotypes with high production potential and for driving progress in genetic improvement programs. This study aimed to characterize the genetic variability of cowpea genotypes using morphoagronomic descriptors, classify them based on genetic dissimilarity, and identify promising combinations for crossbreeding. The research was conducted at the Federal University of Tocantins, Gurupi Campus, using a randomized complete block design with four replicates. Ten superior genotypes from Cerrado's TechAgro germplasm bank, with semi-prostrate characteristics, were analyzed, in addition to two commercial cultivars—Pingo de Ouro and BRS Novaera—used as controls. The 47 morphoagronomic descriptors, according to MAPA guidelines, were applied, including quantitative variables. The data obtained were subjected to analysis of variance and the Scott-Knott test (5%). The greatest genetic distance was found between genotypes FC 704 and FC 2407, while the smallest was between FC 2416 and FC 1101. The FC 3005 line stood out for its high productivity and significant genetic divergence, being recommended for crosses with FC 1101 and FC 2407. Genotypes such as FC 704, FC 2416, and FC 3005 showed excellent adaptability, while FC 305, FC 904, FC 2305, FC 2407, FC 2603, and Pingo de Ouro showed productive stability. The FC 3005 line exhibited excellent agronomic performance and is promising for integration into cropping systems.

Key words: *Vigna unguiculata* L., Phenotypic characterization, Multivariate analysis, Selection.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	12
REFERÊNCIAS.....	14
CAPÍTULO 1 - DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS.....	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4 CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2 - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI VOLTADOS À AGRICULTURA FAMILIAR ATRAVÉS DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS.....	40
1 INTRODUÇÃO	42
2 MATERIAL E MÉTODOS	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
CONCLUSÕES FINAIS.....	62

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

CAPÍTULO 1 - DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

Figura 1. Dados climatológicos referentes a precipitação, temperatura máxima, média e mínima coletados, durante o período de cultivo do feijão-caupi (29/03 a 15/06/2024), na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, em Gurupi - TO21

Figura 2. Comparação de médias para as características número de dias para o florescimento (NDF), comprimento do folíolo terminal (CFT, em cm), largura do folíolo terminal (LFT, em cm), número de dias para maturação (NDM), comprimento da vagem (CV, em cm), número de vagem por planta (NVP), número de semente por vagem (NSV), peso de mil sementes (PMS, em g), produtividade (PROD, em kg ha-1), analisadas em 12 genótipos de feijão-caupi, no decorrer do período de cultivo de 2024, em Gurupi - TO..24

Figura 3. Dendrograma obtido pelo método de agrupamento UPGMA dos genótipos de feijão-caupi, utilizando o método de distância generalizada (D2) com a avaliação das características quantitativas.....29

CAPÍTULO 2 - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI VOLTADOS À AGRICULTURA FAMILIAR ATRAVÉS DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS

Figura 1 - Dados climatológicos referentes a precipitação, temperatura máxima, média e mínima coletados, durante os dois períodos de cultivo do feijão-caupi (29/03 a 15/06/2024 e 08/03 a 30/05/2025), na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, em Gurupi - TO.45

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

Tabela 1. Análise de variância das características avaliadas no feijão-caupi durante a safrinha de 2024 em Gurupi - TO.	24
Tabela 2. Matriz de distância generalizada de Mahalanobis para as características avaliadas na cultura do feijão-caupi no ano de cultivo de 2024, em Gurupi - TO.....	27
Tabela 3. Agrupamento pelo método de otimização de Tocher dos genótipos de feijão-caupi por meio das nove características agronômicas analisadas no trabalho durante o ano de 2024, no município de Gurupi - TO.	32
Tabela 4. Contribuição relativa (Sj) e contribuição relativa percentual (%) das variáveis avaliadas nos genótipos de feijão-caupi estudados durante o ano de 2024 em Gurupi - TO ...	33

CAPÍTULO 2 - SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI VOLTADOS À AGRICULTURA FAMILIAR ATRAVÉS DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS

Tabela 1 - Análise de variância das características avaliadas no feijão-caupi durante as safrinhas de 2024 e 2025 em Gurupi-TO.	48
Tabela 2 - Comparação de médias para as características de número de dias para florescimento (NDF), comprimento do folíolo terminal (CFT) e largura do folíolo terminal (LFT) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.....	50
Tabela 3 - Comparação de médias para as características de número de dias para maturação (NDM), comprimento de vagem (CV) e número de vagens por planta (NVP) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.....	52
Tabela 4 - Comparação de médias para as características de altura de planta (AP) e diâmetro de planta (DP) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.	55
Tabela 5 - Comparação de médias para as características de número de sementes por vagem (NSV), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.....	57
Quadro 1 - Descritores morfológico avaliados em 12 genótipos de feijão-caupi durante os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO: hábito de crescimento (CARAC.1); porte (CARAC.2); formato do folíolo terminal (CARAC.3); cor primária do	

estandarte (CARAC.4); cor primária da asa (CARAC.5); cor primária do cálice (CARAC.6); cor primária da vagem (CARAC.7); distribuição predominante das vagens em relação às folhagens (CARAC.8) (continua)..... 60

Quadro 2 - Descritores morfológico avaliados em 12 genótipos de feijão-caupi durante os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO: Cor primária da semente (CARAC.9); textura da semente (CARAC.10); formato da semente (CARAC.11); brilho da semente (CARAC.12); cor do anel do hilo (CARAC.13); presença do halo (CARAC.14).....61

INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] é uma cultura essencial para a nutrição humana e segurança alimentar, ao mesmo tempo em que fornece aos agricultores uma fonte de renda (BOUKAR et al., 2016). Este alimento indispensável é rico em proteínas e minerais, apresentando cultivares biofortificadas que contêm quantidades elevadas de ferro e zinco, além de ser uma espécie adaptada a uma extensa faixa de ambientes subtropicais e tropicais do mundo (FREIRE FILHO et al., 2011). Trata-se do segundo feijão mais cultivado no Brasil, apresentando projeção de produção para a safra 2024/2025 estimada em 648,1 mil toneladas, com produtividade média de 513 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025).

Sua aceitação na região Nordeste decorre em grande parte de sua adaptabilidade a climas tropicais, requisitos mínimos de água, ciclo de crescimento curto e resistência em solos de baixa fertilidade. Nesta região do país, é cultivado principalmente por pequenos e médios produtores que utilizam tecnologia limitada, tal qual serve como alimento básico crucial para populações empobrecidas, contribuindo para a geração de renda e oportunidades de emprego, estimulando assim a economia e apoiando uma cadeia de produção que conecta agricultores familiares a empresas e consumidores finais (SILVA; ROCHA; MENEZES JÚNIOR, 2016; DO VALE; BERTINI; BORÉM, 2017).

Historicamente, o cultivo desta cultura estava principalmente nas mãos de pequenos produtores que dependiam do trabalho manual para quase todos os aspectos da produção, levando a uma gama diversificada de grãos que complicavam o comércio em larga escala e o crescimento do mercado devido à falta de uniformidade do produto de várias fontes. No entanto, os avanços em cultivares melhorados, juntamente com a infraestrutura moderna e operações em larga escala que facilitaram a agricultura mecanizada, permitiram que fosse integrado como cultura secundária após o cultivo da soja. Em certas regiões, tornou-se até mesmo a cultura primária dentro dos sistemas de produção das áreas do cerrado, e produtores de médio a grande porte nas regiões Nordeste, Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil começaram a adotar seu cultivo (FREIRE FILHO; RIBEIRO, 2023).

Identificar cultivares que são adequadas para regiões de cultivo específicas é crucial para alcançar melhores resultados e elevadas produtividades. Conforme observado por Santos (2013), avaliar novas cultivares dentro das condições climáticas da área de cultivo pretendida considera fatores como práticas de manejo, sistema de produção e nível de tecnologia empregado, sendo que, esta avaliação não é apenas necessária, mas também indispensável para orientar os produtores sobre as cultivares apropriadas a serem selecionadas.

Portanto, é essencial conhecer as características das cultivares em desenvolvimento para conduzir o melhoramento genético para cada tipo de cultivo, visto que, no processo de desenvolvimento de cultivares, avaliar características morfoagronômicas em vários ambientes é fundamental para caracterizá-las em termos de componentes de produção, o que facilita recomendações direcionadas para cada região (DA SILVA, 2022). É crucial destacar que a qualidade do material genético fornecido aos produtores e ao mercado influencia significativamente o sucesso de uma cultura.

O ensaio de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade - DHE, teste exigido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), serve como requisito de avaliação comparativa e caracterização para aplicações de proteção de cultivares. Durante este teste, cultivares propostas para liberação são avaliadas juntamente com cultivares já registradas do mesmo grupo comercial, o objetivo é conduzir uma caracterização comparativa para evitar registros duplicados. Também é vital observar que o objetivo fundamental deste teste é a caracterização fenológica do material genético.

Além disso, dada a importância da cultura no país, é essencial conduzir estudos que avaliem a divergência genética, com o objetivo de identificar genótipos mais divergentes que possuam maior potencial produtivo para futuras iniciativas de melhoramento. Essa análise facilita a avaliação da divergência entre progenitores, permitindo a identificação de combinações híbridas que provavelmente exibirão os maiores efeitos heteróticos e a máxima heterozigosidade, aumentando assim a probabilidade de gerar populações segregantes promissoras para o desenvolvimento de cultivares superiores (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011).

Conseqüentemente, objetivou-se caracterizar a variabilidade genética de genótipos de feijão-caupi através de descritores morfoagronômicos; categorizá-los em grupos com base na dissimilaridade genética e; avaliar a divergência genética entre esses genótipos visando destacar combinações promissoras para um programa de melhoramento genético adaptado às condições edafoclimáticas no sul do estado do Tocantins.

REFERÊNCIAS

- BOUKAR, O., FATOKUN, C. A.; HUYNH, B. L.; ROBERTS, P. A.; CLOSE, T. J. Genomic Tools In Cowpea Breeding Programs: Status and Perspectives. **Frontiers In Plant Science**, [s.l.], v. 7, p.1-13, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00757>>.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Safra de grãos**, Brasília, DF, v.12, Safra 2024/25, n. 10, décimo levantamento, julho 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/10o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safra-10o-levantamento-2025.pdf>.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética. **Visconde do Rio Branco: Suprema**, p.620, 2011.
- DA SILVA, Y. M. **Desempenho morfoagronômico de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) no centro-norte do Espírito Santo**. Monografia (graduação em Agronomia) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso de Agronomia. Santa Teresa, p.43, 2022.
- DO VALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. Feijão-caupi: do plantio à colheita. **Editora UFV**, p.267, 2017.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Feijão-Caupi na Embrapa Meio-Norte: melhoramento, cultivares lançadas, genealogias e base genética. 1. ed. Brasília, DF: **Embrapa**, p.1039, 2023.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M., SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. 1. ed. Teresina, PI: **Embrapa Meio-Norte**, p.84, 2011.
- SANTOS, J. F. Produtividade de cultivares de feijão-caupi no Agreste Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa-PB, v.7, n.4, p. 31-36, 2013.
- SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Principais doenças do feijão-caupi no Brasil. In: BASTOS, E. A. (Ed). A cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: **Embrapa Meio Norte**. p. 44-67, 2016.

CAPÍTULO 1

DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

RESUMO

O feijão-caupi, originário da África, é amplamente cultivado em diversas regiões tropicais e subtropicais do mundo, como América do Sul, sudeste Asiático e sul dos Estados Unidos. Sua importância se deve ao alto valor nutricional, com grande quantidade de proteínas, vitaminas e minerais, tornando-se uma das principais culturas agrícolas em climas quentes e secos. A caracterização morfoagronômica no feijão-caupi está tornando-se essencial para a exploração dos estudos de divergência genética, que são fundamentais para a conservação e utilização do germoplasma, bem como auxiliam na criação de novas cultivares. Objetivou-se com este estudo identificar genótipos de feijão-caupi com maior potencial fenotípico, avaliando sua divergência genética visando aprimorar o programa de melhoramento genético e fornecer informações para a recomendação de cultivares adequadas às condições edafoclimáticas do sul do estado do Tocantins. O experimento foi realizado na Universidade Federal do Tocantins, no Campus Universitário de Gurupi, durante a safra de 2024, utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. As avaliações foram realizadas em 10 genótipos superiores do banco de germoplasma do programa de melhoramento de feijão-caupi da Cerrado's TechAgro, que apresentaram características de porte semiprostrado. Como referência, foram utilizadas duas cultivares comerciais - Pingo de Ouro e BRS Novaera - como controles. Os resultados mostraram que a maior distância genética foi observada entre as linhagens FC 704 e FC 2407, enquanto a menor distância ocorreu entre FC 2416 e FC 1101. A linhagem FC 3005 se destacou por apresentar alta produtividade de grãos e divergência genética significativa em relação à maioria dos outros genótipos avaliados. Essa linhagem mostrou-se promissora e com potencial para participar de novos cruzamentos híbridos, especialmente com as linhagens FC 1101 e FC 2407, visando o aprimoramento da produtividade e o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas à região.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L., Variabilidade, Análise Multivariada, Dissimilaridade.

ABSTRACT

Cowpea, originally from Africa, is widely cultivated in several tropical and subtropical regions of the world, such as South America, Southeast Asia, and the southern United States. Its importance stems from its high nutritional value, with a large amount of protein, vitamins, and minerals, making it one of the main agricultural crops in hot, dry climates. Morphoagronomic characterization of cowpea is becoming essential for exploring genetic divergence studies, which are fundamental for the conservation and utilization of germplasm, as well as aiding in the creation of new cultivars. The objective of this study was to identify cowpea genotypes with the greatest phenotypic potential, assessing their genetic divergence, and improve breeding programs and provide information for recommending cultivars suited to the soil and climate conditions of southern Tocantins. The experiment was conducted at the Federal University of Tocantins, Gurupi Campus, during the 2024 second crop, using a randomized complete block design with four replicates. Evaluations were made on 10 superior genotypes from the gene bank of Cerrado's TechAgro cowpea breeding program, which exhibited semi-prostrate plant growth. Two commercial cultivars—Pingo de Ouro and BRS Novaera—were used as reference controls. The results showed that the greatest genetic distance was observed between lines FC 704 and FC 2407, while the smallest distance was between FC 2416 and FC 1101. Line FC 3005 stood out for its high grain yield and significant genetic divergence from most of the other genotypes evaluated. This lineage showed promise and potential to participate in new hybrid crosses, especially with the FC 1101 and FC 2407 lines, aiming at improving productivity and developing cultivars better adapted to the region.

Key words: *Vigna unguiculata* L., Variability, Multivariate Analysis, Dissimilarity.

1 INTRODUÇÃO

As leguminosas desempenham papel significativo na nutrição humana, oferecendo grande quantidade de fibras, vitaminas e minerais. Originário da África, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) tem sido amplamente cultivado em regiões como América do Sul, sudeste Asiático e sul dos Estados Unidos (RIBEIRO et al., 2022). Esta leguminosa em particular é notável por seu grão, que é abundante em proteínas, vitaminas e minerais, estabelecendo-o como uma das principais culturas em climas tropicais e semiáridos (XIONG et al., 2016).

Para pequenos agricultores, as vantagens de cultivar o feijão-caupi são substanciais, pois apresenta ciclo curto, requer menor demanda hídrica e prospera em solos com baixa fertilidade (BOUKAR et al., 2016). Além disso, tem capacidade de estabelecer relações simbióticas com rizóbios, que convertem nitrogênio atmosférico em compostos disponíveis para as plantas absorverem (QUIN, 1997). Sendo assim, serve como cultura crucial para agricultores em áreas desafiadoras afetadas por altas temperaturas e umidade, devido à sua adaptabilidade a solos adversos e resistência à seca (HILL, 2015).

O Brasil está entre os quatro maiores produtores da cultura no mundo, projetando produção estimada de 648,1 mil toneladas para o ano agrícola de 2024/2025, ficando atrás da Nigéria, Níger e do Burkina Faso, sendo os dois primeiros países ultrapassando 2,0 milhões de toneladas em produção (CONAB, 2025; FAO, 2024). O Tocantins surge como um dos principais produtores do país, alcançando produtividade de 1118 kg ha⁻¹, sendo o único grande produtor da região Norte, contribuindo com 86,4 mil toneladas para a produção total do ano agrícola de 2024/2025 (CONAB, 2025).

A exploração da diversidade genética no feijão-caupi tem se concentrado principalmente na caracterização morfoagronômica e nutricional. A caracterização morfológica desempenha papel crucial na classificação taxonômica e avaliação agrônômica de espécies de plantas (ORTIZ et al., 2008). Este processo envolve a observação de variáveis qualitativas e quantitativas de descritores morfológicos que são facilmente identificáveis a olho nu tanto na planta quanto em seus grãos (BURLE; OLIVEIRA, 2010). Ao utilizar marcadores morfológicos, os pesquisadores podem reunir informações sobre a diversidade genética com base no desempenho genotípico, que pode variar durante diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento, bem como em vários ambientes de cultivo (GUMEDE et al., 2022).

A qualidade dos genótipos disponíveis para satisfazer as diversas necessidades do programa de melhoramento será influenciada pela diversidade incorporada na base genética (GOMES et al., 2020). No caso do feijão-caupi, essas necessidades abrangem alto rendimento

de grãos, ampla adaptabilidade e estabilidade, resistência a vírus, seca e temperaturas elevadas, bem como precocidade e ausência de acamamento (DE OLIVEIRA et al., 2019).

Estudos de divergência possuem valor significativo, pois avaliam a natureza da variação existente visando preservar e manter o germoplasma dentro de coleções nucleares, ao mesmo tempo em que estabelecem grupos heteróticos para orientar cruzamentos que podem levar à criação de populações segregantes superiores (TORRES FILHO et al., 2018).

A avaliação da divergência genética entre um conjunto de progenitores pode assumir uma forma quantitativa ou preditiva. Quanto a primeira abordagem, cita-se a análise dialélica, que permite a avaliação das habilidades de combinação gerais e específicas, bem como da heterose observada em híbridos, necessitando da avaliação de um conjunto de genitores, junto com todas as suas combinações híbridas, resultando em dificuldades de sua aplicação quando o número de genitores é elevado (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008; OLIBONI, 2009). Já os métodos preditivos de divergência entre progenitores são particularmente notáveis, pois dependem de distinções morfológicas, fisiológicas ou moleculares sem a necessidade de combinações híbridas anteriores (CARGNELUTTI FILHO et al., 2008). Entre essas técnicas preditivas, a análise de agrupamento, também conhecida como análise de *Cluster*, é proeminente; ela busca categorizar os pais em grupos com base em critérios de classificação específicos, garantindo homogeneidade dentro de cada grupo e heterogeneidade entre diferentes grupos (MINGOTI, 2007). Este método é eficaz para identificar genótipos divergentes que têm maior probabilidade de sucesso em cruzamentos.

Os grupos são criados utilizando técnicas de agrupamento que dependem de medidas de dissimilaridade, como as distâncias Euclidiana média padronizada e a Generalizada de Mahalanobis (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020). A segunda abordagem fornece o benefício de considerar as correlações entre as características analisadas por meio da matriz de variâncias e covariâncias residuais, embora necessite de experimentos repetidos (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

As técnicas multivariadas envolvem a avaliação simultânea de diversas características, possibilitando uma variedade de inferências, e alguns exemplos de estatísticas multivariadas que empregam métodos de agrupamento incluem técnicas hierárquicas e de otimização. Em abordagens hierárquicas, os genótipos passam por um processo de agrupamento que é reiterado em vários níveis até que um dendrograma seja formado, sem considerar a quantidade ideal de grupos, como visto no método UPGMA (*Unweighted Pair Group Mean Average*). Por outro lado, os métodos de otimização categorizam os pais em subgrupos com base em critério predeterminado (TEODORO et al., 2019). O agrupamento de Tocher (RAO et al., 1981), uma

das técnicas de otimização mais utilizadas, garante que a média das medidas de dissimilaridade intragrupo seja menor do que a das distâncias intergrupo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Essas abordagens de agrupamento estão sendo aplicadas às pesquisas do feijão-caupi (PASSOS et al., 2007; SANTOS et al., 2014) com o objetivo de minimizar o número de características, agilizando assim o cálculo das distâncias genéticas (CORREA; GONÇALVES, 2012).

Assim, objetivou-se com este estudo identificar linhagens de feijão-caupi com potencial fenotípico superior e avaliar a divergência genética entre os genótipos, com foco nos que apresentam maior potencial produtivo para aprimorar o programa de melhoramento e contribuir para recomendações de futuras novas cultivares, adequadas às condições edafoclimáticas no sul do estado do Tocantins, para agricultores da região.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em campo, na safrinha do ano agrícola de 2024 com semeadura realizada no dia 29 de março de 2024, na área experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, localizado na região sul do Estado do Tocantins, à 280 m de altitude, 11°43'45'' de latitude, 49°04'07'' de longitude. O clima da região é classificado como B1wA'a', definido como tropical úmido com uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno (KÖPPEN, 1948). As médias históricas locais indicam temperatura máxima média de 32,6 °C e mínima média de 20,7 °C, juntamente com precipitação média anual de 1735,5 mm (DOS SANTOS; JOSÉ; SOUSA, 2013). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho – Amarelo distrófico com textura média (EMBRAPA, 2014).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental compreendeu quatro linhas, cada uma medindo 5,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,5 m entre linhas. As duas linhas centrais, medindo 4,0 m de comprimento cada, foram designadas como área útil, desprezando-se 0,5 m de ambas as extremidades. Foi obtida a densidade de plantas desejadas e o estabelecimento do estande final, com 10 plantas por metro, totalizando 200 mil plantas por hectare.

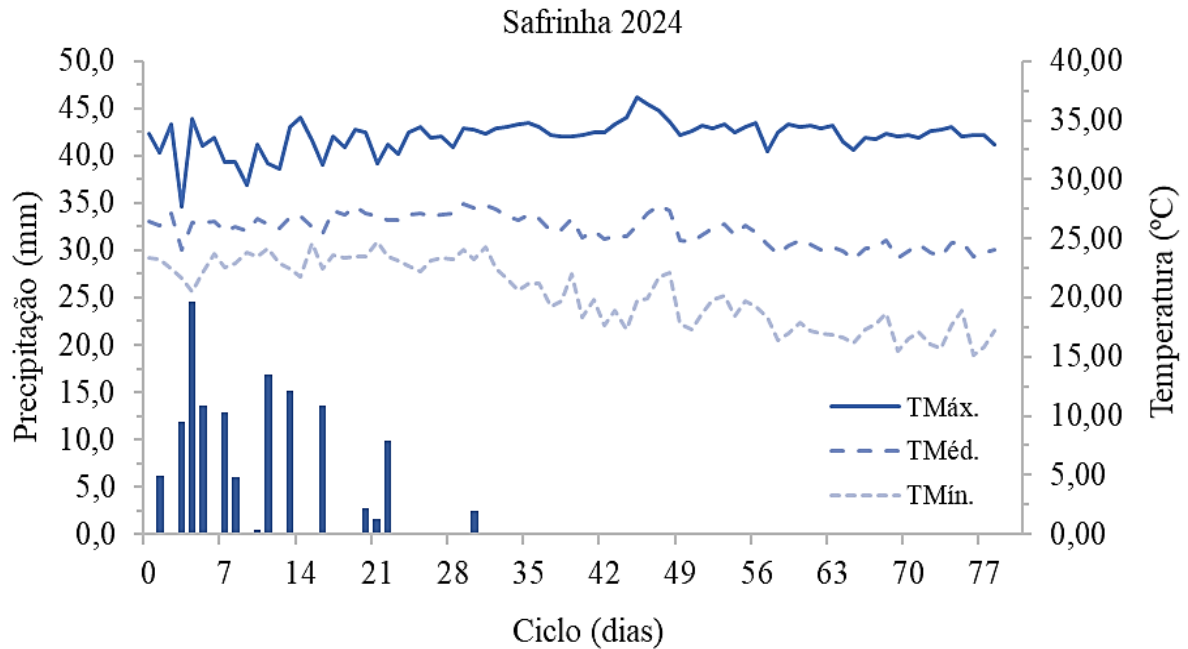
As sementes foram tratadas com inseticida do grupo químico Tiometoxam (200 ml de p.c. para cada 100 kg de sementes) e fungicida/nematicida pertencente ao grupo químico Tiofanato-metílico e Fluazinam (180 ml de p.c. para cada 100 kg de sementes). Para o manejo de plantas daninhas foi realizado capina manual e aplicação de herbicidas, dos grupos químicos

Quizalofop-P-etílico (1,5 L ha⁻¹ de p.c) e Cletodim, Alquilbenzeno (450 ml ha⁻¹ de p.c.). Medidas de controle de insetos-pragas foram implementados conforme necessidade durante todo o ciclo da cultura, empregando inseticidas dos grupos químicos Acetamiprido e Bifentrina (250 g ha⁻¹ de p.c.), Benzoato de emamectina (200 g ha⁻¹ de p.c.) e Tiametoxam e Lambda-cialotrina (120 ml ha⁻¹ de p.c.). As aplicações foram realizadas entre 16 h e 18 h, utilizando bomba costal elétrica com vazão de 2,9 L/min, resultando em uma taxa aproximada de 212 L/ha.

Para suprir as exigências nutricionais do feijão-caupi, foi realizada a adubação seguindo as recomendações para a cultura e definida conforme as análises químicas e físicas do solo, realizada na camada de 0-20 cm: pH em CaCl₂ de 6,1; 10,8 mg dm⁻³ de P (Mehlich 1); 105 mg dm⁻³ de K; 1,7 cmolc dm⁻³ de Ca; 0,6 cmolc dm⁻³ de Mg; 0,0 cmolc dm⁻³ de Al; 1,30 cmolc dm⁻³ de H+Al; 1,70 dag kg⁻¹ de M.O; 26 mg dm⁻³ de Fe; 66% de saturação por base; 700 g kg⁻¹ de areia; 50 g kg⁻¹ de silte e 250 g kg⁻¹ de argila. A adubação de base foi realizada utilizando formulado NPK 05-25-15 na dose de 120 Kg ha⁻¹. Posteriormente, foi aplicada a adubação de cobertura aos 15 dias após a emergência (DAE) com 53,3 kg ha⁻¹ de ureia, seguida de aplicação aos 25 DAE com 13,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Ao longo do experimento, foram coletados diariamente dados sobre temperaturas máximas, médias e mínimas, bem como níveis de precipitação (Figura 1). Para garantir umidade adequada do solo durante a ausência de chuvas, no período de desenvolvimento da cultura, foram empregados aspersores convencionais para irrigação suplementar com turno de rega de 24 horas e duração operacional de uma hora de funcionamento, com vazão aproximada de 20 mca, disponibilizando 5,2 mm/hora de lâmina de água.

Figura 1. Dados climatológicos referentes a precipitação, temperatura máxima, média e mínima coletados, durante o período de cultivo do feijão-caupi (29/03 a 15/06/2024), na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, em Gurupi - TO



Precipitação total durante o período de cultivo de 138,20 mm. Informações da temperatura média diária para o acumulado semanal em análise, em que: Temperatura Média Diária = $((t9 + 2 \cdot (t21) + tmáx + tmín) / 5)$, onde: $t9$ = Temperatura do ar às 9 horas (°C); $t21$ = Temperatura do ar às 21 horas (°C); $tmáx$ = Temperatura máxima do ar (°C); $tmín$ = Temperatura mínima do ar (°C). Fonte: INMET, 2024.

A diversidade genética dos genótipos em análise, derivados do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Cerrado's TechAgro, originaram-se de um cruzamento dialélico envolvendo 9 genitores femininos e 4 masculinos. Este processo resultou na criação de 36 populações segregantes, que foram conduzidas pelo método de Bulk sob as condições edafoclimáticas da região sul do estado do Tocantins. A seleção foi feita para plantas superiores após a obtenção de alto grau de homozigose, e testes de progênie foram conduzidos para identificar genótipos promissores com base nas características agrônômicas desejadas.

As avaliações foram conduzidas em 10 genótipos superiores escolhidos do banco de germoplasma, que exibiram características de porte prostrado e semiprostrado: FC 104, FC 305, FC 704, FC 904, FC 1101, FC 2305, FC 2407, FC 2416, FC 2603 e FC 3005. Para comparação, duas cultivares comerciais - Pingo de Ouro e BRS Novaera – foram utilizadas como controles, selecionadas por sua prevalência na região e seu papel como referências para características agrônômicas. As linhagens foram escolhidas com o propósito de beneficiar agricultores familiares da região.

O estudo utilizou as seguintes características para a análise de divergência genética: número de dias para floração; número de dias para maturação; comprimento do folíolo terminal; largura do folíolo terminal; comprimento da vagem; número de vagens por plantas; número de sementes por vagem; peso de mil sementes e produtividade. As nove características foram avaliadas da seguinte maneira (MAPA, 2010; FERREIRA; SILVA, 2023):

1. Número de dias para florescimento (NDF) – refere-se ao número de dias contados da emergência até o florescimento pleno, ou seja, quando 50% das plantas apresentam ao menos uma flor aberta;
2. Número de dias para maturação (NDM) – refere-se ao número de dias contados da emergência até o ponto de colheita das sementes, que ocorre quando as sementes estão completamente desenvolvidas e secas.
3. Comprimento do folíolo terminal em cm (CFT) – determina-se medindo da base até a extremidade do folíolo terminal;
4. Largura do folíolo terminal em cm (LFT) – obtida ao medir a distância entre as bordas da base do folíolo terminal;
5. Comprimento da vagem em cm (CV) – mensurado da base da vagem até sua ponta;
6. Número de vagens por planta (NVP) – calculado através da contagem total de vagens presentes em cada planta;
7. Número de sementes por vagem (NSV) – resultado da divisão entre o total de sementes e o total de vagens da planta;
8. Peso de mil sementes em gramas (PMS) – média obtida a partir do peso, em gramas, de quatro amostras de mil sementes, com umidade corrigida para 13%;
9. Produtividade de grãos em kg ha⁻¹ (PROD) – calculada com base na massa total de grãos da área útil, em quilogramas, ajustada para um teor de umidade de 13% no grão e corrigido para hectare.

Os dados coletados passaram por análise de variância por meio da aplicação do teste F com nível de significância a 5%. Nos casos em que surgiram diferenças significativas entre as características examinadas, o teste Scott-Knott foi utilizado para comparar médias entre os genótipos estudados, com nível de probabilidade de 5%. As análises estatísticas foram conduzidas usando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2024).

Posteriormente, a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) foi calculada para todos os pares de genótipos utilizando as médias das características avaliadas no ano de cultivo e considerando as correlações entre as variáveis analisadas (MAHALANOBIS, 1936), onde:

$$D^2_{ii'} = \delta' \psi^{-1} \delta$$

$D^2_{ii'}$ = representa a distância de Mahalanobis entre os genótipos i e i' ;

ψ = denota a matriz de variâncias e covariâncias residuais;

δ' = é definido como $[d_1 \ d_2 \ \dots \ d_v]$, onde $d_j = Y_{ij} - Y_{i'j}$, com Y_{ij} sendo a média do i -ésimo genótipo em relação à j -ésima variável.

A partir da matriz de distância generalizada (D^2), foram feitas as seguintes estimativas:

1) o agrupamento dos genótipos via método de otimização de Tocher, sugerido por Rao (1952);
 2) dendrograma criado utilizando o método de agrupamento hierárquico baseado na ligação média entre grupos (UPGMA), onde a seleção deste método foi guiada pelo maior coeficiente de correlação cofenética (CCC) e a distorção mínima do dendrograma; 3) o valor de contribuição relativa (S_j) e a contribuição percentual relativa (%) das variáveis para a diversidade genética, fundamentada na metodologia de Singh (1981). As análises foram conduzidas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os genótipos estudados para todas as características avaliadas (Tabela 1), evidenciando que existe variabilidade genética entre os genótipos analisados, demonstrando ser promissora a inclusão destes em estudos de divergência genética. De acordo com Pimentel-Gomes (2022), os coeficientes de variação para as variáveis analisadas apresentados são considerados baixos ($< 10\%$) e médios (10 a 20%), demonstrando boa precisão experimental.

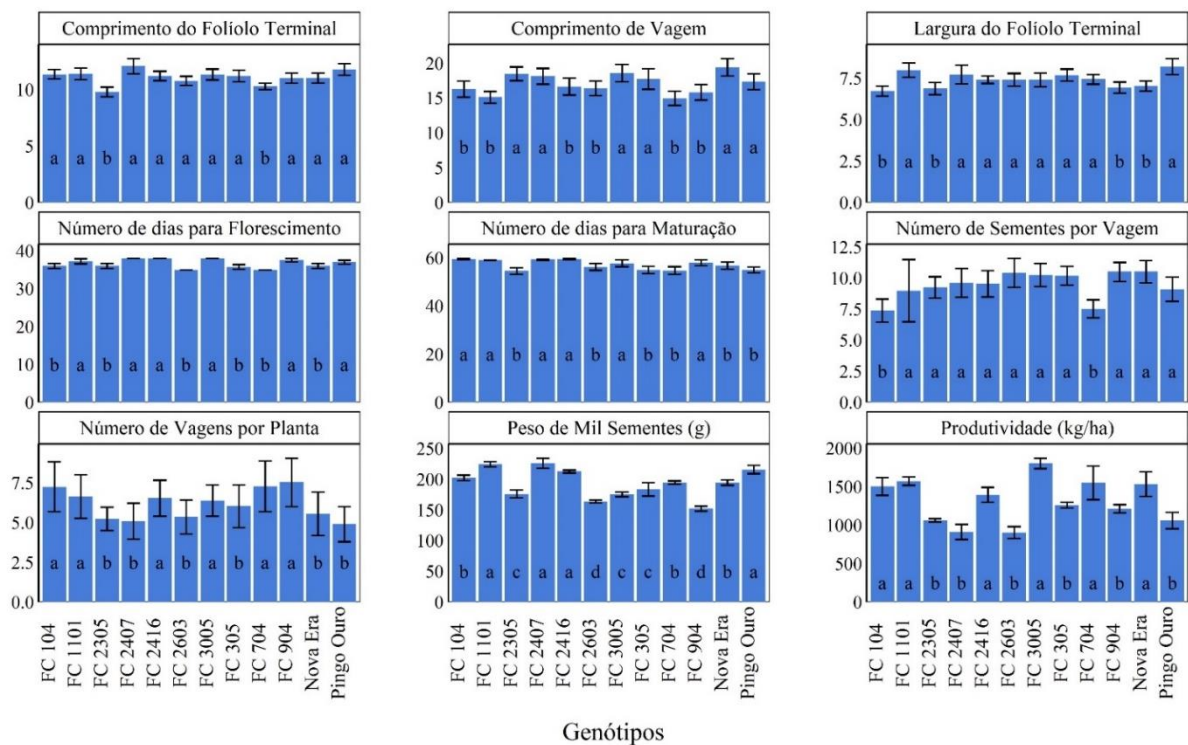
Conforme observado na Figura 2, as médias das características avaliadas demonstram a variabilidade genética entre os genótipos estudados, uma vez que houve a formação de grupos estatísticos em todas as variáveis analisadas, sendo dois grupos para as características de comprimento do folíolo terminal, comprimento de vagem, largura do folíolo terminal, número de dias para florescimento, número de dias para maturação e produtividade, e quatro grupos estatísticos para a variável peso de mil sementes, sendo esta última a característica que apresentou maior variabilidade.

Tabela 1. Análise de variância das características quantitativas avaliadas no feijão-caupi durante a safrinha de 2024, em Gurupi-TO.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO								
		NDF	CFT	LFT	NDM	CV	NVP	NSV	PMS	PROD
Blocos	3	1,14	0,31	0,66	8,74	8,72	2,48	1,02	27,06	198990,42
Genótipos	11	5,16*	1,51*	0,83*	15,61*	8,16*	3,41*	4,62*	2287,92*	336145,10*
Resíduo	33	1,06	0,36	0,19	6,62	1,20	1,29	1,26	178,16	45962,74
Total	47									
CV (%)		2,82	5,38	5,96	4,51	6,41	18,48	11,91	6,90	16,33
Média Geral		36,63	11,11	7,40	57,10	17,07	6,14	9,43	193,41	1312,61

*significativo para $p < 0,05$ pelo teste F. NDF: Número de dias para o florescimento; CFT: Comprimento do folíolo terminal (cm); LFT: Largura do folíolo terminal (cm); NDM: Número de dias para maturação; CV: Comprimento da vagem (cm); NVP: Número de vagem por planta; NSV: Número de semente por vagem; PMS: Peso de mil sementes (g); PROD: Produtividade (kg ha^{-1}).

Figura 2. Comparação de médias para as características número de dias para o florescimento (NDF), comprimento do folíolo terminal (CFT, em cm), largura do folíolo terminal (LFT, em cm), número de dias para maturação (NDM), comprimento da vagem (CV, em cm), número de vagem por planta (NVP), número de semente por vagem (NSV), peso de mil sementes (PMS, em g), produtividade (PROD, em kg ha^{-1}), analisadas em 12 genótipos de feijão-caupi, no decorrer do período de cultivo de 2024, em Gurupi - TO.



Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. *As barras de erro correspondem ao erro padrão da média.

Pode-se observar que os genótipos FC 1101, FC 2407, FC 2416 e Pingo de Ouro obtiveram as maiores médias de peso de mil sementes, bem como constituíram os grupos de maiores médias para comprimento e largura do folíolo terminal (Figura 2). A área foliar constitui uma variável de crescimento que serve como parâmetro para avaliar a produtividade das plantas. Isso se deve ao fato de que a fotossíntese, realizada pelas plantas, está diretamente ligada à capacidade do dossel em absorver a energia luminosa e convertê-la em energia química, resultando em significativa tendência de movimentação de sólidos solúveis entre os diversos órgãos da planta em direção aos grãos (HARA et al., 2022).

Todos os genótipos apresentaram maturação precoce (< 70 dias) (Figura 2). A característica permite que os agricultores utilizem a cultivar em sucessão de cultura, após a cultura principal, semeando-a depois do meio da estação chuvosa e, portanto, tendo uma estação chuvosa mais curta para completar o ciclo (OLIVEIRA et al., 2017). Além disso, torna-se opção interessante para os agricultores das terras baixas, uma vez que a utilização de variedades precoces permite aos agricultores cultivá-la com mais frequência do que as demais, antes do nível da água subir (HARA et al., 2022).

A característica de comprimento de vagem mostra que os genótipos FC 2305, FC 2407, FC 3005, FC 305, BRS Novaera e Pingo de Ouro foram responsáveis por constituir o grupo com maiores médias. Em termos de número de sementes por vagem, os genótipos de maior destaque foram FC 1011, FC 2305, FC 2407, FC 2416, FC 2603, FC 3005, FC 305, FC 904, BRS Novaera e Pingo de Ouro. As linhagens FC 104, FC 1011, FC 2416, FC 3005, FC 704 e FC 904 foram superiores quanto ao número de vagens por planta. Quanto a produtividade, os genótipos FC 104, FC 1101, FC 2416, FC 3005, FC 704 e BRS Novaera destacaram-se representando o grupo superior, sendo a linhagem FC 3005 a de maior média, com 1 801,97 kg ha⁻¹ (Figura 2), sendo maior que a produtividade total do estado 1 118 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025).

Com base nas características de peso de mil sementes, número de sementes por vagem, número de vagens por planta e produtividade, as linhagens FC 1101, FC 2416 e FC 3005 demonstraram potencial para desenvolver novas linhagens dentro do programa de melhoramento e são promissoras para cruzamentos futuros. Sendo assim, essas linhagens são favoráveis para a região, particularmente a linhagem FC 3005, que produziu 269,44 kg ha⁻¹ e 743,91 kg ha⁻¹ a mais que as cultivares comerciais BRS Novaera e Pingo de Ouro, respectivamente, neste ano.

Estimativas de distâncias genéticas derivadas da distância generalizada de Mahalanobis, baseada em características fenotípicas em todas as combinações dos 12

genótipos de feijão-caupi examinados, revelam que a maior distância genética foi encontrada entre as linhagens FC 704 e FC 2407 ($D^2 = 67,88$), seguida pelas linhagens FC 3005 e 2407 ($D^2 = 55,83$) e FC 904 e 2407 ($D^2 = 54,26$) (Tabela 2). As maiores distâncias significam maior variabilidade entre os genótipos, sendo este um aspecto muito importante para programas de melhoramento. Esses genótipos podem ser utilizados como linhagens parentais para estabelecer uma população base para um programa de melhoramento. De acordo com Passos et al. (2007), quando esses genótipos são combinados, eles podem aumentar a eficiência em produzir híbridos que superam seus progenitores. É crucial destacar que a dissimilaridade não é fator exclusivo; buscar combinações geneticamente divergentes é essencial, mas deve-se ser combinado com características agronômicas e adaptativas desejáveis.

Por outro lado, o par de linhagens FC 2416 e FC 1101 exibiu o menor valor de divergência ($D^2 = 7,03$), significando alto grau de similaridade entre esses dois genótipos em relação aos caracteres analisados (Tabela 2). Tais pares não são recomendados para uso em programas de melhoramento genético por cruzamento, pois compartilham o mesmo padrão de semelhanças, de modo que a variabilidade genética, essencial em qualquer programa de melhoramento, seja limitada, inviabilizando a obtenção de ganhos por meio da seleção (SANTOS et al., 2014). Sendo assim, a distância genética máxima obtida representa o genótipo mais divergente e a menor distância, o genótipo mais semelhante.

Tabela 2. Matriz de distância generalizada de Mahalanobis para as características avaliadas na cultura do feijão-caupi no ano de cultivo de 2024, em Gurupi - TO

Genótipos*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FC 104	0											
FC 1101	26,65	0										
FC 2305	50,26	44,87	0									
FC 2407	48,32	30,20	48,95	0								
FC 2416	21,39	7,03	28,54	15,78	0							
FC 2603	45,79	43,92	15,98	51,97	33,94	0						
FC 3005	44,59	41,88	16,21	55,83	26,99	31,70	0					
FC305	35,70	24,21	9,35	30,32	16,12	10,35	14,70	0				
FC 704	24,53	16,84	33,20	67,88	25,43	35,01	39,68	24,99	0			
FC 904	31,84	43,53	27,87	54,26	25,66	19,05	27,83	25,05	38,85	0		
BRS Novaera	38,50	38,19	15,03	39,11	24,18	26,64	10,53	9,00	41,12	39,71	0	
Pingo de Ouro	53,29	20,74	31,47	10,12	15,12	39,54	40,56	15,74	44,82	52,92	30,06	0

*Genótipos: 1 (FC 104); 2 (FC 1101); 3 (FC 2305); 4 (FC 2407); 5 (FC 2416); 6 (FC 2603); 7 (FC 3005); 8 (FC 305); 9 (FC 704); 10 (FC 904); 11 (BRS Novaera); 12 (Pingo de Ouro).

O método hierárquico da ligação média entre grupos UPGMA facilitou a visualização do ponto de corte no dendrograma, conforme determinado pelo critério do método de Mojena (1977), em 33,13%, alinhando-se com a maior distância observada nos níveis de fusão. Seguindo o ponto de corte definido por Mojena com $k=1,25$, os genótipos foram categorizados em três grupos distintos (Figura 3).

As linhagens FC 104 e FC 704 compuseram o Grupo I, que evidenciaram tempo médio de floração de 35,5 dias e produziram média de 7,26 vagens por planta. O Grupo II incluiu os genótipos FC 1101, FC 2407, FC 2416 e Pingo de Ouro, que apresentaram média de 9,31 sementes por vagem e peso de mil sementes de 219,74 gramas. O maior grupo (Grupo III), compreendeu os genótipos FC 2305, FC 2603, FC 3005, FC 305, FC 904 e Novaera (Figura 3). Foi observado que os genótipos apresentaram padrão disperso devido ao número significativo de grupos observados, categorizados visualmente em 9 grupos distintos, o que confirmou a presença de variabilidade genética para as características analisadas.

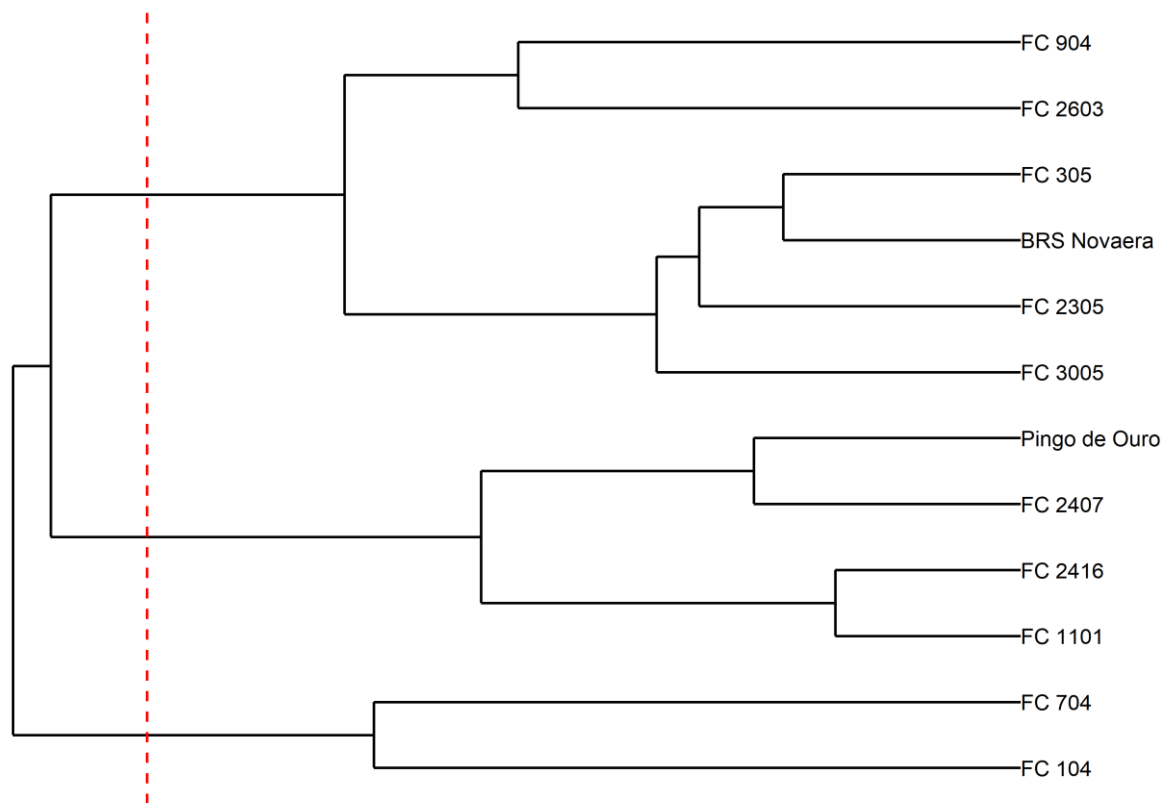
Por meio do estudo da diversidade genética, pode-se identificar as combinações híbridas ideais, que exibem o maior efeito heterótico e heterozigosidade, facilitando a descoberta de genótipos superiores enquanto diferencia indivíduos divergentes. Este processo auxilia na seleção de pares mais promissores para cruzamento (PASSOS et al., 2007; SANTANA et al., 2019). Portanto, a linhagem FC 3005 é a mais divergente do terceiro grupo, com maior comprimento de vagem, número de sementes por vagem e alto potencial de produtivo (Figura 2), podendo ser recomendado direcionar combinações híbridas com as linhagens FC 104, FC 704, FC 1101, FC 2407 e FC 2416. Essas linhagens possuem alta produtividade, bem como maior peso de sementes e estão em grupos diferentes do FC 3005, formando o primeiro grupo e o segundo grupo.

É importante enfatizar que avaliar o germoplasma é crucial para conduzir um estudo sobre dissimilaridade genética, pois auxilia significativamente o melhorista a delinear o processo de avanço geracional (OLIVEIRA et al., 2019). Neste contexto, utilizar avaliações de similaridades permitem a determinação de quão próximas as linhagens descendentes se alinham com o genitor recorrente, indicando a eficácia da recuperação da composição genética do genitor recorrente quando empregado em um programa de retrocruzamento (PINTO, 2023). Notavelmente, as linhagens FC 2416 e FC 1101 apresentam similaridade, bem como os genótipos BRS Novaera e FC 305 demonstrando proximidade genética.

O Coeficiente Correlação Cofenética (CCC) de 0,68 foi derivado do método UPGMA utilizando a distância generalizada de Mahalanobis, destacando a variabilidade na

consistência do padrão de agrupamento e sugerindo forte representação das distâncias dentro do dendrograma, sendo esse valor significativo pelo teste Mantel ($p < 0,01$).

Figura 6. Dendrograma obtido pelo método de agrupamento UPGMA dos genótipos de feijão-caupi, utilizando o método de distância generalizada (D2) com a avaliação das características quantitativas.



Em programas de hibridação, é aconselhável o uso de genótipos mais divergentes para as combinações. Entretanto, deve-se ter cuidado ao escolher esses genótipos, pois eles podem apresentar divergência sem serem complementares. De acordo com Ghaderi et al. (1984) é possível que dois genótipos sejam geneticamente distantes (os melhores e piores segregantes extremos de um cruzamento) enquanto ainda estão intimamente relacionados, pois pertencem à mesma população. Quando os progenitores apresentam grande distância genética, presume-se que eles diferem em maior extensão no número de locos onde os efeitos de dominância são expressos, aumentando assim a expressão da heterose (PEDRO, 2020).

Empregar pais semelhantes diminui a probabilidade de fazer progresso na seleção, pois um tempo valioso é consumido com hibridações e gerenciamento de populações segregantes em condições de campo, resultando em baixa probabilidade de desenvolver nova cultivar (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). É aconselhável selecionar os pais com base em seu desempenho *per se* e na extensão de suas dissimilaridades, permitindo a introdução de genes

complementares que aumentam a heterose na geração F1 e resultam em indivíduos transgressivos em gerações segregantes subsequentes (GHADERI et al, 1984; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). Desse modo, o cruzamento de genótipos altamente divergentes mostra potencial considerável, especialmente quando eles exibem forte desempenho agrônômico (DIAS, 2009).

Ao examinar as médias das características agrônômicas avaliadas (Figura 2) juntamente com o dendrograma gerado (Figura 3), torna-se viável direcionar o cruzamento de indivíduos que são geneticamente mais distantes. Essa abordagem direciona os esforços de hibridização entre a linhagem FC 3005 e as linhagens FC 1101, FC 2416 e FC 2407, visando aumentar o peso de mil sementes. Além disso, para aumentar as composições genéticas apropriadas para selecionar plantas de porte prostrada e expandir a variabilidade genética, os cruzamentos envolvendo as linhagens FC 3005 x FC 2407 e FC 3005 x FC 1101 permitem o surgimento de novas e promissoras combinações de genes.

Em sua pesquisa, De Medeiros (2017) indica que o peso da semente é influenciado principalmente por fatores genéticos, sendo predominante sobre os fatores ambientais, facilitando a seleção eficaz. Além disso, o autor relata que o coeficiente de herdabilidade foi categorizado como tendo alta magnitude (94%), o que mostra que o valor fenotípico serve como medida confiável do valor genético e apresenta oportunidade substancial para alcançar ganhos genéticos significativas nos trabalhos de hibridização.

Os autores Meira et al. (2017) determinaram em seu trabalho que as cultivares de feijão-caupi examinadas exibiram alta herdabilidade (99%), juntamente com coeficientes de variação fenotípicos (21,54%) e genotípicos (21,45%), o que auxilia na seleção para diversidade genética dessa característica. Os autores observaram que o alinhamento próximo entre os coeficientes de variação fenotípicos e genotípicos sugere impacto mínimo de fatores ambientais, o que significa que as estimativas para o coeficiente de variação fenotípico são amplamente influenciadas por elementos genéticos em vez de ambientais. Manggoel et al. (2012) afirmam que a herdabilidade elevada indica provável dominância da ação gênica aditiva, tornando-a favorável para seleção direta e com influência ambiental limitada.

O método de agrupamento de Tocher necessita da criação de uma matriz de dissimilaridade para identificar pares de indivíduos que são mais semelhantes. Utilizando distâncias de Mahalanobis, a análise de *cluster* pelo método de otimização de Tocher, categorizou os 12 genótipos estudados em seis grupos distintos (Tabela 3). O grupo I foi constituído pelos genótipos FC 1101, FC 2416, Pingo de Ouro e FC305. Esses genótipos

apresentaram-se bastante semelhantes para as características de largura e comprimento do folíolo terminal.

Apesar das variações nas composições e no número de grupos criados pelas duas técnicas de agrupamento empregadas (UPGMA e Tocher), ambos os métodos revelaram similaridades nos elementos de cada grupo formado. O grupo II foi composto pelos genótipos FC 3005, BRS Novaera e FC 2305, já o grupo III foi constituído pelas linhagens FC 2603 e FC 904, ambos os grupos formados pelo método de Tocher foram constituídos pelos mesmos genótipos do grupo III pelo método de UPGMA. As similaridades dos genótipos estão relacionadas com comprimento de vagem, número de sementes por vagem e produtividade.

Alguns grupos foram compostos apenas por uma linhagem, isso se dá pelo fato de estas possuírem caracteres que as diferenciam das demais (BARROS et al., 2005), enfatizando ainda mais a divergência genética entre as linhagens encontradas nos grupos IV, V e VI, bem como entre os genótipos dos grupos I, II e III.

As linhagens FC 104, FC 2407 e FC 704 constituíram, respectivamente, os grupos IV, V e VI. Ao analisar a distância máxima alcançada entre todas as combinações possíveis dos genótipos investigados, utilizando a distância generalizada de Mahalanobis (Tabela 2), verificou-se que a maioria atingiu suas respectivas distâncias máximas quando combinada com as linhagens FC 104 e FC 2407. Isso aponta esses genótipos como os mais distintos. Além disso, a maior distância generalizada foi registrada entre as linhagens FC 704 e FC 2407, tal qual a maior distância encontrada entre grupos ($D_{V,VI} = 67,88$).

Os genótipos classificados dentro do grupo exibem homogeneidade, enquanto aqueles entre grupos diferentes mostram heterogeneidade. Além disso, as distâncias intragrupos são consistentemente menores do que quaisquer distâncias intergrupos, cumprindo os critérios definidos para o método de otimização de Tocher (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2020).

Portanto, cruzamentos envolvendo os genótipos do Grupo I, bem como aqueles entre os próprios genótipos do Grupo II e o Grupo III, diminuem as chances de produzir híbridos pertinentes em populações segregantes. Isso ocorre devido à sua variabilidade genética mais limitada e ganhos genéticos negativos, decorrentes da similaridade genética desses genótipos. Consequentemente, combinações híbridas de genótipos de grupos distintos têm o potencial de criar populações promissoras.

O estabelecimento desses grupos é crucial para selecionar os genitores, pois as novas combinações formadas devem depender da magnitude de suas dissimilaridades e do potencial inerente (*per se*) dos pais (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), de maneira que, para as

melhores combinações híbridas, é essencial selecionar pais que sejam divergentes e exibam alto desempenho médio (DE LIMA; PELUZIO, 2015).

Tabela 3 - Agrupamento pelo método de otimização de Tocher dos genótipos de feijão-caupi por meio das nove características agronômicas analisadas no trabalho durante o ano de 2024, no município de Gurupi - TO.

Grupos	Genótipos	Distância Média Intragrupo	Distância Média Intergrupo
I	FC 1101, FC 2416, Pingo de Ouro, FC 305	16,50	$D_{I,II} = 28,32$; $D_{I,III} = 34,37$; $D_{I,IV} = 34,25$; $D_{I,V} = 21,61$; $D_{I,VI} = 28,02$;
II	FC 3005, BRS Novaera, FC 2305	13,93	$D_{II,III} = 28,29$; $D_{II,IV} = 44,45$; $D_{II,V} = 47,96$; $D_{II,VI} = 36,93$
III	FC 2603, FC 904	19,05	$D_{III,IV} = 38,81$; $D_{III,V} = 53,12$; $D_{III,VI} = 38$
IV	FC 104	---	$D_{IV,V} = 48,32$; $D_{IV,VI} = 24,53$
V	FC 2407	---	$D_{V,VI} = 67,88$
VI	FC 704	---	---
Limite (θ)*		21,39**	

*Limite Intergrupo. **Valor máximo da medida de dissimilaridade encontrado no conjunto das menores distâncias envolvendo cada indivíduo.

Portanto, é vital identificar os materiais genéticos mais dissimilares que também demonstrem altas médias e variabilidade nas características que estão sendo aprimoradas para gerar indivíduos com maior variabilidade. Como tal, é aconselhável priorizar cruzamentos entre a linhagem FC 3005, do grupo II, com as demais linhagens FC 104, FC 704, FC 1101, FC 2407 e FC 2416, dos diferentes grupos (I, IV, V e VI). Tais cruzamentos garantirá que o efeito de heterose seja expresso nos híbridos, levando ao sucesso no programa de melhoramento.

A eficiência do método de agrupamento entre genótipos é representada pelo coeficiente de correlação cofenética, que foi encontrado em 0,76 ao aplicar o método de Tocher. Esse valor foi considerado significativo pelo teste de Mantel ($p < 0,01$). Conforme observado por Da Silva, Silva e Sousa (2024), esse resultado sugere que o método minimiza a perda de informações de

dados, tornando-o uma escolha favorável para estudar a diversidade genética e caracterizar genótipos.

Conforme sugerido por Singh (1981), pode-se observar a contribuição relativa das nove características para a dissimilaridade genética entre os 12 genótipos estudados (Tabela 4). A característica que teve maior impacto na dissimilaridade genética foi a produtividade (99,25%), enquanto as características com menor influência foram o número de dias para o florescimento, número de dias para maturação, número de sementes por vagem, comprimento de vagem, largura do folíolo terminal e comprimento do folíolo terminal. Além disso, embora em menor grau, o peso de mil sementes e o número de vagens por planta também desempenham papel significativo na divergência das linhagens avaliadas quando comparados às outras variáveis. Assim, se alguma variável precisar ser eliminada, é aconselhável que o comprimento do folíolo terminal (CFT) seja o descartado.

Tabela 4 - Contribuição relativa (S_j) e contribuição relativa percentual (%) das variáveis avaliadas nos genótipos de feijão-caupi estudados durante o ano de 2024 em Gurupi-TO

Variável	S _j	Contribuição relativa (%)
Produtividade	431059006,11	99,2543
Peso de mil sementes	2590910,57	0,5966
Número de vagem por planta	533666,82	0,1229
Número de dias para o florescimento	31253,77	0,0072
Número de dias para a maturação	27583,73	0,0064
Número de sementes por vagem	27430,49	0,0063
Comprimento de vagem	14839,94	0,0034
Largura do folíolo terminal	11874,97	0,0027
Comprimento do folíolo terminal	1034,259	0,0002

Portanto, compreender a influência relativa de cada característica é crucial porque, de acordo com a abordagem de Singh (1981), as características que contribuem significativamente para a variabilidade são consideradas essenciais. Esse entendimento auxilia na identificação de variáveis com contribuições mínimas para a dissimilaridade, agilizando esforços e reduzindo custos (VITAL, 2024).

Assim como observado no estudo atual, Sousa et al. (2017) relataram que a produtividade era o principal contribuinte (24,38%) para a diversidade genética ao avaliar genótipos de feijão. Da mesma forma, Santos et al. (2014) identificaram a produtividade

(99,80%) e a massa de 100 grãos (0,2%) como os principais fatores que influenciam a diversidade genética da cultura, utilizando o método da distância euclidiana média.

4 CONCLUSÕES

Os genótipos FC 104, FC 704, FC 1101, FC 2416, FC 3005 e BRS Novaera apresentaram alto potencial produtivo.

A linhagem FC 3005 apresentou alta produtividade de grãos e divergência genética significativa da maioria dos genótipos avaliados, tornando-a candidata à priorização em novas combinações híbridas com as linhagens FC 1101 e FC 2407.

A produtividade destacou-se como principal característica responsável pela divergência genética observada entre os genótipos avaliados, auxiliando na identificação de genitores promissores e aumentando a eficiência dos programas de melhoramento genético.

REFERÊNCIAS

- BARROS, A. M.; FALEIRO, F. G.; KARIA, C. T.; SHIRATSUCHI, L. S.; ANDRADE, R. P.; LOPES, G. K. B. Variabilidade genética e ecológica de *Stylosanthes macrocephaladeterminadas* por RAPD e SIG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.899-909, 2005.
- BOUKAR, O.; FATOKUN, C. A.; HUYNH, B. L.; ROBERTS, P. A.; CLOSE, T. J. Genomic tools in cowpea breeding programs: status and perspectives. **Frontiers in plant science**, v. 7, n.757, p. 757, 2016.
- BURLE, M. L.; OLIVEIRA, M. DO S. P. D. E. **Manual de curadores de germoplasma - vegetal: caracterização morfológica**. (Documentos/ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 378). Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p.15, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/913190/1/DOC312e378.pdf>
- CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; REIS, R. C. P. D.; SOUZA, J. R. D.; JOST, E. Comparação de métodos de agrupamento para o estudo da divergência genética em cultivares de feijão. **Ciência Rural**, v. 38, n.8, p.2138-2145, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800008>
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Safra de grãos**, Brasília, DF, v.12, Safra 2024/25, n. 10, décimo levantamento, julho 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safra/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/10o-levantamento-safra-2024-25/10o-levantamento-safra-2024-25>.
- CORREA, A. M; GONÇALVES, M. C. Divergência genética em genótipos de feijão comum cultivado em Mato Grosso do Sul. **Ceres**, v.59, n. 2, p. 206-212, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000200009>
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed., v.2, Viçosa: UFV, p.585, 2003.
- CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Suprema, Visconde do Rio Branco 2.ed.: Viçosa, MG - UFV, p.620, 2020.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 5 ed., v. 4, pág. 514, 2012.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed; Editora UFV, Viçosa, 668p., 2014.
- DA SILVA, C. A.; SILVA, D. S.; SOUSA, J. de C. Técnicas multivariadas na determinação da diversidade de mandioca no sul maranhense. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**. Mossoró, v. 10, n. 32, 2024.
- DE LIMA, M. D.; PELUZIO, J. M. Dissimilaridade genética em cultivares de soja com enfoque no perfil de ácidos graxos visando produzir bicompostível. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 10, n. 2, p. 256-261, ISSN: 1981-1160, 2015.
- DE MEDEIROS, M. D. **Estudos biométricos em cultivares de feijão-caupi no município de Pombal–PB**. 2017. 29f. Monografia (Curso de Agronomia) – Centro de Ciências e Tecnologia

Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, Paraíba, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18030>. Acesso em: 06 dez. 2024.

DE OLIVEIRA, T. R. A.; GRAVINA, G. D. A.; ROCHA, M. D. M.; ALCÂNTARA NETO, F. D.; DA CRUZ, D. P.; DE OLIVEIRA, G. H.F.; SANT'ANNA, C. Q. S. S.; JAEGGI, M. E. P. C.; ROCHA, R. S. **GYT biplot analysis: a new approach for cowpea line selection**. Embrapa Meio-Norte-Artigo, JEAI, v.41, n.5, p.1-9, 2019.

DIAS, F. T. C. **Utilização de técnicas multivariadas e moleculares na caracterização e seleção de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce**. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 99 f., 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/8490>. Acesso em: 07 dez. 2024.

DOS SANTOS, A. F.; JOSÉ, A. C.; SOUSA, P. A. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas das praças centrais do município de Gurupi-TO. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, Piracicaba**, v. 8, n. 4, p. 36-46, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5380/revsbau.v8i4.66511>

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed., Brasília, DF, Brasil: Embrapa (In Portuguese), 2014.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT. **Crops and livestock products. Cow peas, dry**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 17 nov. 2024.

FERREIRA, V. B.; DA SILVA, R. Z. Avaliação dos caracteres agrônômicos da soja cultivada sob diferentes tipos de preparo do solo. **Agri-Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. e022015, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v9i2.8638>.

GHADERI, A.; ADAMS, M.W.; NASSIB, A.M. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in dry edible bean and fava bean. **Crop Science**, v. 24, n. 1, p. 37-42, 1984.

GOMES, A. M. F.; DRAPER, D.; TALHINHAS, P.; SANTOS, P. B.; SIMÕES, F.; NHANTUMBO, N.; RIBEIROBARROS, A. I. Genetic Diversity among Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Landraces Suggests Central Mozambique as an Important Hotspot of Variation. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1893, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121893>

GUMEDE, M. T.; GERRANO, A. S.; AMELEWORK, A. B.; MODI, A. T. Analysis of Genetic Diversity and Population Structure of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) 20 Genotypes Using Single Nucleotide Polymorphism Markers. **Plants**, v.11, n.24, p.3480, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11243480>.

HARA, F. A. D. S.; VENDRUSCOLO, J.; INÁCIO, A. C. F.; CABRAL, R. F.; MOURA, R. P. M. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) cultivars in a lowland soil in the municipality of Autazes/AM. **Research, Society and Development**, v.11, n.7, p. e16511729865-e16511729865, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29865>

HILL, S. L. **Cowpea adaptability to southeastern organic farming systems: forage productivity and charcoal rot susceptibility**. Dissertação (Master Plant Sciences) - University of Tennessee, 2015. Disponível em: https://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/3583. Acesso em: 12 nov. 2024.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2024. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em 10 ago. 2024.

KOEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico, DF: Fondo de Cultura Econômica, 478 p.,1948.

MAHALANOBIS, P. C. On the generalized distance in statistics. **Proceedings of the National Institute of Sciences of India**, New Delhi, v. 2, n.1, p. 49-55, 1936.

MANGGOEL, W.; UGURU, M.I.; NDAM, O.N.; DASBAK, M.A. Genetic variability, correlation and path coefficient analysis of some yield components of ten cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) accessions. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.4, n.5, p.80-86, mar. 2012.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instruções para execução dos ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de feijão-caupi**. DOU nº 160, seção 1, p. 6-7, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protecao-de-cultivar/agricolas>.

MEIRA, A.; SANTOS, L. D.; MENDES, H.; PÚBLIO, A.; SOUZA, U.; AMARAL, C. Estimativa de parâmetros genéticos para germinação de sementes e emergência de plântulas em feijão-caupi. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.16, n.3, p.353-359, 2017.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. In: *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. p. 1–295, 2007.

MOJENA, R. Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. **Computer Journal**. v. 20, n.4, p. 359-363, 1977.

OLIBONI, R. **Capacidade combinatória e divergência genética entre híbridos comerciais de milho recomendados para a região centro-sul do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Pós-Graduação em Agronomia Guarapuava, 95 f., 2009. Disponível em: <https://tede.unicentro.br/jspui/handle/tede/200>. Acesso em: 9 dez. 2024.

OLIVEIRA, R. D. M.; FREIRE FILHO, F. R.; DE OLIVEIRA, A. C.; RIBEIRO, V. Q.; VIEIRA, P. D. M. Seleção em feijão-caupi visando obtenção de linhagens extraprecoces. **Nativa**, Sinop, v.5, n.4, p.250-256, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n04a04>.

OLIVEIRA, C. S.; PEIXOTO, J. V. M.; MOMESSO, M. P.; PEREIRA, L. M.; PERES, H. G.; MACIEL, G. M. Características de plântulas: dissimilaridade genética entre acessos de pimenta. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 9, n.1, p. 1-20, 2019.

ORTIZ, R.; CROSSA, J.; FRANCO, J.; SEVILLA, R.; BURGUEÑO, J. Classification of Peruvian highland maize races using plant traits. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.55, n.1, p. 151-162, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10722-007-9224-7>.

PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; CRUZ, P. J.; ROCHA, M. M.; CRUZ, E. M. O.; ROCHA, M. A. C.; BAHIA, H. F.; SALDANHA R. B. Genetic divergence among cowpea. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 579-586, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400007>

- PEDRO, C. **Biometria aplicada ao melhoramento genético de feijão-guandu em Moçambique**. 2020. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 89 f., 2020.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, v.15, p.451, 2022.
- PINTO, A. C. dos S. **Seleção de linhagem-elite de meloeiro gália resistente à mosca minadora por meio de caracteres agronômicos**. 2023. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 56 f., 2023.
- QUIN, F. M. Introduction. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.) *Advances in cowpea research*. Ibadan: **UTA/JIRCAS, IITA**. p. ix - xv, 1997.
- R CORE TEAM (R version 4.1.1). **The R project for statistical computing**. Disponível em: <http://www.r-project.org/index.html>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- RAO, A. V.; PRASAD, A. S. R.; SAI KRISHNA, T.; SECHU, D. V.; SRINIVASAN, T. E. Genetic divergence among some brown planthopper resistant rice varieties. **The Indian Journal of Genetic Plant Breeding**, v. 41, n. 2, p. 179-185, 1981.
- RAO, R.C. *Advanced statistical methods in biometrics research*. New York: **John Wiley and Son**, 390p., 1952.
- RIBEIRO, D. G.; MOTA, A. P. Z.; SANTOS, I. R.; ARRAES, F. B. M.; GRYNBERG, P.; FONTES, W.; CASTRO, M. DE S.; SOUSA, M. V.; LISEI-DE-SÁ, M. E.; GROSSI-DE-SÁ, M. F.; FRANCO, O. L.; MEHTA, A. NBS-LRR-WRKY genes and protease inhibitors (PIs) seem essential for cowpea resistance to root-knot nematode. **Journal of Proteomics**, v.261, n.1, p. 104575, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104575>.
- TEODORO, L. P. R.; EVANGELISTA, J. S. P. C.; DAMACENA, M. B.; ELIZEU, A. M.; COELHO, I. F.; RODRIGUES, E. V.; TEODORO, P. E; BHERING, L. L. Estimates of genetic divergence in cowpea by Multivariate analysis in different environments. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 6, p. 1681–1687, 2019. DOI: <http://doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-42406>.
- TORRES FILHO, J.; OLIVEIRA, C. N. G. D. S.; SILVEIRA, G. H. D. S. N.; PEREIRA, C. C. A.; DA SILVA, A. E. A. Genetic divergence among cowpea genotypes based on characters associated with the green pod and grain market. **Revista Caatinga**, v.31, n.1, p.56-63, 2018.
- SANTANA, S. R. A. D; MEDEIROS, J. E. D.; ANUNCIACÃO-FILHO, C. J. D.; SILVA, J. W. D.; COSTA, A. F. D.; BASTOS, G. Q. Genetic divergence among cowpea genotypes by morphoagronomic traits. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 841-850, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n329rc>
- SANTOS, J. A. D. S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G., RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. D. Agronomic performance and genetic divergence among cowpea genotypes in Cerrado/Pantanal ecotone. **Bragantia**, v.73, n.4, p.377-382, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0250>
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**. v. 41, n. 2, p.237-245, 1981.
- SOUSA, S.; TAVARES, T.; BARROS, H.; NASCIMENTO, I.; SANTOS, V.; FIDELIS, R. Divergência genética de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no sul do Tocantins. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.2, p.419-429, 2017.

VITAL, L. C. **Variabilidade fenotípica e desempenho agronômico de feijoeiro-comum em cultivo orgânico**. 2024. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 41 f, 2024.

XIONG, H.; SHI, A.; MOU, B.; QIN, J.; MOTES, D.; LU, W.; MA J.; WENG Y.; YANG W.; WU, D. Genetic diversity and population structure of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **PloS one**, v. 11, n. 8, p. e0160941, 2016.

CAPÍTULO 2

SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI VOLTADOS À AGRICULTURA FAMILIAR ATRAVÉS DE DESCRITORES MORFOAGRONÔMICOS

RESUMO

O feijão-caupi possui relevância socioeconômica expressiva em diversas regiões do Brasil, o que torna fundamental a pesquisa voltada ao seu melhoramento genético. Tais pesquisas buscam identificar genótipos com boa adaptabilidade, estabilidade e altamente produtivos. Assim, objetivou-se com este estudo caracterizar morfoagronômicamente doze genótipos, avaliando sua produtividade e adaptabilidade à região sul do estado do Tocantins. O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi, durante as safrinhas de 2024 e 2025, utilizando delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Dez linhagens superiores do banco de germoplasma da Cerrado's TechAgro, com porte prostrado e semiprostrado, foram analisados, além de duas cultivares comerciais utilizadas como controles - BRS Novaera e Pingo de Ouro. Foram avaliados 47 descritores morfoagronômicos conforme as diretrizes estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), além de seis características quantitativas: altura de planta, diâmetro de planta, número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de mil sementes e produtividade de grãos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, ao teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, visando identificar diferenças entre os genótipos avaliados. A análise morfológica evidenciou variabilidade genética entre os genótipos, indicando seu potencial para seleção e desenvolvimento de novas cultivares. Os genótipos FC 704, FC 2416 e FC 3005 destacaram-se por sua alta produtividade e adaptabilidade a diferentes ambientes. Já os genótipos FC 305, FC 904, FC 2305, FC 2407, FC 2603 e Pingo de Ouro demonstraram estabilidade produtiva. A linhagem FC 3005 apresentou excelente desempenho agrônomo, mostrando-se promissora para uso em sistemas de cultivo.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, Melhoramento genético, Caracterização fenotípica, Seleção.

ABSTRACT

Cowpea has significant socioeconomic importance in several regions of Brazil, making research focused on its genetic improvement essential. Such research seeks to identify genotypes with good adaptability, stability, and high productivity. Therefore, this study aimed to characterize twelve genotypes morphoagronomically, evaluating their productivity and adaptability to the southern region of the state of Tocantins. The experiment was conducted at the Federal University of Tocantins, Gurupi Campus, during the 2024 and 2025 second crop seasons, using a randomized complete block design with four replicates. Ten superior lines from the Cerrado's TechAgro germplasm bank, with prostrate and semi-prostrate growth, were analyzed, in addition to two commercial cultivars used as controls: BRS Novaera and Pingo de Ouro. Forty-seven morphoagronomic descriptors were evaluated according to the guidelines established by the Ministry of Agriculture, Livestock, and Food Supply (MAPA), in addition to six quantitative traits: plant height, plant diameter, number of pods per plant, number of seeds per pod, thousand-seed weight, and grain yield. The data obtained were subjected to analysis of variance and, subsequently, to the Scott-Knott test at a 5% probability level, aiming to identify differences between the genotypes evaluated. The morphological analysis revealed genetic variability among the genotypes, indicating their potential for selection and development of new cultivars. The genotypes FC 704, FC 2416, and FC 3005 stood out for their high productivity and adaptability to different environments. The genotypes FC 305, FC 904, FC 2305, FC 2407, FC 2603, and Pingo de Ouro demonstrated production stability. The FC 3005 line showed excellent agronomic performance, showing promise for use in cultivation systems.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, Genetic improvement, Phenotypic characterization, Selection.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) tem valor socioeconômico significativo em várias regiões do Brasil, particularmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, o que torna a pesquisa sobre o melhoramento genético desta cultura vital. Tais estudos visam identificar genótipos que apresentam maior potencial de produção e melhor adaptabilidade (TORRES FILHO et al., 2018).

No Tocantins, a maioria das terras agrícolas depende de genótipos tradicionais não melhorados ou desenvolvidos por meio de programas de melhoramento em diferentes regiões (SOUSA et al., 2017). Devido à sua rica variabilidade genética, atributos como cor, formato e dimensão dos grãos determinam diversos nichos de mercado, influenciando até mesmo o valor do produto. No Brasil, o consumo de cada tipo de grão é regional e influenciado por aspectos culturais (ROCHA; DAMASCENO-SILVA; MENEZES-JUNIOR, 2017).

O cultivo do feijão-caupi é mais expressivo nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, embora o Centro-Oeste também apresente elevados índices de produtividade. As exportações brasileiras tiveram início em 2007, com destaque para mercados como Canadá, Portugal, Israel, Turquia e Índia (FREIRE FILHO et al., 2011). Desde então, observou-se um potencial significativo de expansão comercial e produtiva dessa cultura, especialmente em regiões com condições edafoclimáticas favoráveis. Na safra 2023/2024, foram exportadas aproximadamente 57 mil toneladas, com o Mato Grosso se destacando como o maior estado exportador, respondendo por mais de 86% dos embarques, sendo a maior parte destinada à Índia (CONAB, 2024). De acordo com Teixeira et al. (2010), uma das razões para a baixa produtividade observada nesta cultura é a utilização de genótipos com potencial produtivo limitado.

Embora o feijão-caupi tenha certa importância econômica, apenas 71 cultivares melhoradas foram introduzidas no Brasil da segunda metade do século XVI até 2010, esse número é pequeno em comparação ao número de culturas anuais cultivadas no país. Consequentemente, dada a disponibilidade limitada de cultivares e o fato de que muitas já caíram em desuso, as cultivares melhoradas representam apenas uma pequena parcela da área dedicada ao cultivo de feijão-caupi no Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011). Em 2017, o número total de cultivares de feijão-caupi liberadas atingiu 73 (ROCHA; DAMASCENO-SILVA; MENEZES-JUNIOR, 2017).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do governo brasileiro (MAPA), que consolida os bancos de dados do Registro Nacional de Cultivares (RNC) e do

Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC), revela que há atualmente 51 cultivares registradas de feijão-caupi. Notavelmente, mais de 80% desses registros são atribuídos à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), enquanto organizações estaduais de pesquisa agropecuária, universidades, institutos agrônômicos, pessoas físicas e empresas de produção de sementes respondem por cerca de 19% coletivamente. No entanto, apenas 17 cultivares de feijão-caupi são oficialmente registradas no SNPC (MAPA, 2024).

O pedido de proteção de variedades de plantas é apresentado diretamente ao SNPC, que é a entidade encarregada de emitir os certificados correspondentes. O SNPC sugere que, para a realização dos testes DHE, os descritores sejam organizados em categorias qualitativas e quantitativas (SANTOS; MACHADO, 2011). Conforme orientações do MAPA, o sistema de proteção de variedades no Brasil permite que os melhoristas realizem os testes DHE e elaborem um relatório final contendo os resultados, seguindo os princípios estabelecidos nas diretrizes de DHE pertinentes a cada espécie (GARCIA, 2002; AVIANI; HIDALGO, 2011). A decisão sobre a concessão da proteção da variedade é baseada nesse documento.

Os testes geralmente são feitos em uma única localidade e devem durar, no mínimo, dois anos de cultivo semelhantes, pois essa abordagem ajuda a reduzir o impacto ambiental, permitindo a obtenção de dados mais confiáveis sobre a descrição, homogeneidade e estabilidade da variedade em questão, além de possibilitar comparação mais precisa com as variedades utilizadas como referência (MACHADO, 2011).

A cultura do feijão-caupi exibe significativa variabilidade fenotípica, caracterizada por diversas diferenças morfológicas como hábito de crescimento, formato da folha, cor de flor, características da vagem, formato da semente, cor e peso da semente, distinguindo efetivamente cultivares locais daquelas que são cultivares comerciais. Atualmente, pesquisas sobre diversidade genética desempenham um papel crucial em programas de melhoramento (CERUTTI et al., 2023), permitindo a identificação de pais com heterogeneidade e segregação aprimorada, aumentando assim a probabilidade de produzir genótipos superiores as progênies. Entender a variabilidade por meio de descritores morfológicos auxilia no reconhecimento desses genótipos superiores.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho realizar a caracterização morfoagronômica de doze genótipos de feijão-caupi, identificando os de maior potencial produtivo e adaptados a região sul do estado do Tocantins.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em campo durante as safrinhas dos anos agrícolas de 2024 e 2025, com semeadura nos dias 29/03/2024 e 08/03/2025, na área experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), situada no Campus Universitário de Gurupi, no sul do Estado do Tocantins, a 280 metros de altitude, com coordenadas de 11°43'45'' de latitude e 49°04'07'' de longitude. Conforme definido por Köppen (1948), o clima dessa localidade é classificado como B1wA'a', caracterizado como tropical úmido, apresentando uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno.

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, contando com quatro repetições. Cada parcela experimental consistiu de quatro linhas, cada uma com 5,0 m de comprimento e um espaçamento de 0,5 m entre elas. As duas linhas centrais, com 4,0 m de comprimento cada, foram consideradas como a área útil, desconsiderando 0,5 m em ambas as extremidades. A densidade de plantas desejada foi alcançada, estabelecendo um estande final com 10 plantas por metro linear, totalizando assim 200 mil plantas por hectare.

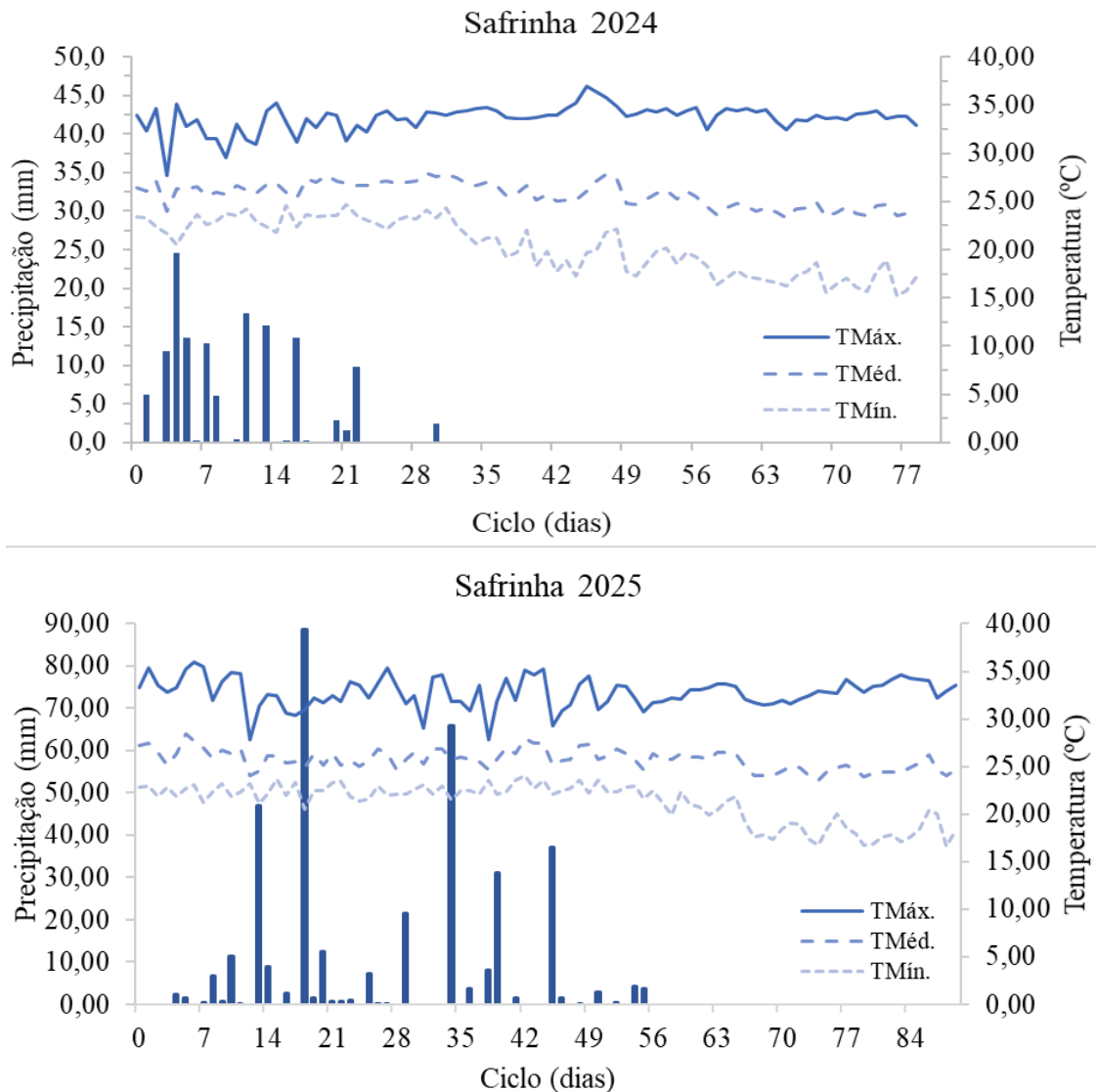
As sementes foram submetidas ao tratamento com inseticida do grupo químico Tiometoxam, utilizando 200 ml de princípio ativo para cada 100 kg de sementes. Além disso, foi utilizado fungicida/nematicida dos grupos químicos Tiofanato-metílico e Fluazinam, na proporção de 180 ml de princípio ativo para cada 100 kg de sementes. Para o controle de plantas infestantes, foram realizadas capinas manuais e a aplicação dos herbicidas Quizalofope-P-etílico (1,5 L ha⁻¹ de princípio ativo) e Cletodim, Alquilbenzeno (450 ml ha⁻¹ de princípio ativo). Medidas para controle de insetos-pragas foram realizadas conforme a necessidade, utilizando bomba costal elétrica com vazão de 2,9 L/min, resultando em uma taxa aproximada de 212 L/ha, realizadas entre 16 h e 18 h, com inseticidas dos grupos químicos Acetamiprido e Bifentrina (250 g ha⁻¹ de princípio ativo), Benzoato de emamectina (200 g ha⁻¹ de princípio ativo) e as associações Tiametoxam e Lambda-cialotrina (120 ml ha⁻¹ de princípio ativo).

Para atender às necessidades nutricionais do feijão-caupi, realizou-se a adubação de acordo com as orientações para a cultura, levando em conta as análises químicas e físicas do solo realizadas na camada de 0 a 20 cm. Os resultados da análise foram: pH em CaCl₂ de 6,1; 10,8 mg dm⁻³ de fósforo (Mehlich⁻¹); 105 mg dm⁻³ de potássio; 1,7 cmolc dm⁻³ de cálcio; 0,6 cmolc dm⁻³ de magnésio; 0,0 cmolc dm⁻³ de alumínio; 1,30 cmolc dm⁻³ de H+Al; 1,70 dag kg⁻¹ de matéria orgânica; 26 mg dm⁻³ de ferro; 66% de saturação por bases; 700 g kg⁻¹ de areia; 50 g kg⁻¹ de silte e 250 g kg⁻¹ de argila. A adubação de base foi realizada com o formulado NPK 05-25-15 na quantidade de 120 kg ha⁻¹. Em seguida, uma adubação de cobertura foi aplicada

15 dias após a emergência (DAE), utilizando 53,3 kg ha⁻¹ de ureia e, aos 25 DAE foram aplicados 13,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Durante os dois anos de experimento, foram reunidas informações diárias sobre as temperaturas máxima, média e mínima, além dos níveis de precipitação (Figura 1). Para assegurar umidade adequada do solo na ausência de chuvas, durante o período de desenvolvimento da cultura, utilizou-se aspersores convencionais para irrigação com vazão aproximada de 20 metros de coluna d'água, turno de rega de 24 horas e tempo operacional de uma hora, disponibilizando 5,2 mm/hora de lâmina de água.

Figura 1 - Dados climatológicos referentes a precipitação, temperatura máxima, média e mínima coletados, durante os dois períodos de cultivo do feijão-caupi (29/03 a 15/06/2024 e 08/03 a 30/05/2025), na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, em Gurupi - TO.



Precipitação total durante o período de cultivo de 2024 de 138,20 mm e de 2025 de 376,60 mm. Informações da temperatura média diária para o acumulado semanal em análise, em que: Temperatura Média Diária = $((t_9 + 2 \cdot (t_{21}) + tmáx + tmín) / 5)$, onde: t_9 = Temperatura do ar às 9 horas (°C); t_{21} = Temperatura do ar às 21 horas (°C); $tmáx$ = Temperatura máxima do ar (°C); $tmín$ = Temperatura mínima do ar (°C). Fonte: INMET, 2025.

As avaliações foram delineadas para a caracterização de 47 descritores morfoagronômicos de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo MAPA para os ensaios de DHE, conforme detalhado no DOU nº 160, de 20/08/2010, Seção 1, Páginas 6 e 7. As observações referentes a esses descritores foram realizadas em 10 plantas ou partes de 10 plantas, seguindo a metodologia descrita pelo MAPA (2010), sendo estas:

- MG: Mensuração única de um grupo de plantas ou partes de plantas;
- MI: Mensurações de um número de plantas ou partes de plantas, individualmente;
- VG: Avaliação visual única de um grupo de plantas ou partes dessas plantas;
- VI: Avaliações visuais em plantas ou partes dessas plantas, individualmente.

Para manter a confidencialidade das informações em antecipação a um futuro pedido de proteção de cultivares, este estudo analisou apenas 20 dos 47 descritores avaliados de acordo com os testes de DHE estabelecidos pelo MAPA. Adicionalmente, avaliações de quatro outras características agronômicas foram incluídas.

As avaliações foram realizadas em 10 genótipos superiores selecionados do banco de germoplasma do programa de melhoramento de feijão-caupi da Cerrado's TechAgro, que apresentaram características de porte prostrado e semiprostrado: FC 104, FC 305, FC 704, FC 904, FC 1101, FC 2305, FC 2407, FC 2416, FC 2603 e FC 3005. Para fins de comparação, foram utilizadas duas cultivares comerciais – Pingo de Ouro e BRS Novaera – como controles, escolhidas devido à sua predominância na região e à sua função como referência para características agronômicas. As linhagens foram selecionadas com a intenção de beneficiar os agricultores familiares da região.

O estudo utilizou os seguintes descritores: hábito de crescimento; porte; ciclo para floração; ciclo para maturação; formato do folíolo terminal; comprimento do folíolo terminal; largura do folíolo terminal; cor primária do estandarte; cor primária da asa; cor primária do cálice; cor primária da vagem madura; tipo de inflorescência; distribuição predominante de vagens em relação à folhagem; comprimento da vagem; formato da semente; cor primária da semente; textura da semente; brilho da semente; cor do anel do hilo; e presença do halo. As seguintes características agronômicas foram incluídas (FERREIRA; SILVA, 2023):

1. Altura de planta, em centímetros (AP) – mensurada com régua graduada, do nível solo até a extremidade apical da haste principal;
2. Diâmetro de planta, em milímetro (DP) – obtido com auxílio do paquímetro, medindo o diâmetro da haste principal;
3. Número de vagens por planta (NVP) – refere-se ao total de vagens contabilizadas em uma única planta;

4. Número de sementes por vagem (NSV) – calculado ao dividir o total de sementes pelo número de vagens da planta;
5. Peso de mil sementes, em gramas (PMS) – representa a média dos pesos em gramas de amostras de mil sementes, considerando a umidade ajustada para 13%;
6. Produtividade de grãos, em quilos por hectare (PROD) – determinado pela massa total de grãos da área útil em quilogramas, também corrigida para 13% de umidade no grão.

Os dados resultantes das avaliações foram submetidos à análise de variância, empregando o teste F. Quando encontrada diferença significativa entre as características analisadas, o teste Scott-Knott foi utilizado, a um nível de probabilidade de 5%, para comparação de médias entre os genótipos estudados. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta (Tabela 1) indicou diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as características avaliadas em relação aos fatores ambiente e genótipos, evidenciando variação entre os ambientes analisados, bem como a presença de variabilidade genética entre os genótipos. Quanto a interação Genótipo versus Ambiente (G x E), a análise demonstrou diferenças significativas em seis das onze características avaliadas, ressaltando que os genótipos reagem de maneira distinta aos diversos ambientes. Esses resultados sugerem possibilidade de explorar a interação G x E, recomendando genótipos que demonstrem ampla adaptabilidade.

Por outro lado, observou-se que a interação G x E não apresentou efeito significativo para as características de comprimento e largura do folíolo terminal, número de dias para maturação, diâmetro de planta e número de sementes por vagem, evidenciando a independência dessas variáveis, ou seja, os genótipos não sofreram influência distinta dos ambientes, permitindo que sejam estudados isoladamente.

O coeficiente de variação referente a característica de produtividade alcançou 17,40%, resultado esperado devido à natureza da produtividade de grãos, que é fortemente afetada pelas condições edafoclimáticas de cada ambiente. Segundo Pimentel-Gomes (2022), os coeficientes de variação das variáveis estudadas são classificados como baixos ($< 10\%$) e médios (10 a 20%), o que indica boa precisão experimental.

Tabela 1 - Análise de variância das características avaliadas no feijão-caupi durante as safrinhas de 2024 e 2025 em Gurupi-TO.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO										
		NDF	CFT	LFT	NDM	AP	DP	CV	NVP	NSV	PMS	PROD
Blocos/ Ambiente	6	11,75*	0,32	0,57	17,15*	83,00*	0,41	5,52*	1,99	1,06	229,20	120750*
Ambiente (A)	1	906,51*	36,49*	61,18*	1863,84*	32138*	32,50*	57,72*	19,71*	151,25*	3919,8*	2566610*
Genótipos (G)	11	17,19*	3,35*	2,25*	12,92*	192,00*	2,71*	16,27*	5,19*	7,06*	3101,7*	188788*
G x A	11	6,21*	0,56	0,39	7,89	132,00*	0,41	2,96*	2,38*	1,60	988,9*	201382*
Resíduo	66	3,15	0,40	0,26	4,73	22,00	0,51	1,08	1,09	1,66	271,60	39980
Total	72											
CV (%)		4,47	5,39	6,21	3,54	10,59	8,20	5,82	15,83	12,05	8,81	17,40
Média Geral		39,70	11,73	8,20	61,51	44,27	8,70	17,84	6,59	10,69	187,02	1149,10

*significativo para $p < 0,05$ pelo teste F. NDF: Número de dias para o florescimento (dias); CFT: Comprimento do folíolo terminal (cm); LFT: Largura do folíolo terminal (cm); NDM: Número de dias para maturação (dias); AP: Altura de planta (cm); DP: Diâmetro de planta (mm); CV: Comprimento da vagem (cm); NVP: Número de vagens por planta; NSV: Número de sementes por vagem; PMS: Peso de mil sementes (g); PROD: Produtividade (kg ha⁻¹).

Em razão da relevância identificada para a interação G x E, fica evidente que o comportamento dos genótipos varia conforme condições edafoclimáticas específicas, corroborando a influência dos fatores ambientais na manifestação fenotípica das características produtivas do feijão-caupi. As diferenças observadas entre os genótipos que apresentaram resultados significativos podem estar diretamente ligadas à variabilidade genética dos genótipos (CAVALCANTE et al., 2017). Esses achados destacam a importância da interação G x E na implementação de programas de melhoramento genético, possibilitando a recomendação de genótipos adequados às condições climáticas e do solo da região, ou que mantenham um bom desempenho em diversos ambientes de cultivo.

Conforme apresentado na Tabela 1, existe interação para as características de número de dias para o florescimento, altura de plantas, comprimento de vagens, número de vagens por planta, peso de mil sementes e produtividade. É importante ressaltar que os genótipos que apresentaram desempenho superior ao longo dos dois anos são considerados amplamente adaptáveis, enquanto aqueles que se destacaram apenas em ambientes específicos sugerem adaptação mais restrita. Essa variação ressalta a necessidade de estratégias específicas baseadas em estabilidade e adaptabilidade.

Levando em conta a interação para a variável NDF, foi feito um desdobramento dos genótipos nos dois anos de cultivo (Tabela 2), onde observou-se que os genótipos levaram mais tempo para florescer na safra de 2025, exceto Pingo de Ouro, provavelmente devido à quantidade de chuvas concentradas durante a fase vegetativa.

A demanda hídrica exigida para o feijão-caupi pode oscilar entre 300 e 450 mm, que deve ser distribuída de maneira adequada para satisfazer as necessidades de cada fase de desenvolvimento (FREIRE FILHO et al., 2011). A precipitação total registrada em 2024 foi de 138,20 mm, enquanto que em 2025 chegou a 376,6 mm, com 51,73% (194,8 mm) das chuvas ocorrendo nas quatro primeiras semanas (Figura 1), resultando em excesso hídrico durante a fase vegetativa. Segundo Sousa et al. (2015), as variações no ciclo de floração se devem, possivelmente, às diferenças na ocorrência e na distribuição da água no solo durante o período de cultivo, podendo contribuir para prolongar o período de floração.

Tabela 2 - Comparação de médias para as características de número de dias para florescimento (NDF), comprimento do folíolo terminal (CFT) e largura do folíolo terminal (LFT) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO

GENÓTIPOS	NDF			CFT			LFT		
	2024	2025	Média	2024	2025	Média	2024	2025	Média
FC 104	36,00 Bb	44,75 Aa	40,37	11,36	12,46	11,91 b	6,73	8,01	7,37 c
FC 305	35,75 Bb	42,50 Ab	39,12	11,21	11,97	11,59 c	7,69	8,95	8,32 c
FC 704	35,00 Bb	40,25 Ac	37,62	10,29	10,95	10,62 d	7,44	8,78	8,11 c
FC 904	37,50 Ba	45,00 Aa	41,25	11,01	12,35	11,68 c	6,94	8,78	7,86 c
FC 1101	37,25 Ba	43,00 Ab	40,12	11,42	12,64	12,03 b	7,99	9,43	8,71 b
FC 2305	36,00 Bb	42,50 Ab	39,25	9,80	12,01	10,91 d	6,88	9,09	7,98 c
FC 2407	38,00 Ba	45,50 Aa	41,75	12,08	13,98	13,01 a	7,73	9,88	8,80 b
FC 2416	38,00 Ba	43,00 Ab	40,50	11,21	11,53	11,37 c	7,41	8,43	7,92 c
FC 2603	35,00 Bb	41,75 Ab	38,37	10,78	11,80	11,29 c	7,41	8,50	7,96 c
FC 3005	38,00 Ba	45,50 Aa	41,75	11,34	12,84	12,09 b	7,42	8,96	8,19 c
BRS Novaera	36,00 Bb	40,25 Ac	38,12	11,04	12,61	11,82 b	7,04	8,73	7,88 c
Pingo de Ouro	37,00 Aa	39,25 Ac	38,12	11,80	13,03	12,41 b	8,21	10,51	9,36 a
Média geral	36,63 B	42,77 A	39,70	11,11 B	12,34 A	11,73	7,41 B	9,00 A	8,20

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a um nível de 5 % de significância. NDF: em dias; CFT: em cm; LFT: em cm. Médias gerais seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste F, ao nível de 5% de significância.

As variáveis associadas à área foliar, CFT e LFT (Tabela 2), permaneceram constantes ao longo dos anos de cultivo, evidenciando a estabilidade dessas características. A linhagem FC 2407 destacou-se pelo comprimento do folíolo terminal, enquanto a cultivar Pingo de Ouro se diferencia pela largura do folíolo terminal. Embora esses genótipos estejam entre os que apresentam as maiores médias dessas variáveis, eles não demonstraram as maiores médias de produtividade de grãos. No entanto, é importante notar que a linhagem FC 2407 registrou alta média no peso de mil sementes durante os dois anos de cultivo (Tabela 5).

A relevância da mensuração da área foliar nas culturas agrícolas deve-se à sua forte correlação com as taxas de fotossíntese e transpiração das plantas, uma vez que essa variável reflete a capacidade da planta em capturar radiação e realizar trocas gasosas com o ambiente, sendo assim, um indicativo significativo da produtividade das culturas (DE LIMA, 2023).

No que diz respeito ao número de dias para maturação, os doze genótipos analisados apresentaram ciclo precoce, inferior a 70 dias (Tabela 3). Embora se possa notar tendência de prolongamento do ciclo na safra de 2025, não se percebeu influência do ambiente sobre essa característica. Essa estabilidade pode ser atribuída ao fato de que, em certos genótipos, a maturação ocorre de forma mais consistente, especialmente quando o intervalo entre o florescimento e a maturação se mantém relativamente estável, independentemente das condições ambientais, o que minimiza ou até elimina a interação com o ambiente.

Sousa et al. (2015) destacaram que, ao examinar diferentes genótipos de feijão-caupi em vários ambientes, notou-se que as características fenológicas analisadas apresentaram respostas consistentes, indicando interferência reduzida da interação G x E. Isso sugere que os genótipos mantêm desempenho previsível quanto a esses caracteres, independente das variações nas condições de cultivo.

Em relação às medidas de comprimento das vagens e número de vagens por planta, o desdobramento destacou desempenho superior no ano de cultivo de 2025 (Tabela 3). Ao analisar o desdobramento da interação quanto ao comprimento das vagens, os genótipos BRS Nova era, Pingo de Ouro, FC 704, FC 2603 e FC 2305 demonstraram estabilidade, mantendo-se no mesmo grupo estatístico em ambos os anos analisados.

Tabela 3 - Comparação de médias para as características de número de dias para maturação (NDM), comprimento de vagem (CV) e número de vagens por planta (NVP) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.

GENÓTIPOS	NDM			CV			NVP		
	2024	2025	Média	2024	2025	Média	2024	2025	Média
FC 104	59,50	65,00	62,25 a	16,28 Bb	18,56 Ab	17,42	7,25 Aa	5,45 Bb	6,35
FC 305	55,00	66,00	60,50 b	17,71 Ba	20,19 Aa	18,95	6,03 Ab	6,68 Ab	6,35
FC 704	54,75	63,25	59,00 b	14,95 Ab	15,20 Ad	15,08	7,28 Aa	7,68 Aa	7,48
FC 904	58,00	66,25	62,12 a	15,81 Bb	18,53 Ab	17,17	7,53 Aa	8,50 Aa	8,01
FC 1101	59,00	66,75	62,87 a	15,10 Bb	17,26 Ac	16,18	6,63 Ba	8,48 Aa	7,55
FC 2305	54,50	65,00	59,75 b	18,48 Aa	18,48 Ab	18,48	5,23 Bb	7,23 Aa	6,23
FC 2407	59,25	67,00	63,12 a	18,11 Ba	21,51 Aa	19,81	5,08 Ab	6,05 Ab	5,56
FC 2416	59,50	65,00	62,25 a	16,64 Bb	19,14 Ab	17,89	6,53 Aa	7,80 Aa	7,16
FC 2603	56,52	67,00	61,62 a	16,40 Ab	17,52 Ac	16,96	5,35 Bb	7,78 Aa	6,56
FC 3005	57,75	66,75	62,25 a	18,56 Ba	20,17 Aa	19,36	6,38 Aa	6,80 Ab	6,59
BRS Novaera	56,75	66,75	61,75 a	19,41 Aa	19,44 Ab	19,42	5,55 Ab	5,83 Ab	5,69
Pingo de Ouro	55,00	66,25	60,62 b	17,35 Aa	17,40 Ac	17,38	4,90 Ab	6,33 Ab	5,61
Média geral	57,10 B	65,92 A	61,51	17,07 B	18,62 A	17,84	6,14 B	7,05 A	6,59

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a um nível de 5 % de significância. NDM: em dias; CV: em cm; NVP: em cm. Médias gerais seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste F, ao nível de 5% de significância.

Quanto ao comprimento das vagens, é importante frisar que vagens maiores é preferível para a colheita manual, uma vez que tendem a conter um número superior de grãos. No primeiro ano, o comprimento médio variou entre 14,95 cm e 19,41 cm, enquanto no segundo ano essa faixa foi de 15,20 cm a 21,51 cm. As linhagens FC 305, FC 2407 e FC 3005 se destacaram positivamente nesse aspecto, figurando entre os melhores grupos em ambos os anos. De acordo com Freire Filho et al. (2011), o mercado de feijão demanda vagens grandes e visualmente atrativas, principalmente quando comercializados em forma de vagens verdes, tornando esses genótipos os mais apropriados em relação ao tamanho das vagens para atender a essa demanda.

Para a característica de número de vagens por planta, a análise revelou que oito dos doze genótipos examinados apresentaram estabilidade, fazendo parte do grupo superior ao longo dos dois anos de cultivo. Assim, os genótipos que mais se destacaram em relação ao número de vagens por planta foram FC 305, FC 704, FC 904, FC 2407, FC 2416, FC 3005, BRS Novaera e Pingo de Ouro. Entre essas, cinco genótipos (FC 305, FC 704, FC 2416, FC 3005, BRS Novaera) alcançaram produtividades superiores à média geral 1149,10 kg ha⁻¹. Esse resultado demonstra que aumentos no caráter número de vagens por planta podem impactar positivamente a produtividade dos grãos. De maneira geral, as descobertas ressaltam a relevância do caráter número de vagens por planta em programas de melhoramento, pois possibilita uma resposta correlacionada eficaz na produtividade dos grãos.

Em relação à altura de plantas (Tabela 4), observou-se que o ano de cultivo exerce uma considerável influência sobre essa característica. No primeiro ano, a média variou entre 21,87 cm e 31,43 cm, enquanto no segundo ano os valores médios estiveram na faixa de 49,50 a 75,93 cm. Destaca-se que os genótipos que apresentaram as maiores médias foram FC 704, FC 1101, FC 2407 e Pingo de Ouro no primeiro ano, e FC 2407 e FC 3005 no segundo ano. A linhagem FC 2603 compôs os menores grupos estatísticos nos dois anos e registrou a menor média total, com 35,69 cm.

A variação na altura de plantas entre os dois anos de cultivo pode estar relacionada com a distribuição de chuvas, observada em 2025, durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura. De acordo com Andrade Júnior, Bastos e Cardoso (2017), o feijão-caupi possui melhor desempenho com cerca de 300 mm de precipitação, desde que bem distribuídas, enquanto volumes superiores podem comprometer o desenvolvimento fisiológico da planta. Os efeitos do excesso de água na fase vegetativa da cultura causam condições de baixa disponibilidade de oxigênio no solo (hipóxia radicular), podendo impactar a atividade hormonal das raízes, prejudicando a produção e a distribuição dos reguladores de crescimento (TAIZ et al., 2017).

Além disso, a maior frequência de precipitações tende a elevar a ocorrência de dias nublados, reduzindo a incidência de radiação solar direta sobre as plantas, o que pode afetar seu desenvolvimento fisiológico. De acordo com Alves (2018) por ser planta C3, a cultura possui alta interceptação da energia luminosa, saturando-se fotossinteticamente mesmo sob intensidades de luz moderadas. No processo de fotossíntese, essa saturação pode reduzir a taxa fotossintética, influenciando negativamente o crescimento, o desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

Quanto ao diâmetro da planta (Tabela 4) foram estabelecidos quatro grupos estatísticos, e entre os genótipos analisados durante os dois anos de cultivo, a linhagem FC 1101 obteve a maior média, com 10,02 cm. O diâmetro do caule desempenha um papel crucial, uma vez que maior diâmetro proporciona melhor sustentação para a planta, reduzindo assim a probabilidade de tombamento.

Portanto, os resultados indicam que, em 2024, as linhagens que possuem porte semiprostrado apresentaram desenvolvimento aéreo limitado, diferente do que foi observado em 2025, quando o crescimento foi mais expressivo. Sendo esse fenômeno atribuído ao excesso de precipitação no início do ciclo, que estimulou um crescimento vegetativo excessivo, e a ausência de luminosidade, causada pela frequência de dias nublados, prejudicando a captação de luz, a fotossíntese e a distribuição dos fotoassimilados para as sementes. Assim, o desequilíbrio na distribuição hídrica, aliado à ocorrência de dias nublados no segundo ano, pode ter causado maior crescimento aéreo, sem resultar em maior produção, ressaltando a importância do manejo pluviométrico.

Além disso, no segundo ano, as testemunhas BRS Novaera e Pingo de Ouro, classificadas como de porte semiereto, expressaram acamamento. Um aspecto relevante a ser mencionado sobre altura e o diâmetro das plantas de porte ereto e semiereto é que, geralmente, plantas mais altas tendem a ter maior índice de acamamento, especialmente quando o diâmetro não se desenvolve proporcionalmente ao crescimento aéreo, aumentando a probabilidade de tombamento devido ao vento (OLIVEIRA et al., 2014).

Compreender o porte dos genótipos é fundamental para determinar o tipo de colheita. Porte mais ereto, as vagens ficam suspensas, facilitando a colheita mecanizada, enquanto o porte semiprostrado proporciona ao agricultor familiar colheitas escalonadas, explorando mais o potencial genético da planta. Além disso, entender o tipo de porte permite realizar recomendações de cultivares que proporcionem melhor cobertura de solo, contribuindo para a sua conservação, controlando erosões e reduzindo a quantidade de plantas invasoras (DA SILVA, 2022).

Tabela 4 - Comparação de médias para as características de altura de planta (AP) e diâmetro de planta (DP) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.

GENÓTIPOS	AP			DP		
	2024	2025	Média	2024	2025	Média
FC 104	26,29 Bb	52,93 Ac	39,61	7,54	8,38	7,96 d
FC 305	21,91 Bb	67,33 Ab	44,62	7,94	9,11	8,53 c
FC 704	27,94 Ba	54,38 Ac	41,16	8,25	9,13	8,69 c
FC 904	24,70 Bb	65,98 Ab	45,34	8,35	9,10	8,73 c
FC 1101	31,43 Ba	65,35 Ab	48,39	8,98	11,05	10,02 a
FC 2305	21,09 Bb	63,50 Ab	42,29	8,23	9,45	8,84 c
FC 2407	31,36 Ba	75,93 Aa	53,64	8,22	8,89	8,56 c
FC 2416	24,21 Bb	66,83 Ab	45,52	8,73	9,39	9,06 b
FC 2603	21,87 Bb	49,50 Ac	35,69	7,61	9,36	8,49 c
FC 3005	25,60 Bb	72,68 Aa	49,14	8,73	9,73	9,23 b
BRS Novaera	26,06 Bb	53,55 Ac	39,81	7,05	8,46	7,75 d
Pingo de Ouro	29,21 Ba	62,88 Ab	46,04	7,82	9,37	8,60 c
Média geral	25,97 B	62,57 A	44,27	8,12 B	9,28 A	8,70

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a um nível de 5 % de significância. AP: em cm; DP: em mm. Médias gerais seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste F, ao nível de 5% de significância.

Em relação ao número de sementes por vagens (Tabela 5), não foram detectadas interações relevantes, indicando estabilidade no desempenho dos genótipos. No entanto, com base no fator ambiente, pode-se afirmar que o segundo ano apresentou médias mais elevadas para todos os genótipos analisados. Entre eles, os que se destacaram foram FC 305, FC 904, FC 2407, FC 2603, FC 3005 e BRS Novaera. No que diz respeito ao peso de mil sementes, foi possível determinar que os genótipos FC 305, FC 704, FC 904, FC 1101, FC 2305, FC 2407, FC 2603 e BRS Novaera mantiveram estabilidade ao longo dos dois anos.

Quanto à produtividade (Tabela 5), o desdobramento revelou que os genótipos FC 305, FC 904, FC 2305, FC 2407, FC 2603 e Pingo de Ouro demonstraram estabilidade entre os diferentes ambientes de cultivo, evidenciando que seu desempenho se mantém constante mesmo em diferentes condições ambientais. Segundo Torres et al. (2015), um genótipo que apresenta alta produtividade em determinado ambiente tende a manter esse nível em ambientes diversos, pois é capaz de reagir positivamente às alterações ambientais, evidenciado pela forte correlação entre os valores genotípicos em diferentes locais, além de ter boa previsibilidade em relação às mudanças nas condições ambientais.

O primeiro ano demonstrou médias mais elevadas, com destaque para os genótipos FC 104, FC 704, FC 1101, FC 2416, FC 3005 e BRS Novaera que exibiram ótimo desempenho, compondo o melhor grupo. No segundo ano, as linhagens FC 305, FC 704, FC 904, FC 2305, FC 2416 e FC 3005 apresentaram maiores médias. Os resultados evidenciam a capacidade de ajuste ao ambiente desses genótipos, com respostas positivas às condições ambientais variadas.

É importante observar que a linhagem FC 3005 esteve entre os melhores grupos nos dois anos, apresentando a maior média total comparada aos outros genótipos, mas não apresentou estabilidade. Uma possível explicação é que, no primeiro ano, a linhagem demonstrou menor crescimento aéreo, compensando com maior eficiência produtiva. Já no segundo ano, o desenvolvimento vegetativo foi maior, mas não traduziu esse vigor em produtividade. Esse resultado sugere que os genótipos podem priorizar o desenvolvimento de estruturas vegetativas ou reprodutivas, dependendo das condições ambientais, como excesso hídrico e baixa luminosidade, por exemplo, dias nublados.

De acordo com Scher (2024), o rendimento da cultura do feijoeiro é determinado geneticamente, mas é fortemente influenciado pelas condições ambientais ao longo do ciclo. O autor destaca que pode ocorrer efeito compensatório entre os componentes de produtividade, em que a redução de uma característica pode ser compensada pelo aumento de outra, dependendo das condições de cultivo. Vale ressaltar que um genótipo com elevada produtividade pode se sobressair mesmo diante de variações nas condições ambientais, ainda que não apresente estabilidade em diferentes locais ou anos de cultivo, demonstrando adaptabilidade uma vez que respondem bem às adversidades ambientais (COSTA, 2021).

De forma geral, os genótipos FC 104, FC 305, FC 704, FC 1011, FC 2416, FC 3005 e BRS Novaera superaram a média estadual (1145 kg ha^{-1}) para o mesmo período de cultivo durante a safra 2024/25 (CONAB, 2025), com destaque para a linhagem FC 3005, alcançando média de $1444,02 \text{ kg ha}^{-1}$. Além disso, os genótipos FC 104, FC 1011, FC 2416, FC 3005 e BRS Novaera mostraram maior peso de mil sementes, destacando que essa característica apresenta influência significativa na produtividade.

Os caracteres quantitativos oferecem dados sobre o desempenho agrônômico de uma espécie, incluindo aspectos como produtividade, tempo para floração, tamanho das sementes, entre outros. Esses caracteres são fortemente afetados pelas condições ambientais, mas têm grande importância na análise de acessos, pois demonstram o verdadeiro potencial produtivo e a viabilidade de aplicação direta no melhoramento genético. Normalmente, são influenciados por múltiplos genes (VIEIRA et al., 2006)

Tabela 5- Comparação de médias para as características de número de sementes por vagem (NSV), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) entre os dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO.

GENÓTIPOS	NSV			PMS			PROD		
	2024	2025	Média	2024	2025	Média	2024	2025	Média
FC 104	7,38	11,88	9,63 b	202,05 Ab	166,08 Bb	184,06	1500,51 Aa	839,62 Ba	1170,06
FC 305	10,13	13,20	11,67 a	183,59 Ac	167,85 Ab	175,72	1258,55 Ab	1109,37 Aa	1183,96
FC 704	7,51	9,75	8,63 c	194,54 Ab	195,48 Aa	195,01	1549,29 Aa	1018,90 Ba	1284,10
FC 904	10,51	12,48	11,49 a	152,09 Ac	147,38 Ab	149,73	1212,32 Ab	1004,10 Aa	1108,21
FC 1101	8,98	11,97	10,47 b	224,26 Aa	201,95 Aa	213,10	1571,54 Aa	834,05 Ba	1202,79
FC 2305	9,24	11,10	10,17 b	175,92 Ac	173,85 Ab	174,72	1060,76 Ab	1185,58 Aa	1123,17
FC 2407	9,61	12,58	11,10 a	226,24 Aa	210,44 Aa	218,34	910,16 Ab	890,59 Aa	900,37
FC 2416	9,53	11,29	10,41 b	212,66 Aa	172,86 Bb	192,76	1393,47 Aa	1085,91 Ba	1239,69
FC 2603	10,42	11,31	10,86 a	163,80 Ac	157,49 Ab	160,64	902,15 Ab	992,19 Aa	947,17
FC 3005	10,25	13,12	11,68 a	175,38 Bc	215,29 Aa	195,33	1801,97 Aa	1086,06 Ba	1444,02
BRS Novaera	10,50	12,95	11,72 a	194,60 Ab	185,25 Aa	189,92	1532,53 Aa	899,38 Ba	1215,95
Pingo de Ouro	9,10	11,66	10,38 b	215,82 Aa	173,66 Bb	194,74	1058,06 Ab	881,34 Aa	969,70
Média geral	9,43 B	11,94 A	10,69	193,41 A	180,63 B	187,02	1312,61 A	985,59 B	1149,10

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a um nível de 5 % de significância. PMS: em g; PROD: em kg ha⁻¹. Médias gerais seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste F, ao nível de 5% de significância.

A análise dos 12 genótipos de feijão-caupi revelou diferenças nos descritores morfológicos avaliados em relação aos aspectos qualitativos da planta, folhas, flores, vagens (Quadro 1) e sementes (Quadro 2). Ao classificar os descritores morfológicos, ficou evidente que houve variações entre os genótipos em todas as variáveis avaliadas, exceto no que diz respeito ao hábito de crescimento, ao brilho das sementes, a cor do anel do hilo e a presença do halo, características que se mostraram comuns a todos os genótipos.

Em razão da extensa distribuição geográfica e da habilidade de adaptação, as diferentes variedades de feijão-caupi apresentam, de modo geral, significativa diversificação em relação a características morfológicas, especialmente no que diz respeito à cor e ao tamanho das sementes, além de atributos relacionados às vagens, folhas e à produtividade (GERRANO et al., 2015).

Os genótipos exibiram porte semiprostrado, exceto as cultivares BRS Novaera e Pingo de Ouro, que se destacaram por apresentarem crescimento semiereto. Isso ressalta a diversidade do material, que é capaz de atender às variadas necessidades dos agricultores da região, seja para sistemas de produção familiar ou mecanizados. O porte semiprostrado mostra-se especialmente interessante para a agricultura familiar, sendo que as seleções de genótipos com essa característica, associadas à boa arquitetura, elevadas produtividade, adaptabilidade e estabilidade são preferidas para esse sistema (BARROS et al., 2013).

No que diz respeito ao formato foliar, constatou-se que dez dos doze genótipos analisados exibiram folhas lanceoladas alargadas; a linhagem FC 104, formato lanceolado, enquanto a cultivar Pingo de Ouro formato romboide. Em relação às características florais, 50% dos genótipos apresentaram flores brancas, 50% exibiram flores roxas, e 83,33% dos genótipos foram identificados com cálice verde, sendo apenas as linhagens FC 2407 e 2603 com cálice roxo. Os caracteres são considerados mais confiáveis e adequados para descrever uma variedade, pois são predominantemente controlados geneticamente e têm menor variação em função do ambiente de cultivo em comparação com características quantitativas (CARVALHO et al., 2017).

Em relação às cores das vagens, observaram-se três tonalidades: 73% marrons, 8,3% amarelas e 16,7% roxas. A maioria das vagens estava situada acima das folhas, exceto pelas linhagens FC 104 e FC 704, que estavam alinhadas ao nível das folhagens. A localização das vagens acima das folhas facilita sua visualização e contribui para uma colheita manual eficiente (MENDES, 2017).

Quanto a cor das sementes, 50% apresentaram cor branca e 50% marrons, destacando-se pela predominância de uma textura lisa. Contudo, os genótipos FC 704, FC 2603, BRS

Novaera e Pingo de Ouro exibiram textura rugosa. No que se refere ao formato das sementes, metade das linhagens, como FC 104, FC 305, FC 704, FC 904, FC 1101 e FC 2603, apresentaram formato oval. Por outro lado, as linhagens FC 2305, FC 241, FC 3005 e Pingo de Ouro exibiram formato romboide, enquanto os genótipos FC 2407 e BRS Novaera mostraram-se com formato reniforme. Quanto ao brilho, à cor do hilo e à presença de halo, todos os genótipos avaliados apresentaram características semelhantes, sendo opacos, com hilo marrom e ausência de halo.

Conforme aponta Freire Filho (2011), no comércio a granel brasileiro, os grãos com formatos reniforme, romboide, ovoide e quadrangular são os mais predominantes. Já no comércio de grãos embalados, os formatos predominantes são reniformes, ovoide e losangular, havendo preferência por grãos que não possuem halo, aqueles com hilo e anel do hilo pequenos, além de membrana do hilo e anel do hilo de tonalidade clara, sendo estes aspectos mais relevantes na categoria Branco. O autor cita também que a demanda por classificação e caracterização das sementes de feijão-caupi em relação ao tamanho, cor, forma e características do anel do hilo e halo tem sido reconhecida há anos, não só para a descrição de cultivares, mas, principalmente, para objetivos comerciais.

O entendimento da diversidade genética em materiais de uso imediato ou em coleções de Bancos de Germoplasma é fundamental e possui grande potencial para aplicações nas futuras gerações. Essa variabilidade genética é crucial, pois pode ser vista como fonte de genes valiosos, permitindo, por meio do melhoramento genético, a criação de variedades mais produtivas, resistentes e adaptadas a diferentes ambientes (SILVA, 2011). Assim, a caracterização morfológica oferece suporte significativo para o manejo e a preservação dos bancos de germoplasma, além de ser um passo importante na descoberta de novas variedades. Além disso, essa caracterização é essencial para avaliar o nível de variabilidade genética das populações vegetais, bem como a variabilidade na seleção de genitores com características distintas, possibilitando a obtenção de linhagens superiores em programas de melhoramento genético (VALOIS, 2015).

Quadro 1- Descritores morfológico avaliados em 12 genótipos de feijão-caupi durante os dois dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO: hábito de crescimento (CARAC.1); porte (CARAC.2); formato do folíolo terminal (CARAC.3); cor primária do estandarte (CARAC.4); cor primária da asa (CARAC.5); cor primária do cálice (CARAC.6); cor primária da vagem (CARAC.7); distribuição predominante das vagens em relação às folhagens (CARAC.8). (continua)

GENÓTIPO	CARAC.1	CARAC.2	CARAC.3	CARAC.4	CARAC.5	CARAC.6	CARAC.7	CARAC.8
FC 104	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada	Branca	Branca	Verde	Marrom	No nível
FC 305	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Roxa	Roxa	Verde	Marrom	Acima
FC 704	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Branca	Branca	Verde	Marrom	No nível
FC 904	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Roxa	Roxa	Verde	Marrom	Acima
FC 1101	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Branca	Branca	Verde	Marrom	Acima
FC 2305	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Roxa	Roxa	Verde	Marrom	Acima
FC 2407	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Branca	Branca	Roxa	Roxa	Acima
FC 2416	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Roxa	Roxa	Verde	Marrom	Acima
FC 2603	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Branca	Branca	Roxa	Roxa	Acima
FC 3005	Indeterminado	Semiprostrado	Lanceolada alargada	Roxa	Roxa	Verde	Marrom	Acima
BRS Novaera	Indeterminado	Semiereto	Lanceolada alargada	Branca	Branca	Verde	Amarela	Acima
Pingo de Ouro	Indeterminado	Semiereto	Rombóide	Roxa	Roxa	Verde	Marrom	Acima

Quadro 2 - Descritores morfológico avaliados em 12 genótipos de feijão-caupi durante os dois dois anos de cultivo, safrinha de 2024 e 2025, em Gurupi - TO: Cor primária da semente (CARAC.9); textura da semente (CARAC.10); formato da semente (CARAC.11); brilho da semente (CARAC.12); cor do anel do hilo (CARAC.13); presença do halo (CARAC.14).

GENÓTIPO	CARAC.9	CARAC.10	CARAC.11	CARAC.12	CARAC.13	CARAC.14
FC 104	Branca	Lisa	Ovalada	Opaco	Marrom	Ausente
FC 305	Marrom	Lisa	Ovalada	Opaco	Marrom	Ausente
FC 704	Branca	Rugosa	Ovalada	Opaco	Marrom	Ausente
FC 904	Marrom	Lisa	Ovalada	Opaco	Marrom	Ausente
FC 1101	Branca	Lisa	Ovalada	Opaco	Marrom	Ausente
FC 2305	Marrom	Lisa	Rombóide	Opaco	Marrom	Ausente
FC 2407	Branca	Lisa	Reniforme	Opaco	Marrom	Ausente
FC 2416	Marrom	Lisa	Rombóide	Opaco	Marrom	Ausente
FC 2603	Branca	Rugosa	Ovalada	Opaco	Marrom	Ausente
FC 3005	Marrom	Lisa	Rombóide	Opaco	Marrom	Ausente
BRS Novaera	Branca	Rugosa	Reniforme	Opaco	Marrom	Ausente
Pingo de Ouro	Marrom	Rugosa	Rombóide	Opaco	Marrom	Ausente

4 CONCLUSÕES

Os genótipos FC 704, FC 2416 e FC 3005 podem ser cultivados em vários ambientes, demonstrando adaptabilidade e alta produtividade.

Os genótipos FC 305, FC 904, FC 2305, FC 2407, FC 2603 e Pingo de Ouro evidenciaram estabilidade, mantendo previsibilidade no desempenho mesmo diante da variabilidade dos ambientes.

A linhagem FC 3005 possui alto desempenho produtivo e ótimo potencial agrônômico, demonstrando viabilidade como opção promissora em sistemas de cultivo.

A caracterização morfológica evidenciou distinções entre os genótipos, os quais apresentaram variabilidade genética, permitindo tanto a seleção quanto o desenvolvimento de novas cultivares.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N. de S. F. **Introdução, caracterização morfoagronômica e fisiológica de sete acessos de feijão-caupi no Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Ceará.** Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 55, 2018.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Clima. In: BASTOS, E. A. (Ed.). **Cultivo de feijão-caupi.** 2. ed. Brasília, DF: **Embrapa**, 2017.
- AVIANI, D. D. M.; HIDALGO, J. A. F. Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. In: **Proteção de Cultivares no Brasil / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo.** – Brasília: Mapa/ACS, 202p., 2011.
- BARROS, M. A.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. J. D.; NEVES, A. C. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão caupi de porte semiprostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 4, p. – 403-410, abr. 2013. DOI: 10.1590/S0100204X2013000400008.
- CARVALHO, M.; BEBELI, P. J.; PEREIRA, G.; CASTRO, I.; EGEA GILABERT, C.; MATOS, M.; LAZARIDI, E.; DUARTE, I.; LINO NETO, T.; NTATSI, G.; RODRIGUES, M.; SAVVAS, D.; ROSA, E.; CARNIDE, V. European cowpea landraces for a more sustainable agriculture system and novel foods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 13, p. 4399–4407, out. 2017. DOI: 10.1002/jsfa.8378.
- CAVALCANTE, R. R.; SOUSA, T. I. L. de; COSTA, P. F.; NASCIMENTO, I. R. do; SILVA, K. J. D. e. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão caupi no Estado de Tocantins. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 11, n. 6, p. 49 55, dez. 2017.
- CERUTTI, P. H.; WILLE, C. L.; JÚNIOR, C. Z. J.; DOS SANTOS CARBONARI, L. T.; DE MELO, R. C.; GUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M. Fenotipagem do caráter distribuição radicular de populações segregantes no melhoramento genético de feijão. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, v.16, n.47, p.2814- 2829, 2023.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Safra de grãos**, Brasília, DF, v.12, Safra 2024/25, n. 10, décimo levantamento, julho 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/10o-levantamento-safra-2024-25/10o-levantamento-safra-2024-25>>.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>.
- COSTA, A. P. L. **Desempenho agrônomo, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados em ensaio preliminar.** Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2021.
- DA SILVA, Y. M. **Desempenho morfoagronômico de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) no centro-norte do Espírito Santo.** Monografia (graduação em Agronomia)

– Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso de Agronomia. Santa Teresa, p.43, 2022.

FERREIRA, V. B.; DA SILVA, R. Z. Avaliação dos caracteres agronômicos da soja cultivada sob diferentes tipos de preparo do solo. **Agri-Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. e022015, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v9i2.8638>.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M., SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. 1. ed. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 84p., 2011.

GARCIA, S. B. F. Reflexos da Globalização sobre a Lei de Proteção de Cultivares no Brasil. **Cadernos de Direito: Revista do Mestrado em Direito da Unimep**, Piracicaba, v.1, n.2, p.65 – 181, 2002.

GERRANO, A. S.; ADEBOLA, P. O.; JANSEN VAN RENSBURG, W. S.; LAURIE, S. M. Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 32, n. 3, p. 165–174, 21 maio 2015. DOI: 10.1080/02571862.2015.1014435.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2024. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em 02 jul. 2025.

KOEPPEL, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico, DF: Fondo de Cultura Econômica, 478 p., 1948.

MACHADO, R. Z. Elaboração de diretrizes de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE). In: **Proteção de cultivares no Brasil/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília: Mapa/ACS**, 121-142p., 2011.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instruções para execução dos ensaios de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade de cultivares de feijão-caupi**. DOU nº 160, seção 1, p. 6-7, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumosagricolas/protecao-de-cultivar/agricolas>

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plataforma CultivarWeb**. Disponível em: <https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/>. Acesso em: 21 out. 2024.

MENDES, B. C. **Desempenho da cultura do feijão-caupi em função da adubação com silicato de potássio via foliar**. Chapadinha, MA: Universidade Federal do Maranhão, Campus de Chapadinha, 31 jan. 2017. 28 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Curso de Agronomia do Campus de Chapadinha, UFMA.

OLIVEIRA, T. C.; SILVA, J.; SANTOS, M. M.; CANCELLIER, E. L.; FIDELIS, R. R. Desempenho agronômico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do Estado do Tocantins. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 50–59, jan. – mar. 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 15v., 451p., 2022.

R CORE TEAM (R version 4.1.1). **The R project for statistical computing**. Disponível em: < <http://www.r-project.org/index.html> >. Acesso em: 10 ago. 2024.

ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MENEZES-JUNIOR, J. A. Cultivares. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (ed.). **Feijão-caupi do Plantio à Colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, p.113-142, 2017.

SANTOS, F. S.; MACHADO, R. Z. Analisando a estabilidade. In: **Proteção de cultivares no Brasil/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo**. Brasília: Mapa/ACS, 183-186p., 2011.

SCHER, I. M. **Correlações entre componentes de produtividade no feijoeiro**. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Santa Helena, p. 33, 2024.

SOUSA, J. L. M.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO E SILVA, K. J.; NEVES, A. C.; SOUSA, R. R. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 392-398, maio 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000500006.

SOUSA, S.; TAVARES, T.; BARROS, H.; NASCIMENTO, I.; SANTOS, V.; FIDELIS, R. Divergência genética de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no sul do Tocantins. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 419-429, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C.; OLIVEIRA, J. P. R.; SILVA, A. G.; PELÁ, A. Desempenho agrônomico e qualidade de sementes de cultivares de feijão -caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agrônômica**, vol. 41, n. 2, p.300-307. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000200019>

TORRES FILHO, J.; OLIVEIRA, C. N. G. DOS S.; SILVEIRA, L. M. DA; NUNES, G. H. de S.; PEREIRA, C. C. A.; SILVA, A. E. A. da. Divergência genética entre genótipos de feijão-caupi com base em caracteres associados com o mercado de vagens e grãos verdes. **Revista Caatinga**, v.31, n.1, p.56-63, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n107rc>.

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

VALOIS, A. C. C. Descritores para caracterização e avaliação de germoplasma vegetal Brasília, DF: **Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos – RG News**, v. 1, n.1, p. 26–31, 2015.

VIEIRA, E. A.; NODARI, R. O.; CARVALHO, F. I. F. de; FIALHO, J. de F. Mapeamento genético de caracteres quantitativos e sua interação com o ambiente. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, p.28, 2006. (Embrapa Cerrados. Documentos, 170).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados reforçam a importância da avaliação completa do desempenho agrônomo, adaptabilidade e diversidade genética na seleção de genótipos superiores, contribuindo para o avanço na identificação de genótipos promissores para programas de melhoramento genético. Evidenciou-se que os genótipos FC 104, FC 704, FC 1101, FC 2416, FC 3005 e BRS Novaera apresentaram alto potencial produtivo, com destaque para a linhagem FC 3005. Este genótipo também demonstrou alta adaptabilidade a diferentes ambientes e expressiva divergência genética em relação à maioria dos genótipos avaliados, características que o posicionam como candidato estratégico para futuras combinações híbridas, especialmente com as linhagens FC 1101 e FC 2407.

A produtividade destacou-se como principal fator de divergência genética entre os genótipos, contribuindo diretamente para seleção de genitores promissores e aumento da eficiência dos programas de melhoramento. Além disso, a adaptabilidade observada nas linhagens FC 704, FC 2416 e FC 3005 reforça sua viabilidade em diferentes sistemas de cultivo, já a estabilidade apresentada pelos genótipos FC 305, FC 904, FC2305, FC 2407, FC 2603 e Pingo de Ouro garante previsibilidade de desempenho mesmo diante da variabilidade ambiental.

A caracterização morfológica completou os dados agrônômicos, evidenciando a variabilidade genética existente entre os genótipos e ampliando as possibilidades de seleção e desenvolvimento de novas cultivares. Assim, os achados desta pesquisa não apenas contribuem para o entendimento da diversidade genética e do desempenho agrônomo dos genótipos estudados, como também auxiliam na condução de estratégias mais eficazes em programas de melhoramento genético e eficiência dos sistemas produtivos.