



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

RODRIGO ROBSON CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI EM CONDIÇÕES DE CAMPO E
LABORATÓRIO: DESEMPENHO AGRONÔMICO EM VÁRZEA TROPICAL E
RESISTÊNCIA AOS AGENTES FITOPATOGÊNICOS *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e
*Sclerotium rolfsii***

Gurupi, TO

2025

Rodrigo Robson Cavalcante

**Avaliação de linhagens de feijão-caupi em condições de campo e laboratório:
desempenho agrônômico em várzea tropical e resistência aos agentes fitopatogênicos
Sclerotinia sclerotiorum sp. e *Sclerotium rolfsii***

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em
Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins
(UFT), como requisito à obtenção do título de Doutor em
Produção Vegetal

Orientador: Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis

Gurupi, TO
2025

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

- C376a Cavalcante, Rodrigo Robson.
Avaliação de linhagens de feijão-caupi em condições de campo e laboratório: desempenho agrônomo em várzea tropical e resistência aos agentes fitopatogênicos *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotiorum rolfsii*. / Rodrigo Robson Cavalcante. – Gurupi, TO, 2025.
71 f.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção Vegetal, 2025.
Orientador: Rodrigo Ribeiro Fidélis
1. Características do feijão-caupi. 2. Seleção de linhagens de feijão-caupi para a Várzea Tropical. 3. Índice MGIDI na seleção de linhagens de feijão-caupi. 4. Avaliação de resistência de linhagens de feijão-caupi aos fungos *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotiorum rolfsii*. I. Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado 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).

Rodrigo Robson Cavalcante

**Avaliação de linhagens de feijão-caupi em condições de campo e laboratório:
desempenho agrônômico em várzea tropical e resistência aos agentes
fitopatogênicos *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotium rolfsii***

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Produção Vegetal foi avaliada para obtenção do título de
Doutor em Produção Vegetal e aprovada em sua forma
final pelo Orientador e pela Banca examinadora.

Data de aprovação: 05/05/2025

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente

gov.br

RODRIGO RIBEIRO FIDELIS

Data: 03/07/2025 10:28:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis, Orientador, UFT

Documento assinado digitalmente

gov.br

HELIO BANDEIRA BARROS

Data: 08/07/2025 10:04:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Hélio Bandeira Barros, UFT

Documento assinado digitalmente

gov.br

MANOEL MOTA DOS SANTOS

Data: 04/07/2025 09:02:17-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Mota dos Santos, UFT

Documento assinado digitalmente

gov.br

MARCOS ERIC BARBOSA BRITO

Data: 03/07/2025 19:41:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Eric Barbosa Brito, UFS

Documento assinado digitalmente

gov.br

GUSTAVO HUGO FERREIRA DE OLIVEIRA

Data: 03/07/2025 18:44:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira, UFS

Dedico à Deus, às minhas mães Ieda Cavalcante de Castro, Francisca da Silva Carvalho, ao meu pai Antônio Manoel, às minhas avós, Aldenora Carvalho e Maria Carneiro Cavalcante, às minhas tias Jacira Carvalho e Elaine Carvalho, aos meus irmãos, Paulo Pereira, Bianca Ieda, Uátina Carneiro, Jusymarlos Carvalho, Pedro Henrique, Lucas Manoel, João Pedro, em especial ao meu irmão Wellington Chagas Carneiro Cavalcante (In memorian).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, autor da minha vida, por ter me dado força, saúde, paciência e sabedoria para encarar as adversidades e chegar até aqui.

Às Minhas mães Ieda Cavalcante de Castro, e Francisca da Silva Carvalho. Ao meu pai, Antônio Manoel Q. da Silva, aos meus irmãos, Bianca Ieda da Silva, Paulo Pereira, ao meu sobrinho, Wellington Carlos, aos meus tios, José Jesus Quixabeira (Deca), Jacira Carvalho, e Elaine Carvalho (Evanir), e a minha namorada, Cristyane Carvalho, por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado.

Ao professor Dr. Rodrigo Ribeiro Fidelis ter aceitado em me orientar, e permitido participar do grupo de pesquisa “Melhoramento Genético de Culturas com Potencial Bioenergético”, onde adquiri mais que conhecimentos, adquiri uma família que sempre levarei comigo, e que tanto contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos, Fernando Barnabé, Louzam Cazé, Valter Santos, Karol Borges, Érika (Erikinha), Kellem Ângela, Marçal Pedro, Douglas Fidélis, Rogério Fidélis, Flávio Mendes, Otávio Limeira Luz e aos meus amigos com quem atuei profissionalmente no estado do Mato Grosso, inclusive ao meu ex-patrão Canísio Froelich pela oportunidade de ter atuado em sua empresa pelo período em que estive no referido estado, e seu ex-gerente Alcione Smanioto (In memoriam).

Aos meus ex-alunos, José Antônio, José Cantor, João Gasparetto, Luiz Gabriel, Luigi Zanfra, Jhonnathan Maranhão e Ana Paula Oliveira, pelo suporte na condução do experimento realizado na Várzea.

À Universidade Federal do Tocantins, todos os professores do Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, administração, equipe de limpeza e manutenção, em especial Érika Menezes e Noé, que se tornaram amigos além do suporte administrativo e acadêmico.

A todos aqueles que, mesmo não sendo citados, contribuíram para meu crescimento pessoal e conclusão desta etapa.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

CAPITULO II - ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO- CAUPI PARA A VÁRZEA TROPICAL

Figura 1-Teste de normalidade e homogeneidade das variáveis em estudo. Gurupi-TO, 2024.....	34
Figura 2-Teste de média para as características altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (IV), diâmetro de caule (DC), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagens (NG), número de grãos por planta (NGP), comprimento de vagem (CV), peso de mil grãos (PM), produtividade de grãos (PG), de 22 tratamentos de feijão-caupi cultivados em solo de Várzea Tropical. Gurupi-TO, 2024.....	37
Figura 3-Genótipos selecionados e não selecionados pelo índice de MGIDI. Gurupi- TO, 2024.....	42
Figura 4-Pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados pelo índice de MGIDI. Gurupi- TO, 2024.....	44

CAPITULO III - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI PARA OS AGENTES FITOPATOGÊNICOS *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotium rolfsii*

Figura 1-Esterização das sementes. Gurupi-TO, 2024.....	56
Figura 2-Semeadura das sementes. Gurupi-TO, 2024.....	57
Figura 3-Desbaste de plantas em casa de vegetação. Gurupi-TO, 2024.....	57
Figura 4-Placas com os fungos. Gurupi-TO, 2024.....	58
Figura 5-Inoculação dos fungos. Gurupi-TO, 2024.....	59
Figura 6-Avaliação da severidade do mofo-branco e da podridão-do-caule. Gurupi-TO, 2024.....	60

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – IMPORTÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA CULTURA

Tabela 1 - Comparação entre índices de seleção utilizados no melhoramento genético de plantas. Gurupi-TO, 2024.....	20
---	----

CAPÍTULO II - ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO- CAUPI PARA A VÁRZEA TROPICAL

Tabela 1 - Médias de temperatura e umidade relativa do ar, registradas no período de 28 de abril a 14 de julho de 2023, relativo ao período de condução do experimento. Gurupi- TO, 2024.....	29
---	----

Tabela 2 - Identificação dos genótipos de feijão-caupi experimentais e comerciais utilizados para realização da pesquisa na área do experimento – Várzea Tropical, Lagoa da Confusão – TO, 2024.....	30
--	----

Tabela 3 - Atributos químicos da amostra de solo nas profundidades de 0 -20 cm na área experimental, Lagoa da Confusão – TO.....	31
--	----

Tabela 4 - Quadrado médio (QM) das variáveis analisadas: altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (IV), diâmetro de caule (DC), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagens (NG), comprimento de vagem (CV), número de grãos por planta (NGP) peso de mil grãos (PM), produtividade de grãos (PG), de 22 tratamentos de feijão- caupi cultivados em solo de Várzea Tropical. 2024, Gurupi- TO	35
---	----

Tabela 5 - Cargas fatoriais e comunalidade obtida após rotação Varimax. Gurupi-TO, 2024.....	40
--	----

CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI PARA OS AGENTES FITOPATOGÊNICOS *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotium rolfsii*

Tabela 1 - Reações de linhagens de feijão-caupi a <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> sob condições de laboratório. Gurupi-TO, 2024.....	62
--	----

Tabela 2 - Médias dos caracteres porcentagem de severidade final (SEV%) e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> sob condições de laboratório. Gurupi. UFT, 2024.....	65
---	----

Tabela 3 - Reações de linhagens de feijão-caupi a <i>Sclerotium rolfsii</i> sob condições de laboratório. Gurupi, UFT, 2024.....	66
--	----

Tabela 4 - Médias dos caracteres porcentagem de severidade final (SEV%) e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), *Sclerotinia rolfii* sob condições de laboratório. Gurupi, UFT, 2024.....69

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – IMPORTÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA CULTURA.....	12
RESUMO.....	12
CHAPTER I - THE IMPORTANCE OF CHICKPEAS: THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE CROP.....	13
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Origem e importância do feijão-caupi.....	15
2.2 Melhoramento genético do feijão-caupi.....	16
2.3 Cultivo do feijão-caupi na várzea tropical.....	16
2.4 Doenças de importância de grande importância para a cultura do feijão-caupi.....	17
2.5 Índice de seleção e índice de seleção MGIDI.....	19
REFERÊNCIAS.....	22
CAPÍTULO II - ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO- CAUPI PARA A VÁRZEA TROPICAL.....	25
RESUMO.....	25
CHAPTER II - MGIDI INDEX IN THE SELECTION OF COWPEA LINES FOR THE TROPICAL LOWLANDS.....	26
ABSTRACT.....	26
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Local do Estudo.....	28
2.2 Material genético, delineamento experimental e preparo das unidades experimentais.....	29
2.3 Características avaliadas.....	31
2.4 Descrição das variáveis analisadas.....	32
2.5 Análise estatística.....	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

CAPÍTULO III-AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI PARA OS AGENTES FITOPATOGÊNICOS <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> sp. e <i>Sclerotium rolfsii</i>.....	51
RESUMO.....	51
CHAPTER III – EVALUATION OF THE RESISTENZ OF COWPEAN LINES TO AGENTS <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> sp. and <i>Sclerotium rolfsii</i>.....	52
ABSTRACT.....	52
1 INTRODUÇÃO.....	53
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
2.1 Local de estudo e delineamento.....	54
2.2 Esterilização do substrato.....	55
2.3 Genótipos utilizados.....	55
2.4 Esterilização de sementes e plantio dos genótipos.....	55
2.5 Desbaste, isolamento e inoculação dos fungos.....	57
2.6 Avaliação da severidade.....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS.....	70

CAPÍTULO I – IMPORTÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA CULTURA

RESUMO

O feijão-caupi é uma leguminosa de importância socioeconômica, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Diante disso, torna-se essencial estudar estratégias que contribuam para aumentar a produtividade, o que pode ser realizado por meio da prospecção de melhores genótipos para o sistema de cultivo. Portanto, objetivou-se, com este trabalho, fazer uma revisão de literatura sobre o feijão-caupi, dando ênfase a sua importância e principais características. Foi feito um levantamento detalhado sobre o feijão-caupi, abordando a origem e importância, o melhoramento genético das plantas, o cultivo na várzea tropical, as principais doenças de importância para a cultura e o índice de seleção e índice de seleção MGIDI.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, Cultivo e Sistema de cultivo.

CHAPTER 1 – THE IMPORTANCE OF CHICKPEAS: THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE CROP

ABSTRACT

Cowpea is a legume of socioeconomic importance, especially in the North and Northeast regions of Brazil. Therefore, it is essential to study strategies that contribute to increasing productivity, which can be achieved by prospecting for better genotypes for the production system. Therefore, the objective of this work was to review the literature on cowpea, emphasizing its importance and main characteristics. A detailed survey of cowpea was carried out, addressing its origin and importance, genetic improvement of plants, cultivation in tropical floodplains, the main diseases of importance to the crop, and the selection index and MGIDI selection index.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Cultivation and Cultivation system

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) é uma planta anual, de origem africana, introduzida no Brasil pelos portugueses, inicialmente pelo estado da Bahia. A espécie apresenta genótipos com ampla rusticidade, sendo tolerante a estresses abióticos e com baixa exigência nutricional, o que favorece sua adaptação à caatinga e às condições de seca severa (SILVA et al., 2021).

Trata-se de uma cultura essencial para a segurança alimentar no Nordeste brasileiro, devido ao seu elevado teor proteico, ampla adaptabilidade ambiental e versatilidade no consumo (FREITAS et al., 2016).

Além de seu valor nutritivo, o feijão-caupi possui vantagens ambientais importantes, como a capacidade de cobertura verde, que protege o solo da ação erosiva de ventos e chuvas (BATISTA et al., 2012), e sua associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*, que favorece a fixação biológica de nitrogênio (SILVA, 2019).

Considerada uma leguminosa de ampla variabilidade genética, o feijão-caupi tem sido alvo de programas de melhoramento genético. Esses programas têm como principal objetivo o desenvolvimento de cultivares que apresentem características superiores às cultivares tradicionais, já que a média de produtividade é baixa segundo a CONAB (2025) a produtividade média do estado do Tocantins na safra 2023/2024 foi de 1085 Kg. ha⁻¹ e a nacional de 542 1085 Kg. ha⁻¹. Para alcançar cultivares com vantagens, é necessário combinar diversos fenótipos com características de interesse, tais como alto rendimento, qualidade dos grãos, tipos de crescimento que permitam a mecanização, resistência a pragas e doenças, tolerância a altas temperaturas e adaptação a diferentes regiões (SILVA et al., 2018).

A identificação desses materiais pode ser realizada usando-se índices de seleção, um desses foi proposto por Olivoto e Nardino (2021), denominado índice de distância genótipo-ideótipo multicaracterística (MGIDI), que é baseado em análise fatorial, que permite reduzir a dimensionalidade dos dados e calcular distâncias genotípicas a um ideótipo planejado.

No entanto, o MGIDI, embora moderno, não é o único índice disponível (BENAKANAHALLI et al., 2021). Existem alternativas como o FAI-BLUP, que utiliza modelos mistos com abordagem bayesiana, o índice Smith-Hazel (SH), que prioriza correlação genotípica máxima, e o GSI (Genotype Selection Index), que pondera ganhos e estabilidade, devendo-se analisar comparativamente suas vantagens e limitações no contexto da cultura do feijão-caupi (NUNES, 2017; AMBRÓSIO et al., 2024).

A identificação de materiais promissores para o estado do Tocantins, já que a maioria dos cultivos ainda utiliza genótipos provenientes de programas de melhoramento genético conduzidos em outros estados brasileiros, com condições edafoclimáticas distintas, pode garantir a expansão do cultivo na região, sendo necessário, para isso, avaliar as características agronômicas das plantas em condições de cultivo específicas, como as áreas de várzeas tropicais, comuns na região.

Considerando que o uso do índice MGIDI pode ser uma alternativa interessante para auxiliar na seleção de genótipos do feijão-caupi, objetivou-se, com o presente trabalho, selecionar linhagens de feijão-caupi em ambiente de várzea tropical, e avaliar a resistência de linhagens de feijão-caupi submetidos aos agentes fitopatogênicos *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e importância do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma planta herbácea, autógama, anual, cuja região de origem mais provável situa-se na parte oeste e central da África (MACHADO et al., 2007). Entretanto, o centro de origem exato dessa planta ainda é discutido por muitos autores; para Steele e Mehra (1980), o oeste da África, mais precisamente a Nigéria, é o centro primário de diversidade da espécie, todavia Padulosi e Ng (1997) afirmam que provavelmente o feijão-caupi é originário da África do Sul.

Esta espécie, proveniente do continente africano, foi introduzida no Brasil no século XVI, pelos colonizadores portugueses, e sua entrada deu-se pelo estado da Bahia, de onde se expandiu para todo o País (FREIRE FILHO et al., 2005). É uma importante geradora de trabalho e fonte de renda, estimula a economia e desponta como uma cadeia produtiva-comercial, que se estende desde o agricultor familiar ao empresarial a passa por diversos setores da área do comércio até o consumidor da zona rural, das pequenas cidades e dos grandes centros urbanos do País (FREIRE FILHO et al., 2017).

O feijão-caupi é conhecido por vários nomes em nosso País: como feijão-macassar e feijão-de-corda, na região Nordeste; na região Norte, além de feijão de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, existe um tipo muito importante para a culinária local chamado de

manteiginha, e, na região Sul, é conhecido como feijão-miúdo. Em algumas regiões do estado da Bahia e no Norte de Minas Gerais, é chamado de feijão-gurutuba e feijão-catador. Além desses nomes, há um tipo de grão que tem o tegumento branco com um grande halo preto que é chamado de feijão-fradinho nos estados de Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2005; FREIRE FILHO et al., 2011).

2.2 Melhoramento genético do feijão-caupi

O melhoramento do feijão-caupi no Brasil teve início na segunda metade do século XVI, impulsionado pelas primeiras introduções e cruzamentos locais. A espécie, apesar de exótica, desenvolveu ampla variabilidade genética ao longo de mais de quatro séculos de cultivo, incluindo mutações e adaptações específicas ao ambiente brasileiro. Essa diversidade genética é essencial para o desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes biomas e condições de cultivo (CORREA et al., 2015; FREIRE FILHO et al., 2011).

Segundo Oliveira et al. (2011) essa cultura possui alta tolerância a fatores abióticos, como temperaturas elevadas e baixas pluviosidades, fatores que promovem enormes variações nos índices produtivos. Diante disso, reforça-se a importância do conhecimento sobre a interação genótipo x ambiente (TORRES et al., 2015; SILVA et al., 2018).

O melhoramento genético do feijão-caupi tem focado no desenvolvimento de cultivares com arquitetura moderna de planta, principalmente de portes semiprostrado e porte ereto; ciclo de maturação precoce; baixo acamamento; resistente às pragas e doenças; qualidade comercial do grão; altos teores de proteína e minerais; alta resposta à fixação biológica do nitrogênio; alta produtividade, adaptação e estabilidade aos vários biomas brasileiros (ROCHA et al., 2013).

2.3 Cultivo do feijão-caupi na várzea tropical

O feijão-caupi é amplamente cultivado por pequenos agricultores em sistemas de sequeiro, frequentemente consorciado com outras culturas locais. Recentemente, observa-se expansão em áreas irrigadas, visando maior produtividade e aproveitamento do potencial genético das cultivares melhoradas (CARDOSO et al., 1996).

O cultivo do feijão-caupi em solos de várzea é muito promissor. Os solos dessas

aéreas são ricos em nutrientes, oriundos de material suspenso provenientes das inundações sazonais, enquanto que as áreas de terra firme não sofrem inundação e são formadas por sedimentos terciários, porém, com poucas reservas de nutrientes para plantas (CAMPOS, 2009).

Vale destacar que, em função das boas características químicas dos solos de várzea, essas áreas ganharam importância na região, pois nesses solos é produzida a maior parte das culturas de ciclo curto, incluindo o feijão-caupi. Os solos de várzeas, normalmente, apresentam teores elevados de silte e são, frequentemente, eutróficos, com elevados valores de saturação por bases e capacidade de troca de cátions, especialmente Ca^{2+} e Mg^{2+} (LIMA et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2013) e contrastam com os solos bem drenados de terra firme, os quais apresentam baixa fertilidade devido, dentre outros fatores, à natureza do material geológico (LIMA et al., 2006).

O feijão-caupi é uma cultura adaptada aos solos de várzea e de terra firme, porém, se desenvolve melhor em solos leves, profundos, bem drenados e com fertilidade média a alta. Os solos tipos várzea normalmente são um solo fértil e não necessitam na maioria das vezes de calcário ou de grandes quantidades de fertilizantes (NETO, 2025).

2.4 Doenças de importância de grande importância para a cultura do feijão-caupi

As doenças de origem fúngica comprometem significativamente o desempenho agrônomo do feijão-caupi, afetando tanto raízes quanto parte aérea das plantas. Sua incidência está associada a condições climáticas favoráveis à patogênese, como alta umidade e temperaturas amenas.

De acordo com a Embrapa Meio Norte (2013), as principais doenças que acometem a cultura do feijão caupi são: dampim off, podridão-das-raízes, murcha-de- fusarium, murcha de esclerócio, antracnose, mela, oídio, mosaico-dourado-do-feijão- caupi.

-Dampim off: Frequentemente, quando o ataque é provocado por *Rhizoctonia*, os sintomas são logo perceptíveis no caule, onde se observam lesões deprimidas, alongadas e marrons, circundando às vezes todo o colo. Quando o ataque é de *Pythium* a doença avança até acima da linha do solo e, nesse caso, a lesão assume tonalidade esverdeada de aspecto aquoso. Nessa situação, quando as condições climáticas externam muita umidade e temperaturas amenas, o desenvolvimento das lesões é muito

rápido, determinando murcha e tombamento das plantas em um curto espaço de tempo. Assim observa-se falha na germinação e, conseqüentemente, redução no estande. Os métodos de controle baseiam-se fundamentalmente no uso de sementes sadias e certificadas.

-Podridão das raízes: O sintoma primário tem início na raiz principal que, a princípio, apresenta discreta coloração avermelhada, progredindo em intensidade e extensão. Posteriormente, a coloração avermelhada assume um tom marrom, época em que os tecidos se rompem em fendas longitudinais e são verificados apodrecimento do parênquima e desintegração dos feixes vasculares com a conseqüente interrupção da circulação de seiva, surgindo um amarelecimento geral, murcha, seca e morte das plantas. No controle é indicado o uso de cultivares comprovadamente resistentes, devem ser adotadas a remoção e queima das plantas doentes, eliminação dos restos culturais e rotação de cultura com algodão e/ou gramíneas. A aplicação de calcário, na ordem de 1 t/ha tem sido destacada como eficiente para o controle da enfermidade.

-Murcha-de-fusarium: Os sintomas se expressam primeiramente na redução do crescimento e clorose acompanhada de queda prematura de folhas que evolui para murcha e posterior morte das plantas. Seccionando-se longitudinalmente o caule percebe-se uma descoloração dos feixes vasculares, os quais assumem uma pigmentação castanha, demonstrando a colonização necrotóxica do patógeno nos tecidos condutores da hospedeira. Para o controle da doença, deve-se considerar um conjunto de medidas: escolha da área isenta do patógeno; definição adequada da época do plantio para se evitar o plantio sob condição de encharcamento; estabelecimento de um plano de rotação cultural e uso de sementes certificadas, produzidas em áreas que não foram afetadas anteriormente.

-Murcha de esclerócio: O sintoma mais representativo da doença constitui-se em um emaranhado miceliano de coloração branca, com ou sem pequenos corpúsculos esféricos (esclerócios), inicialmente brancos, posteriormente amarelados, situado no colo da planta. Sob essas estruturas, é ordinariamente observada intensa desestruturação dos tecidos do que resulta em danos ao sistema vascular com conseqüente amarelecimento, murcha, seca e morte das plantas. Como medidas de controle recomenda-se o uso de cultivares resistentes à doença e na ausência de materiais que apresentem resistência, algumas medidas são recomendadas, visando sobretudo ao controle preventivo. Dentre elas, destacam-se: durante o preparo do solo, promover aração profunda, enterrando, abaixo de 15 cm, os restos culturais; evitar acúmulo de matéria orgânica junto ao colo e caule das plantas; empregar espaçamentos abertos; promover

plano de rotação de cultura, incluindo milho e algodão e plantas consideradas resistentes.

-Antracnose: Apesar de o fungo infectar folhas (nervuras, pecíolos), ramos, pedúnculo, almofada floral, os sintomas mais frequentemente observados têm estado restritos à vagem e ao pedúnculo onde são encontradas manchas de coloração marrom-escura ou café, de tamanho e conformação variados. Na superfície das lesões, frequentemente despontam as frutificações negras do patógeno (acérvulos), destacando setas escuras, perceptíveis ao tato. Como forma de controle, recomenda-se o emprego de sementes sadias, produzidas em áreas comprovadamente não infectadas e destruição dos restos de cultura.

-Mela: A mela é uma importante doença do feijão-caupi na região Norte, devido ao clima úmido. Inicialmente, a doença se manifesta nas folhas baixas, no terço inferior da planta, próximo ao solo, como lesões pequenas e circulares sobre os folíolos, as quais vão aumentando de tamanho, coalescendo entre si e formando grandes áreas lesionadas e de aspecto encharcado, sintoma que dá nome à doença.

-Oídio: A doença pode atingir todas as partes das plantas, salvo o sistema radicular. O principal sintoma da doença se constitui no crescimento de uma "massa" branco-acinzentada de aspecto pulverulento, formada pelas estruturas vegetativas do patógeno, a qual se manifesta, inicialmente, nos folíolos e depois se estende aos pecíolos, caules, órgãos florais e vagens, até recobrir toda a superfície da planta afetada. O controle recomendado é a utilização de cultivares resistentes e em condições normais de cultivo a doença dispensa medidas de controle específicas. Contudo, nas zonas semiáridas podem ocorrer surtos da doença que em situações muito especiais, podem comprometer o desempenho da cultura.

-Mosaico-dourado-do-feijão-caupi: A doença, inicialmente, se expressa na forma de pequenas pontuações verde-amareladas. Proporcionalmente a sua evolução, tais pontuações crescem em formato e extensão, cobrindo toda a superfície do limbo foliar, finalizando por deixar os folíolos com a coloração amarelo-dourado. Às vezes, tem-se observado redução no porte das plantas, sem apresentar distorção nem deformação foliar. Como forma de controle, é recomendado o emprego de cultivares com alguma resistência ou tolerância. Eventualmente as cultivares podem apresentar, em condições de campo, infecções leves da doença, sem comprometer o rendimento da cultura.

2.5 Índice de seleção e índice de seleção MGIDI

Os índices de seleção são ferramentas estatísticas multivariadas utilizadas no

melhoramento genético para combinar várias características em um único valor. Entre os principais, destacam-se o índice de Smith-Hazel (SH), o índice base de Williams, e o índice de soma de ranks de Mulumba e Mock, além do MGIDI (GRANATE et al., 2002). A Tabela 1, apresentada a seguir, resume as principais características comparativas entre esses índices.

Tabela 1. Comparação entre índices de seleção utilizados no melhoramento genético de plantas

Índice	Características	Vantagens	Limitações
Smith-Hazel (SH)	Baseado em variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas	Alta precisão com bons dados	Sensível à multicolinearidade
Williams (Base)	Ponderação de valores fenotípicos com pesos econômicos	Evita problemas de covariância	Subjetividade nos pesos
Soma de ranks (Mulumba e Mock)	Classificação simples por ranks	Não exige matrizes complexas	Menor precisão estatística
MGIDI	Análise fatorial e distância genótipo-ideótipo	Agrupamento multicaracterísticas sem multicolinearidade	Requer padronização e planejamento de ideótipo
FAI-BLUP	Combina modelos mistos com distância ao ideótipo	Alta acurácia preditiva	Maior complexidade computacional
GSI	Combina ganho genético e estabilidade	Útil para ambientes variados	Menor interpretação biológica direta

Fonte: Cavalcante (2024).

O índice clássico descrito por Smith (1936) e Hazel (1943), caracteriza-se pela necessidade de estimar as matrizes de variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas e de estabelecer pesos econômicos relativos aos vários caracteres, onde se tem por maximizar a correlação entre o índice e o valor genotípico dos indivíduos. Por outro lado, o índice base proposto por Williams (1962), propõe ponderar os valores fenotípicos pelos seus respectivos pesos econômicos, evitando desta forma a interferência das imprecisões de matrizes de variância e covariância.

O índice de soma desenvolvido por Mulumba e Mock (1978), não se utiliza da necessidade de estabelecer pesos econômicos e da estimativa de variâncias e covariâncias genotípicas e fenotípicas. Esta metodologia é baseada na soma de “ranks”

para classificar os genótipos em relação a cada caráter. A partir desta classificação, são somados os valores de cada característica para os genótipos, resultando em um valor geral conhecido por índice de seleção (CUNHA, 2010).

O índice de seleção mais recente é o MGIDI (índice da distância genótipo/ideótipo multicaracterísticas) desenvolvido por Olivoto e Nardino (2021), o qual tem por objetivo obter a distância do genótipo/ideótipo através de técnicas multivariadas agregando as múltiplas características em estudo. Este índice auxilia na seleção de genótipos superiores, a partir de multicaracterísticas mensuradas, utilizando-se do método da análise fatorial descrita nas técnicas multivariadas, que permitem o cálculo de matrizes de variâncias e covariâncias sem resultados enviesados causados pela multicolinearidade.

Para utilizar o índice MGIDI deve-se inicialmente padronizar as características estudadas, de modo que todas fiquem compreendidas em um intervalo de 0 a 100. Com a análise fatorial é possível encontrar estruturas de correlação e, a partir disso, reduzir a dimensionalidade dos dados. Após essas etapas, deve-se planejar um ideótipo com base nas características desejadas e, por fim, estimar a distância entre cada genótipo do ideótipo planejado, utilizando a equação proposta por Olivoto e Nardino (2021):

$$MGIDI_i = \sqrt{\sum_{j=1}^f (F_{ij} - F_j)^2}$$

Em que:

$MGIDI_i$: Índice MGIDI no i -ésimo genótipo;

F_{ij} : pontuação do i -ésimo genótipo no j -ésimo fator ($i = 1, 2, \dots, g$; $j = 1, 2, \dots, f$), sendo g e f o número de genótipos e fatores, respectivamente;

F_j : o j -ésimo pontuação do ideótipo.

O genótipo com menor MGIDI é o mais próximo do ideótipo e, conseqüentemente, apresentará os valores desejados para todas as características analisadas.

REFERÊNCIAS

AMBRÓSIO, M. et al. Multi-trait index: selection and recommendation of superior black bean genotypes as new improved varieties. **BMC Plant Biology**, v. 24, n. 1, p. 525, 2024.

BENAKANAHALLI, N. K; SRIDHARA, S.; RAMESH, N.; OLIVOTO, T.; SREEKANTAPPA, G.; TAMAM, N.; ABDELBACKI, A. M. M.; ELANSARY, H. O.;

ABDELMOHSEN, A. M. Uma estrutura para identificação de genótipos estáveis com base nos índices MTSI e MGDII: Um exemplo em guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). **Agronomia**, v.11, n.1221, 2021.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; RIBEIRO, V. Q. **Dose de fósforo e densidades de planta em caupi. II. Efeito sobre a produtividade de grãos e componentes de produção sob irrigação em solo Aluvial Eutrófico.** In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4, 1996, Teresina. Resumos... Teresina: Embrapa- CPAMN, 1996. p.123.

CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes amazônicos do médio rio Madeira.** Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, p.242, 2009.

CONAB. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**, v.11 – safra 2023/24, nº9 – Nono levantamento, Junho de 2024. Brasília-DF.

CORREA, A. M.; CORREA, A. M.; BRAGA, D. C.; CECCON, G.; OLIVEIRA, L. V. A.; LIMA, A. R. S.; TEODORO, P. E. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de feijão-caupi. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n.1, p. 42-47, 2015.

CUNHA, K. S. **Marcadores moleculares aplicados à seleção recorrente recíproca de famílias de irmãos completos em milho (*Zea mays*, L.).** 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, Campos Goyatacazes.

EMBRAPA. **Principais pragas e doenças do feijão-caupi.** Embrapa Meio Norte, 2013. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/meio-norte/pragas-e-doencas-caupi> > Acesso em: 15/05/2025.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Org.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 519 p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RODRIGUES, J. E. L. F.; VIEIRA, P. F. de M. J. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: VALE, J. C. do; BERTINI, C.; BORÉM, A. (eds.). **Feijão-caupi: do plantio a colheita.** Viçosa: Ed. UFV, 2017. cap. 1, p. 9-34.

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

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.7, p. 1001- 1008, 2002.

GUIMARÃES, S. T.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, F. W. R.; MACEDO, R. S.; SOUZA, K. W. Caracterização e classificação de gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.2, p. 317- 326, 2013.

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

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.30, n.1, p. 59-68, 2006.

MACHADO, C. D. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; COSTA, D. S. S.; AMORIM, A. F. D. Herança da inflorescência composta da cultivar de feijão-caupi Cacheado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n.5, p. 1347-1350. 2007.

MALUMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, n.1, p.40-51, 1978.

NETO, J. F. de M. **Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi tipo fradinho em condições de várzea tropical no estado do Tocantins**. 2025. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2025.

NUNES, K. V. **Seleção de famílias de feijão carioca visando extração de linhagens por modelos mistos**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

OLIVEIRA, A. E. S.; SÁ, J. R.; MEDEIROS, J. F.; NOGUEIRA, N. W.; SILVA, K. J. P. Interação da adubação organo-mineral no estado nutricional das plantas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v.5, n.3, p. 53-58, 2011.

OLIVOTO, T & NARDINO, M. **MGIDI: a novel multi-trait index for genotype in plant breeding**. *Bioinformatics*, 2021. Disponível em: <<https://academic.oup.com/bioinformatics/article/37/10/1383/5998663>> Acesso em:/05/2025.

PADULOSI, S & NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN, R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N., (eds.). **Advances in Cowpean Research**. Tsukuba; IITA JIRCAS, 1997. p. 1-12.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RIBEIRO, V. Q. **Melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil**. In: Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADA TECNOLÓGICA INTERNACIONAL SOBRE EL FRIJOLCAUPÍ, 1., Monteria, Colômbia, 2013.

SILVA, F. G.; SUASSUNA, J. F.; LEÃO, J. M.; CONCEIÇÃO, D. S & VAZ, J. B. Inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* associada à adubação nitrogenada na produção do feijão-caupi em solo florestal. **Research, Society and Development**, v.11, n.9, 2021.

SILVA, M. B. O.; CARVALHO, A. J.; ROCHA, M. M.; BATISTA, P. S. C.; SANTOS JÚNIOR, P. V.; OLIVEIRA, S. M. Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n.4, p. 1059-1066, 2018.

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

SILVA, E. M., et al. EFICIÊNCIA DE RIZÓBIOS SOB DOSES DE FÓSFORO NA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, 2019.

STEELE, W. M & MEHRA, K. L. Structure, evolution and adaptation to farming system and inveronment in Vigna. In: SUMMERFIELD, D. R & BUNTING, A. H., (eds.). **Advances in legume science**. England: Royal Botanic Gardens, 1980, v.81, n.313, p. 459-468, 1980.

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

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v.18, n.3, p.375-393, 1962.

CAPÍTULO II - ÍNDICE MGIDI NA SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO- CAUPI PARA A VÁRZEA TROPICAL

RESUMO

O feijão-caupi é uma leguminosa de importância socioeconômica no cenário agrícola brasileiro, o que torna essencial estudar estratégias que contribuam para aumentar a produtividade da cultura, verificando-se na prospecção de melhores genótipos para o sistema produtivo uma alternativa. Assim, objetivou-se selecionar linhagens de feijão-caupi baseados em características agronômicas, de modo a identificar genótipos superiores em ambiente de várzea tropical, utilizando o índice MGIDI (Índice de Distância Genótipo-ideótipo Multicaracterística). O experimento foi conduzido durante a entressafra de 2023, no município de Lagoa da Confusão, sul do estado do Tocantins, em área sob domínio do ecossistema de várzea tropical. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados, com 22 tratamentos, correspondentes a 18 linhagens e 4 cultivares comerciais, com quatro blocos. Aos 77 dias após a semeadura foi realizada a colheita e procedeu-se a avaliação das seguintes características agronômicas: diâmetro de plantas, altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, comprimento de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos, número de grãos por planta e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância, à 5% de probabilidade, e, quando significativo foram submetidos ao teste de média Scott-Knott. Nesse contexto, o índice MGIDI foi empregado para identificar e selecionar genótipos de alto desempenho com múltiplas características. Além disso, realizou-se uma análise de componentes principais para estudo da importância de cada variável na variabilidade total observada. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do *software* R. O MGIDI demonstrou ser uma ferramenta eficiente para seleção multivariada, permitindo a identificação dos genótipos FCB 508 e FCB 208, que tiveram destaque para as variáveis produtivas correlacionadas com os fatores 1 e 3. Os genótipos FCM 505 e FCM 604 foram superiores para as variáveis estruturais, correlacionadas com o fator 2. Sendo assim, os materiais selecionados. Existe ampla diversidade genética, possibilitando o cruzamento entre genótipos de grupos distintos para início de um novo programa de melhoramento genético.

Palavras-chave: Índice de Seleção; Melhoramento de Plantas; *Vigna unguiculata*.

CHAPTER II - MGIDI INDEX IN THE SELECTION OF COWPEA LINES FOR THE TROPICAL LOWLANDS

ABSTRACT

Cowpea is a legume of socioeconomic importance in the Brazilian agricultural scenario, which makes it essential to study strategies that contribute to increasing crop productivity, verifying an alternative in the prospecting of better genotypes for the production system. Thus, the objective was to select cowpea lineages based on agronomic characteristics, in order to identify superior genotypes in a tropical floodplain environment, using the MGIDI index (Multitrait Genotype-Ideotype Distance Index). The experiment was conducted during the 2023 off-season, in the municipality of Lagoa da Confusão, southern Tocantins state, in an area under the tropical floodplain ecosystem. The design used was randomized blocks, with 22 treatments, corresponding to 18 lineages and 4 commercial cultivars, with four blocks. Harvesting was performed 77 days after sowing and the following agronomic characteristics were evaluated: plant diameter, plant height, height of insertion of the first pod, number of pods per plant, length of pods per plant, number of grains per pod, thousand- grain weight, number of grains per plant and grain yield. Data were subjected to analysis of variance at 5% probability and, when significant, were subjected to the Scott-Knott mean test. In this context, the MGIDI index was used to identify and select high-performance genotypes with multiple characteristics. In addition, a principal component analysis was performed to study the importance of each variable in the total variability observed. All analyses were performed using R software. MGIDI proved to be an efficient tool for multivariate selection, allowing the identification of the FCB 508 and FCB 208 genotypes, which stood out for the productive variables correlated with factors 1 and 3. The FCM 505 and FCM 604 genotypes were superior for the structural variables, correlated with factor 2. Therefore, the selected materials. There is broad genetic diversity, allowing the crossing between genotypes of distinct groups to start a new genetic improvement program.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Plant Breeding and selection index.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma cultura muito importante para o Brasil, especialmente para as regiões Norte e Nordeste, onde é cultivado por agricultores familiares, fazendo dessa cultura um dos principais componentes da base alimentar das populações de baixa renda (SOUSA & NUNES, 2022). Destaca-se pela elevada qualidade nutricional de seus grãos, sendo cultivado entre pequenos a grandes produtores, principalmente em solos de baixa fertilidade e em regiões de baixo índice pluviométrico (RIBEIRO et al., 2002). Os grãos dessa leguminosa são fontes de proteínas (até 58%), fibras alimentícias (até 36%) e minerais (até 5%), especialmente ferro e zinco, sendo uma excelente opção nutricional para a população (CARVALHO et al., 2012). De acordo com o Portal do Agronegócio, em 2025 as exportações aumentaram 179%, correspondendo a um índice de 13,6 mil toneladas, com destaque para Índica, Egito e Nepal.

O levantamento de dados feito pela CONAB (2025), na safra 2023/2024 demonstra um aumento de 0,81% no quantitativo de área cultivada com relação à safra anterior, totalizando 1.277,300 hectares de cultivo de feijão-caupi, com produtividade média de 542 kg ha⁻¹. O estado do Tocantins, nesse cenário, foi responsável pelo cultivo de feijão-caupi em uma área de 70.500 hectares, totalizando 5,52% da área cultivada no país, com produtividade média de 1.084 kg ha⁻¹ e produção de 76.400 toneladas, correspondendo a 11,03% da produção nacional.

O Tocantins, assim, tem uma produtividade acima da média nacional, concentrando seu cultivo em ambiente de várzea tropical, e empregando maiores tecnologias no cultivo da cultura, visto que parte dos grãos produzidos são destinados para exportação, o que demanda maior padrão de qualidade. O cultivo do feijão-caupi na várzea tropical é interessante, por se tratar de solo fértil, e que não necessita de grandes quantidades de calcário, além de se tornar uma alternativa de produção sustentável para as comunidades que ali habitam.

Na região do cerrado brasileiro, em especial na região de várzea tropical, o feijão-caupi é cultivado na segunda safra, ou “safrinha”, levando-se em conta o uso de cultivares de ciclo curto (entre 70 e 75 dias). Essa prática é vantajosa por aproveitar os resíduos de fertilizantes aplicados na cultura anterior com a semeadura do feijão-caupi em meados de abril com o desenvolvimento das plantas aproveitando as últimas chuvas de maio. A colheita ocorre na estação seca (meados de julho a agosto) favorecendo a melhor qualidade de grãos e uma colheita mecanizada (MENEZES JÚNIOR, 2017).

Diante do desafio das mudanças climáticas e da crescente demanda global por alimentos ricos em nutrientes, o feijão-caupi tem excelente perspectiva no mercado internacional, constituindo-se importante oportunidade de negócio para os produtores com potencial de se tornar uma importante commodity (FREIRE FILHO et al., 2011). Sendo assim, é de grande importância a recomendação de cultivares que apresentem boas características agronômicas e altas produtividades, levando em consideração o manejo ao qual são submetidas (SANTOS et al., 2013).

Dentre as alternativas utilizadas atualmente que visam o crescimento do rendimento do feijão, destaca-se o uso de melhoramento genético que visam identificar materiais promissores e que proporcionem maior número de vagens por planta, além de grãos de qualidade (CAVALCANTE et al., 2017).

O índice de seleção MGIDI possibilita trabalhar a multicolinearidade na análise fatorial, sendo essa uma grande vantagem de se trabalhar com esse índice de seleção. As variáveis aleatórias são agrupadas de acordo com suas correlações. Dentro de um fator, as variáveis aleatórias são fortemente correlacionadas entre si (multicolinearidade) e a correlação entre fatores é baixa. A ideia do MGIDI é de condensar informações contidas em diversas variáveis em conjunto de fatores com pouca perda de informações.

Objetivou-se identificar linhagens de feijão-caupi baseados em características agronômicas que possuam maior produtividade em ambiente de várzea tropical, usando-se o MGIDI.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo

O experimento foi conduzido em área sob domínio do ecossistema de várzea tropical, durante a entressafra de 2023, no município de Lagoa da Confusão (10° 47' 37" Sul e 49° 37' 25" Oeste), no sudoeste do estado do Tocantins, no período de 28 de abril de 2023 a 14 de julho de 2023. O clima da região, é do tipo B1wA'a', segundo a classificação de Koppen (1984), definido como tropical de verão chuvoso e inverno seco. A precipitação pluvial média anual é de 1.700 mm com variação de 1.255 na 2.152 mm, com temperatura média de 27,5°C e umidade relativa do ar em torno de 76% (Tabela 1). Campos et al., (2010), ressalta que a faixa de temperatura entre 20 e 30°C é considerada ótima para o bom desenvolvimento do feijão caupi,

entretanto temperaturas inferiores a 19°C promove o prolongamento do ciclo vegetativo e retardam o florescimento.

Os solos do ambiente de várzea tropical caracteriza-se por serem solos aluviais e/ou hidromórficos, de coloração acinzentada, geralmente planos e ricos em matéria orgânica, facilmente irrigáveis por gravidade, na maioria dos casos, e inundados temporariamente ou não (margens de córregos, rios, vales úmidos), porém, apresentando, muitas vezes, umidade excessiva, necessitando de drenagem adequada (EMBRAPA, 2015).

Tabela 1 - Médias de temperatura e umidade relativa do ar, registradas no período de 28 de abril a 14 de julho de 2023, relativo ao período de condução do experimento. Gurupi-TO, 2024.

Mês	Temperatura média do ar	Umidade relativa do ar
Abril	29°C	87%
Maio	28°C	86%
Junho	27°C	80%
Julho	26°C	78%

Fonte: INMET (2023).

2.2 Material genético, delineamento experimental e preparo das unidades experimentais

Utilizou-se 22 genótipos de feijão-caupi, entre eles 18 linhagens e 4 cultivares comerciais como demonstrado na Tabela 2. Dentre as linhagens temos, materiais com grãos de coloração branca (FCB), coloração marrom (FCM).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, onde se estudou 22 genótipos de feijão caupi, correspondentes a 18 linhagens oriundas do Programa de Melhoramento Genético do Grupo de Pesquisa Manejo e Melhoramento Genético de Culturas Anuais, da Universidade Federal do Tocantins (UFT), e 4 cultivares comerciais adquiridas de lavouras comerciais da região, que foram repetidos em quatro blocos. Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 5,0 m de comprimento, tendo um total de 88 parcelas experimentais. A semeadura foi realizada de forma manual no dia 28/04/2023, com 14 sementes por metro linear. O espaçamento utilizado foi de 0,14 metros entre plantas e 0,50 metros entre linhas, com 280 sementes por parcelas e população estimada em 280.000 plantas por hectare. Aos 19 dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste, buscando-se manter 10 plantas de feijão- caupi por metro linear de cultivo.

Tabela 2 - Identificação dos genótipos de feijão-caupi experimentais e comerciais utilizados para realização da pesquisa na área do experimento – Várzea Tropical, Lagoa da Confusão – TO, 2024.

Nº	Genótipo	Classe genética	Fase	Cor	Origem
1	FCB 208	LI	Ex	Branco	UFT
2	FCB 406	LI	Ex	Branco	UFT
3	FCB 505	LI	Ex	Branco	UFT
4	FCB 508	LI	Ex	Branco	UFT
5	FCB 509	LI	Ex	Branco	UFT
6	FCM 601	LI	Ex	Manteiga	UFT
7	FCB 602	LI	Ex	Branco	UFT
8	FCM 603	LI	Ex	Manteiga	UFT
9	FCM 604	LI	Ex	Manteiga	UFT
10	FCM 608	LI	Ex	Manteiga	UFT
11	FCM 609	LI	Ex	Manteiga	UFT
12	FCM 906	LI	Ex	Manteiga	UFT
13	FCB 1103	LI	Ex	Branco	UFT
14	FCB 1402	LI	Ex	Branco	UFT
15	FCB 2007	LI	Ex	Branco	UFT
16	FCB 2006	LI	Ex	Branco	UFT
17	FCB 2009	LI	Ex	Branco	UFT
18	FCB 2309	LI	Ex	Branco	UFT
19	BRS Guariba	CU	Cm	Marrom	Embrapa
20	BRS Pingo-de-ouro	CU	Cm	Marrom	Embrapa
21	BRS Sempre verde	CU	Cm	Branco	Embrapa
22	BRS Nova era	CU	Cm	Branco	Embrapa

LI = Linhagem; CU = Cultivar; Cm = Comercial; Ex = Experimental; UFT = Universidade Federal do Tocantins. LI = Linhagem; CU = Cultivar; Cm = Comercial; Ex = Experimental; UFT = Universidade Federal do Tocantins.

Fonte: Cavalcante (2024).

Os atributos químicos do solo, determinados a partir das amostras coletadas em campo e, posteriormente, analisadas no Laboratório de Análises Agrícolas do Tocantins LTDA, são apresentados na Tabela 3.

A adubação da área de cultivo foi realizada de acordo com o resultado da análise química do solo (Tabela 3) e no requerimento nutricional da cultura do feijão-caupi. Na adubação de base, foram aplicados de forma manual 350 kg ha⁻¹ do formulado 05-25-15 (N-P₂O₅-K₂O). Aos 30 dias após a semeadura, realizou-se a adubação de cobertura, com a aplicação manual de N na dose de 20 kg ha⁻¹ usando-se uréia.

Tabela 3 - Atributos químicos da amostra de solo nas profundidades de 0-20 cm na área experimental, Lagoa da Confusão – TO, 2023.

Ensaio	Resultado	Unidade
pH em Água	5,2	-
Cálcio + Magnésio	3,7	cmolc/dm ³
Cálcio	2,6	cmolc/dm ³
Magnésio	1,1	cmolc/dm ³
Alumínio	0,00	cmolc/dm ³
Hidrogênio	2,00	cmolc/dm ³
Hidrogênio + Alumínio	2,00	cmolc/dm ³
Ferro	41	mg/dm ³
Potássio	103	mg/dm ³
Fósforo	4,7	mg/dm ³
SB – Soma de Bases Trocáveis	3,96	cmolc/dm ³
CTC	5,96	cmolc/dm ³
V – Índice de Saturação de Bases	66	%
Tipo de solo	Gleissolo	-

pH = potencial Hidrogeniônico; CTC = capacidade de troca catiônica; cmolc/dm³ = centimol de carga por decímetro cúbico; mg/dm³ = miligramas por decímetro cúbico.

Fonte: Cavalcante (2024).

A demanda hídrica das plantas durante a realização do ensaio foi suprida por meio de irrigação subterrânea, utilizando o sistema por elevação do lençol freático, com bombeamento de água dos afluentes dos rios, e drenagem controlada. Para supressão de plantas daninhas foram realizadas, periodicamente, capinas manuais, procurando-se manter a cultura em campo limpo, evitando-se a mato competição por nutrientes e outros recursos naturais.

O manejo fitossanitário de pragas e doenças na área experimental foi realizado com auxílio de uma bomba costal de 20 l de capacidade, em horário com temperaturas amenas, com às aplicações por volta das 17h30, conforme a necessidade de controle dos insetos-pragas e a prevenção de agentes fitopatogênicos, considerando as doses de defensivos recomendadas para a cultura do feijão-caupi. Foram aplicados inseticidas à base de Cipermetrina (0,25 L ha⁻¹) e Acetamiprido (300 g ha⁻¹). Visando obter ambiente livre de doenças fitopatogênicas, ainda, foram realizadas, aos 30 dias após a semeadura e quando houve o fechamento das linhas de semeadura, duas aplicações preventivas com fungicida à base de Trifloxistrobina + Tebuconazol, na dose de 0,75 L ha⁻¹, com 15 dias de intervalo entre as duas aplicações. Comentar sobre mecanismo de aplicação e vazão.

2.3 Características avaliadas

A partir dos 77 dias após a semeadura, foi realizada a colheita e avaliadas as seguintes características agronômicas:

- Altura de plantas – AP;
- Diâmetro de caule plantas – DP;
- Altura de inserção da primeira vagem-IV;
- Número de vagem por planta – -NV;
- Comprimento de vagem – CV;
- Número de grãos por vagem -NGV;
- Número de grãos por planta – NGP;
- Massa de mil grãos – MM;
- Produtividade de grãos – PG.

2.4 Descrição das variáveis analisadas

Altura de plantas – AP (cm): Relativa a distância entre a superfície do solo e a inserção da última folha trifoliolada presente na haste principal do feijoeiro procedendo-se a determinação em dez plantas representativas, com dados médios em cm;

Diâmetro de caule plantas – DP (mm): Medido em dez plantas úteis, procedeu-se a determinação do diâmetro do caule das plantas a 2 cm de altura da haste principal das plantas, usando-se um paquímetro digital, com dados em mm;

Altura de inserção da primeira vagem –IV (cm): Determinada medindo-se a distância entre a superfície do solo e a primeira vagem, usando-se um diastímetro, obtendo o valor médio a partir de 10 plantas úteis;

Número de vagem por planta – NV: Obtido por meio da relação entre a quantidade total de vagens da parcela útil e o número de plantas avaliadas por parcela;

Comprimento de vagem – CV (cm): Determinado a partir da média entre os comprimentos de dez vagens, coletadas ao acaso dos feijoeiros cultivados em cada parcela útil;

Número de grãos por vagem – NGV: Definida mediante a contagem dos grãos provenientes das vagens utilizadas na determinação do número de vagens por planta;

Número de grãos por planta – NGP: Obtido pela contagem dos grãos das vagens das plantas.

Massa de mil grãos – MM (g): O componente de produção peso de 1000 grãos foi determinada com base na população final de feijoeiros existente na área útil de cada parcela. Para tanto, foram separadas 10 amostras de 100 grãos por parcela, cujas massas foram

determinadas com o auxílio de uma balança de precisão;

Produtividade de grãos – PG: foi determinada inicialmente, a umidade dos grãos produzidos através do Método da Estufa (105°C por 24h), onde as amostras são pesadas e colocadas em uma cápsula e levadas à estufa, à temperatura de 105±3°C durante 24 horas. Em seguida, realizou-se a correção da umidade dos grãos para 13%. Após a definição da produtividade de cada parcela, procedeu-se a conversão da unidade de medida para kg ha⁻¹. Os procedimentos efetuados nas determinações de MM e PG seguiram os critérios estabelecidos nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

2.5 Análise estatística

Para verificar os pressupostos da análise de variância (ANOVA), os dados foram analisados quanto à: a) normalidade com o teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), b) homoscedasticidade pelo teste de Bartlett ($p > 0,05$), uma vez atendidos esses pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com posterior aplicação do teste de Scott-Knott para as variáveis que foram significativas no teste F ($P \leq 0.05$), para ter uma análise geral dos resultados, procedeu-se a determinação do Índice de Distância Genótipo-ideótipo Multicaracterística (MGIDI), para identificar e selecionar genótipos de alto desempenho que exibem várias características.

Realizou-se, também, análise de componentes principais elaborando assim um estudo mais detalhado das características agrônômicas estudadas (VARELLA, 2008). A análise de componentes principais retira a multicolinearidade das variáveis, pois transforma o conjunto de dados em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (componentes principais), além de reduzir as variáveis a eixos perpendiculares (ortogonais) que representam algumas variáveis, que explica a variação dos dados de forma independente e decrescente (HONGYU et. al, 2016).

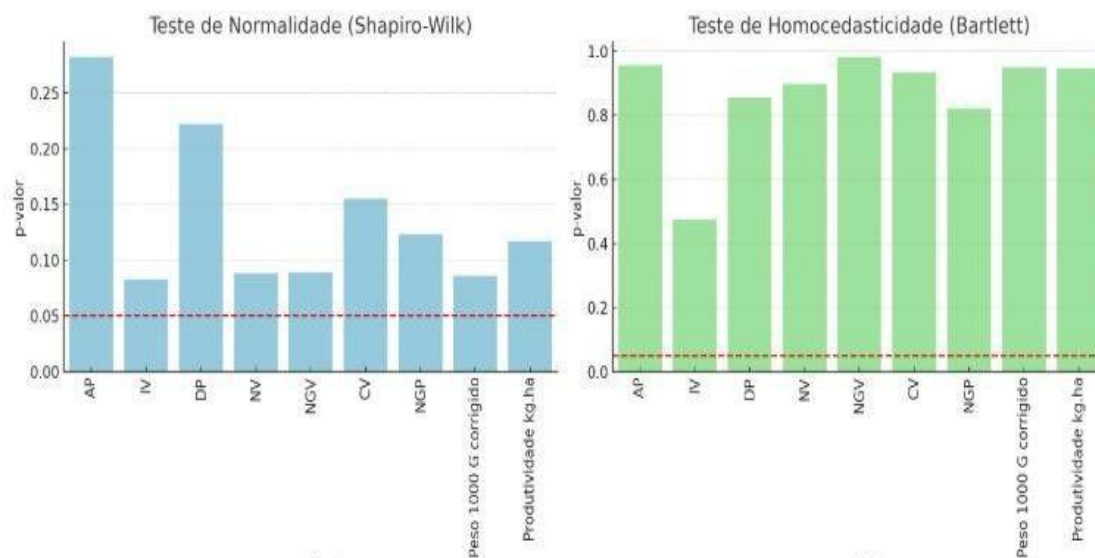
Realizou-se, a análise do índice MGIDI (Multi-feature genotype-ideotype distance index) que segue a proposta de Olivoto e Nardino (2021), a qual é dividida nas seguintes etapas: (I) redimensiona as variáveis num intervalo de 0 a 100, (II) contabiliza

a estrutura de correlação e a redução da dimensionalidade dos dados por análise fatorial, (III) elabora um genótipo ideal (ideótipo) com base nos valores desejados das características e (IV) dimensiona a distância entre os genótipos estudados e o ideótipo elaborado. Com isso, foi inserido a gerar o ideótipo com maior produtividade de grãos, massa de mil grãos, número de vagem, número de grãos por vagem, comprimento de vagem e número de grãos por planta, devido a correlação das variáveis com dupla aptidão do feijão-caupi, bem como menor altura de planta, maior altura de inserção da primeira vagem, e maior diâmetro de caule da planta, variáveis assim, desejáveis para o cultivo na várzea tropical, com intensidade de seleção de 20%. Para o referido estudo, as análises realizadas foram feitas através do pacote Metan (Olivoto e Lúcio, 2020) pelo software estatístico R pela plataforma Rstudio (R Core Team, 2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para atender os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias, antes de proceder com a análise de variância (ANOVA), foram aplicados os testes de normalidade e homogeneidade, afim de que se saiba se os dados apresentaram distribuição normal. A normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homocedasticidade foi testada por Bartlett. Os p-valores de todas as variáveis analisadas foram superiores a 0,05 (Figura. 1), indicando que os dados atendem aos pressupostos da ANOVA.

Figura 1 - Teste de normalidade e homogeneidade das variáveis em estudo. Gurupi-TO, 2024



Fonte: Cavalcante, (2024).

A validação dos pressupostos estatísticos é fundamental para garantir a robustez da ANOVA. Neste estudo, os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett não indicaram violações significativas ($p > 0,05$). Segundo Acutis et al. (2012), grande parte dos estudos agrônômicos não verifica os pressupostos da ANOVA, o que pode comprometer a validade dos resultados, levando a interpretações errôneas.

Segundo Torres et al. (2015), para alcançar a precisão desejada, é importante dimensionar adequadamente o tamanho e a forma de parcela, o tamanho de amostra e o número de repetições com base no caráter de interesse. Estes mesmos autores encontraram resultados semelhantes aos deste trabalho corroborando a adequação dos dados ao modelo estatístico proposto e destacaram a importância da verificação desses pressupostos em experimentos agrônômicos com múltiplos tratamentos.

Na Tabela 4 é possível observar o resumo da análise de variância das fontes de variação para as características analisadas. Verifica-se que houve diferenças significativas a nível de 0,1% para todas as características avaliadas na fonte de variação genótipo. Estes resultados indicam que pelo menos um genótipo distinguiu-se dos demais, evidenciando a existência de variabilidade entre os materiais. No melhoramento genético de plantas, uma das decisões mais importantes é definir as características da cultivar a serem obtidas e suas finalidades (BRADSHAW, 2017).

Tabela 4 - Quadrado médio (QM) das variáveis analisadas: altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (IV), diâmetro de caule (DC), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagens (NG), comprimento de vagem (CV), número de grãos por planta (NGP) peso de mil grãos (PM), produtividade de grãos (PG), de 22 tratamentos de feijão-caupi cultivados em solo de Várzea Tropical. 2024, Gurupi-TO.

FV	GL	QM								
		AP	IV	DP	NV	NGV	CV	NGP	MMG	PG
Gen.	21	151,750***	111,188***	4,132***	6,828***	6,113***	13,646***	1097,30***	2078,58***	470673***
Rep.	3	505,390***	190,255***	7,302***	1,552**	6,092**	5,838**	931,72**	17,58 ^{ns}	25076 ^{ns}
Resíduo	26	37,840	28,513	0,770	0,326	1439	1,299	130,78	57,86	56027
CV (%)		9,71	9,58	9,04	8,87	9,44	6,06	14,01	3,94	16,01
Média geral		63	55,10	9,64	6,11	12,72	18,61	78,57	192,98	1428,26

***, ** = significativo a 0,1% e 1%, respectivamente; ^{ns} = não significativo. Gen=genótipo; Rep=repetição; FV= fonte de variação; CV= Coeficiente de variação; GL= grau de liberdade.

Fonte: Cavalcante (2024).

Analisando a precisão experimental, nota-se que os valores do coeficiente de variação (CV%), para as características avaliadas apresentaram valores 3,94 a 16,01%, constatando-se alta precisão para o peso de mil grãos, comprimento de vagem, número de vagem por planta,

diâmetro de planta, número de grãos por vagem, inserção da primeira vagem e altura de planta, e precisão média para número de grãos por planta e produtividade de grãos.

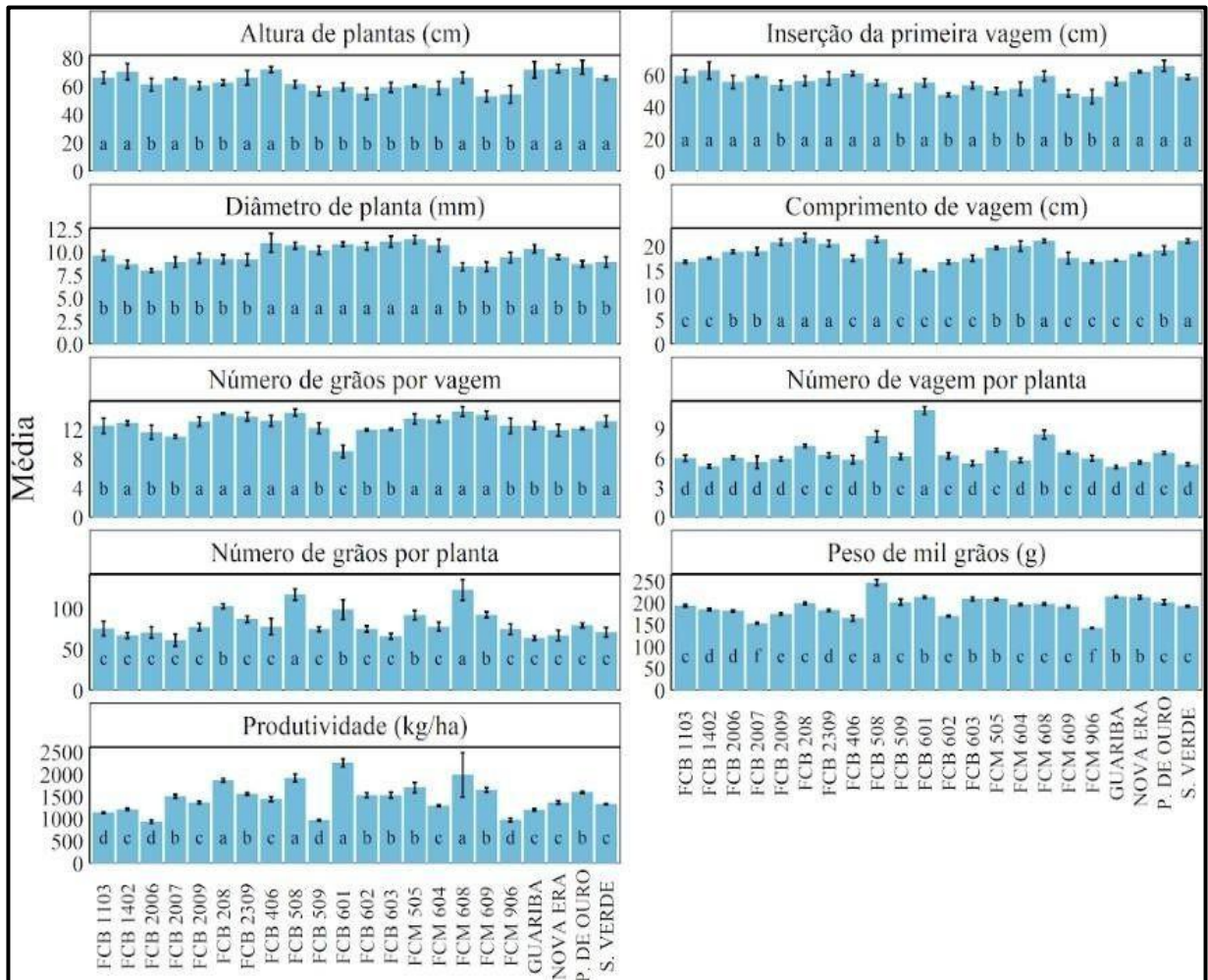
Matos Filho et al. (2009), indicam que o coeficiente de variação adequado para a experimentação agrícola na cultura do feijão-caupi deve ser de até 20%. Os resultados demonstram homogeneidade entre os genótipos e conferem confiabilidade dos resultados. Portanto, os valores obtidos encontram-se dentro do aceitável pelos padrões técnico-científico.

Quanto aos componentes agronômicos, observa-se, na Figura 2, diferença significativa entre as médias dos genótipos para todas as características avaliadas, o que confirma a existência de variabilidade genética e potencial de seleção. A significativa variabilidade observada entre os genótipos para todas as características agronômicas corrobora com a literatura sobre o alto potencial do feijão-caupi para programas de melhoramento genético (FREIRE FILHO et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

Quanto à altura de plantas, houve diferença significativa entre os genótipos os quais formaram dois grupos distintos representados pelas letras “a” e “b”, sendo o que apresentou as maiores médias é composto pelos genótipos Pingo-de-ouro, Nova era, FCB 406, Guariba, FCB 1402, FCB 608, FCB 2309, FCB 1103, Sempre verde e FCB 2007, ambos representados pela letra “a”. Esta diferença na altura de plantas pode estar relacionada à genética de cada genótipo avaliado.

Para altura de inserção da primeira vagem (Figura2), de forma semelhante à altura de plantas, houve a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maior média composto pelos genótipos Pingo-de-ouro, FCB 1402, Nova era, FCB 406, FCB 1103, FCB 608, FCB 2007, Sempre verde, FCB 2309, FCB 208, Guariba, FCB 2006, FCB 508 e FCB 601.

Figura 2 - Teste de média para as características altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (IV), diâmetro de caule (DC), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagens (NG), número de grãos por planta (NGP), comprimento de vagem (CV), peso de mil grãos (PM), produtividade de grãos (PG), de 22 tratamentos de feijão-caupi cultivados em solo de Várzea Tropical. 2024, Gurupi-TO.



Fonte: Cavalcante (2024).

Altura de planta e altura de inserção da primeira vagem apresentaram médias acima de 50 cm, condição desejável para minimizar perdas na colheita mecanizada (FREIRE FILHO et al., 2017). A elevação da inserção da primeira vagem também contribui para evitar o contato direto com o solo, reduzindo riscos de podridões e contaminações (SOUTO et al., 2009).

A análise da altura é importante na avaliação da qualidade de plantas, uma vez que fornece um bom indicador de desenvolvimento da cultura. E no caso específico do feijão-caupi, a arquitetura da planta pode facilitar a colheita manual, visto que essa cultura é cultivada, em grande parte, por agricultores familiares (FREIRE FILHO, 2011).

Para o diâmetro do caule (Figura 1), também é notada a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maior média constituído pelos genótipos FCM 505, FCB 603, FCB 406, FCB 601, FCM 604, FCB 508, FCB 602, Guariba e FCB 509. O diâmetro do caule, com média de 9,57 mm, está dentro do intervalo considerado robusto para resistência ao acamamento, especialmente em ambientes férteis como várzeas, onde o acúmulo de biomassa tende a ser maior. Conforme Fancelli & Dourado Netto (2000), caules mais espessos estão relacionados a maior suporte mecânico e melhor translocação de assimilados, contribuindo indiretamente para o rendimento de grãos.

Quanto ao comprimento de vagem (Figura 2), observa-se a formação de quatro grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelos genótipos FCB 208, FCB 508, Sempre verde, FCM 608, FCB 2009 e FCB 2309. Dos cultivares comerciais, apenas o ‘Sempre Verde’ compôs o grupo de maiores médias, demonstrando o potencial genético das linhagens desenvolvidas e avaliadas, que são superiores ao padrão comercial descrito em Silva e Oliveira (1993), além de serem semelhantes aos resultados obtidos por Andrade (2010), que obteve médias para o comprimento de vagens superiores a 19,00 cm. As linhagens que apresentaram médias maiores podem ser promissoras para o cultivo na região ou para iniciar um novo programa de melhoramento genético visando selecionar esta característica.

Quanto ao número de grãos por vagem (Figura 2), houve a formação de dois grupos estatístico, sendo o de maiores médias constituído pelos genótipos FCM 608, FCB 508, FCB 208, FCM 609, FCB 2309, FCM 505, FCM 604, FCB 406, Sempre verde, FCB 2009 e FCB 1402.

Para número de vagens por planta (Figura 2), houve a formação de quatro grupos estatístico, sendo a linhagem FCB 601 superior aos demais genótipos avaliados, seguido das linhagens FCB 508 e FCM 608. Novamente constata-se que as cultivares comerciais encontram-se nos grupos de médias inferiores, evidenciando mais uma vez o potencial produtivo das linhagens desenvolvidas, uma vez que essa característica é uma das mais importantes para o rendimento (STOILOVA & PEREIRA, 2013).

O número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, dois dos principais componentes de rendimento, apresentaram bom desempenho médio, reforçando o potencial produtivo das linhagens testadas. Esses resultados confirmam as observações de Valeriano et al. (2019), que relatam que essas características têm alta herdabilidade e são fortemente influenciadas pela constituição genética dos genótipos.

As linhagens FCM 608 e FCB 508 apresentaram maiores médias para o número de

grãos por planta, formando um grupo distinto dentre os três grupos formados para essa variável (Figura 1). É importante salientar que as cultivares comerciais compuseram o grupo de menores médias, evidenciando uma vez o potencial das linhagens desenvolvidas e avaliadas na várzea tropical. Resultados similares foram encontrados por Silva (2017), que avaliando o desempenho produtivo de cultivares de feijão-caupi, obtiveram média de 120 grãos por planta, contribuindo para o rendimento dos grãos por unidade de planta.

Quanto ao peso de mil grãos (Figura 2), houve a formação de seis grupos estatístico, sendo o de maior média constituído apenas pela linhagem FCB 508. O segundo grupo de maior peso foi constituído por cinco genótipos, sendo dois comerciais (Guariba e Nova era) e três linhagens (FCM 505, FCB 603 e FCB 601). A massa de mil grãos (MM), com média de 194,46 g, sugere bom enchimento de grãos e adequada eficiência fisiológica durante o período reprodutivo. A importância dessa característica já foi destacada por CAVALCANTE et al. (2017), especialmente em programas que visam grãos mais pesados e comercialmente atrativos. Valeriano et al. (2019), afirmam que o peso de mil grãos é influenciado pelo balanço fonte/dreno ocorrido, principalmente pelo aumento do número de vagens, da taxa fotossintética e da translocação de fotoassimilados.

Para a produtividade, houve a formação de quatro grupo estatístico (Figura 2), sendo o de maiores médias composto pelas linhagens FCB 601, FCM 608, FCB 508 e FCB 208. Das quatro cultivares comerciais, apenas Pingo-de-ouro compôs o segundo grupo de maior média, evidenciando mais uma vez o potencial genético das linhagens citadas acima. As médias de produção destes genótipos demonstram boa adaptação produtiva ao ambiente de cultivo (várzea tropical). A linhagem FCB 601 apresentou destaque também para a variável número de vagens por planta, diâmetro e inserção da primeira vagem. A linhagem FCM 608 se destacou nas variáveis comprimento de vagem, número de grãos por vagem e altura de plantas. Já a linhagem FCB 508 teve destaque também, para as variáveis peso de mil grãos, número de grãos por planta, número de grãos por vagem, comprimento de vagem e inserção da primeira vagem. A linhagem FCB 208 destacou-se nas variáveis número de grãos por planta, número de grãos por vagem, comprimento de vagem e inserção da primeira vagem.

A produtividade média (1.478,80 kg ha⁻¹) dos genótipos avaliados encontra-se acima da média nacional que, segundo CONAB (2025), para a safra 2023/2024 foi de 542 kg ha⁻¹. É superior também a média de produtividade do estado do Tocantins, (1.084 kg ha⁻¹). De acordo com Deus (2021), a produtividade média de feijão-caupi na várzea tocantinense foi de 1.037,04 kg ha⁻¹ em área de 27.000 hectares.

A observância de resultados com diferença significativa entre os componentes

Avaliados indicam a existência de variabilidade genética entre os genótipos, possibilitando, assim, a seleção de materiais promissores e aumentando as chances de sucesso na seleção de cultivares com características desejáveis para a Várzea Tropical do estado do Tocantins.

Na análise de componentes principais, seguindo Kaisar (1958), quando os autovalores estão acima de 1 (Tabela 5), significa que estão apresentando maior variabilidade do que quando considerada a variável original, por isso são importantes para a análise. O que indica que os dados serão compliados em três fatores, sendo F1 (fator de produção), referente a número de vagem, número de grão por planta e produção de grãos, F2 (fator relacionado a arquitetura da planta), referente a altura de planta e altura de inserção da primeira vagem, F3 (fator relacionado a componentes de produção), referente a número de grão por vagem, e comprimento de vagem e F4 (fator relacionado a componente estrutural e componente de produção), referente a diâmetro de planta e massa de mil grãos.

Neste estudo, foi considerada a frequência cumulativa dos quatro primeiros componentes principais que estão acima de 1 e explicam 88,9% da variabilidade das características agrônômicas avaliadas, sendo 33,6% representada pelo FA1, 25,2% pelo FA2, 18,8% pelo FA3 e 11,4% pelo F4 como feito semelhantemente por Andrade et al. (2024). Em um programa de melhoramento genético de plantas, é importante definir o objetivo da proposta de trabalho no desenvolvimento de cultivares.

Tabela 5 - Cargas fatoriais e comunalidade obtida após rotação Varimax. 2024, Gurupi-TO.

Variável	FA1 Produção	FA2 Arquitetura	FA3 Componentes de produção	FA4 Estrutural e de produção	Comunalidade
AP	-0,13	-0,96	-0,40	0,05	0,95
IV	0,05	-0,98	-0,02	-0,14	0,98
DP	-0,02	-0,26	-0,22	-0,86	0,86
NV	-0,96	-0,11	-0,17	-0,08	0,97
NGV	0,03	-0,08	0,94	-0,02	0,90
CV	-0,16	0,16	0,87	0,10	0,82
NGP	-0,85	-0,13	0,44	-0,06	0,95
MMG	-0,41	0,24	0,20	-0,69	0,75
PG	-0,90	0,09	0,06	-0,18	0,85
Autovalores	3,02	2,27	1,69	1,03	
Variância	33,6	25,2	18,8	11,4	
Variância acumulada	33,6	58,7	77,5	88,9	

Fonte: Cavalcante (2024).

As nove características estudadas foram agrupadas em quatro fatores (FA). O fator 1 (FA1) possibilita a seleção de genótipos mais produtivos, uma vez que as características

mais correlacionadas com esse fator foram número de vagem, número de grãos por planta e produtividade de grãos. Ambas tiveram altas correlações negativas, indicando que estão fortemente associados a esse fator. O fator 2 (FA2) possui correlações negativas fortes, e está associado às características estruturais das plantas, destacando altura de inserção da primeira vagem e altura de planta, o que permite a seleção de genótipos com base na arquitetura e fenologia. Estas características possuem forte correlação com esse fator. O fator 3 (FA3) reúne as características relacionadas à vagem, como número de grãos por vagem e comprimento de vagem, sendo atributos importantes para o alcance de altas produtividades, pois estão diretamente associados ao rendimento de grãos, possibilitando então, a seleção de materiais com base nas características da vagem. Essas características têm correlações positivas de forte magnitude. Por fim, o fator 4 (FA4) está correlacionado com às características diâmetro de planta e peso de mil grãos, ambas com correlações negativas de alta magnitude. Essas duas características estão associadas tanto à estrutura quanto ao potencial produtivo dos genótipos. Guimarães et al. (2019) explicam que para selecionar materiais superiores é necessário respostas as adaptações das condições do ambiente de cultivo.

As correlações entre fatores de seleção e características é importante em programas de seleção de genótipos, pois afeta a eficiência e o sentido da seleção. Correlações positivas indicam que as características variam no mesmo sentido, enquanto que as correlações negativas indicam um sentido oposto, podendo serem selecionadas em conjunto ou compensada.

Oijen & Hoglind (2015), ressaltam, que um programa de melhoramento baseado em ideótipo concentra-se em várias características simultaneamente. Esse método difere de outras abordagens multivariadas no melhoramento de plantas, como o índice Smith- Hazel, que tende a se concentrar em poucas características. O foco direto em poucas variáveis simplifica estatisticamente o problema, sendo que informações importantes podem ser negligenciadas nas análises de dados.

Em situações em que um programa de melhoramento tem como objetivo aprimorar o desempenho de várias características, ferramentas semelhantes ao GYT- biplot tornam-se essenciais. Essas ferramentas permitem a identificação de genótipos que apresentam desempenho superior em várias características ao mesmo tempo. A sinergia entre as análises do GYT-biplot e os índices de seleção de várias características, juntamente com a incorporação dos valores BLUP, oferece uma vantagem significativa, conforme observado por Woyann et al. (2020).

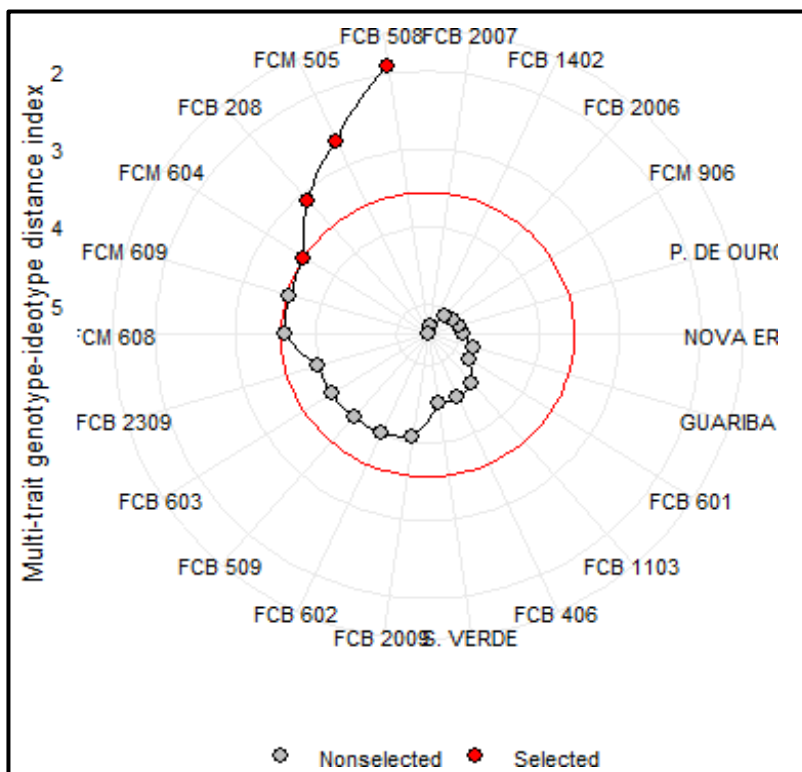
Yan & Frégeau-Reid (2018), afirmam que, na análise fatorial, as variáveis tendem a se correlacionar positivamente, pois são componentes de produtividade, mesmo que essas variáveis em si sejam negativamente correlacionadas. Essa abordagem nos permite classificar os genótipos com base em seus níveis de combinações de rendimento e característica.

Ambrosio et al. (2024), trabalhando com índice de seleção de genótipos de feijão comum, tiveram variações de variância acumulada de 46 a 89% para número de vagem por planta e dias de floração, respectivamente.

De Paula (2024), trabalhando com índice MGIDI para selecionar genótipos de soja, encontrou na análise fatorial valores de comunidade superiores a 0,5 em quatro grupos de genótipos avaliados. Todos os grupos do referido estudo estão dentro do valor mínimo e adequado, conforme apontado por Matos & Rodrigues (2019).

Na Figura 3 é possível notar a apresentação visual e concisa das classificações dos genótipos de feijão-caupi, de acordo com seus valores do índice MGIDI, destacando-se os genótipos selecionados com base nos critérios de seleção adotados. Considerando uma intensidade de seleção de 20%, dentre todos os genótipos avaliados neste estudo, os genótipos FCB 508, FCB 505, FCB 208 e FCM 604 foram selecionados, sendo destacados em vermelho, o que denota seu desempenho superior em múltiplas características agrônômicas.

Figura 3 - Genótipos selecionados e não selecionados pelo índice MGIDI. Gurupi-TO, 2024



Fonte: Cavalcante (2024).

Adicionalmente, os genótipos FCM 609 e FCM 608 apresentaram desempenho próximo ao dos genótipos selecionados, demonstrando potencial para serem considerados em estudos futuros ou em programas de melhoramento. Esses genótipos apresentam características agronômicas favoráveis, alinhadas com os objetivos do estudo.

É importante salientar que, embora haja uma forte associação entre as propriedades dos genótipos e os valores das características, a expressão fenotípica dessas características pode ser influenciada e, por vezes, restringida por fatores ambientais, conforme apontado por Al-Ashkar et al. (2023).

Ao utilizar o índice MGIDI na seleção de genótipos de Guar, Benakanahalli et al. (2021), ressaltam que essa ferramenta oferece uma nova abordagem baseada em técnicas multivariadas, otimizando o uso de recursos e tempo, e, conseqüentemente, contribuindo para a sustentabilidade dos programas de melhoramento.

Blum (2018) alerta que as características de rendimento não devem ser consideradas isoladamente no processo de seleção, uma vez que são altamente influenciadas por fatores ambientais, o que pode levar a interpretações equivocadas acerca da variabilidade genética.

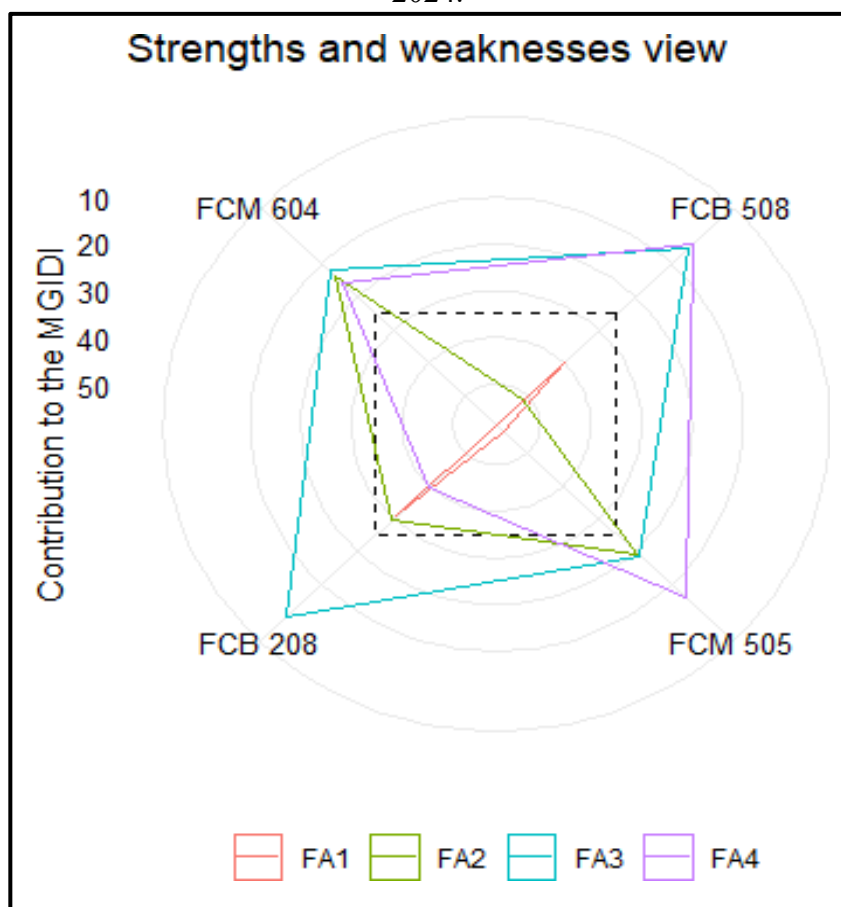
Ambrosio et al. (2024), trabalharam com índice MGIDI, visando selecionar genótipos de feijão preto. Os autores conseguiram selecionar oito genótipos que foram selecionados e se encontraram próximo ao ponto de corte (círculo vermelho) para os índices MTSI e MGIDI, respectivamente. Os autores ressaltam que a massa seca total é importante quando a aveia é cultivada para cobertura do solo, para o qual o índice proporcionou ganhos significativos.

Almeida et al. (2021), afirmam que os resultados não tão significativos para características em geral podem ser explicados pela seleção simultânea de várias características, influenciando no desempenho agrônômico de cada característica individualmente. Ainda, de acordo com o estudo de Klein et al. (2023), o índice MGIDI indicou bons resultados na correlação de fatores com características de interesse agrônômico, para seleção de materiais, obtendo cargas positivas próximas do desejado e aproximadamente -13,59% e -21,88% para características com ganhos negativos desejados.

Na Figura 4 se tem a ilustração dos pontos fortes e dos fracos dos genótipos selecionados, com base na proporção dos fatores gerados no índice MGIDI, de tal modo, que, os fatores que mais contribuíram para a pontuação do índice MGIDI de um genótipo, foram aqueles, em que os valores apresentados são de menor proporção, indicando que as características dentro do fator analisado, estão mais próximas do ideótipo, conforme afirma

Klein et al., (2023).

Figura 4. Pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados pelo índice MGIDI. Gurupi-TO, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

Portanto, quanto melhor o desempenho do genótipo em determinado fator específico, menor será sua contribuição para a distância total em relação ao ideótipo. De acordo com Olivoto & Nardino (2021), a seleção de genótipos é realizada com base no desempenho médio e na estabilidade produtiva. Os fatores foram agrupados em quatro tipos, o fator de produção (FA1) com as características número de vagem, número de grãos por planta e produtividade de grãos, o fator estrutural (FA2) com as características altura de planta e altura de inserção da primeira vagem, o fator de componentes de produção (FA3) com as características número de grãos por vagem e comprimento de vagem, e fator estrutural e de produção, com as características diâmetro de plantas e massa de mil grãos (Tabela 3).

Os genótipos FCB 208 e FCB 508 selecionados pelo MGIDI, possuem pontos fortes em relação ao FA1, o que indica bom desempenho deles para a produtividade (NV, NGP e PG),

onde essas variáveis fazem parte da produtividade. Os genótipos FCM 604 e FCM 505 demonstraram força para o FA2, que está relacionado à altura da planta (AP) e altura de inserção da primeira vagem (IV), sendo esses genótipos com maior desempenho para características estruturais.

Os genótipos FCM 604 e FCM 505 selecionados pelo MGIDI, possuem pontos fortes em relação ao FA2, o que indica bom desempenho deles para as características relacionadas a estruturas e fenologia da planta (AP e IV), onde para essas variáveis fazem parte da análise estrutural.

Os genótipos FCB 208 E FCB 508 pode ser caracterizado como a estratégia de melhoramento quando se desejada maior número de grãos por vagem, pois apresentaram-se como maior ponto forte no fator 3 quando comparados aos demais materiais selecionados.

Ao analisarmos o FA4, observa-se que esse fator teve a maior contribuição para os genótipos FCB 508 e FCM 505. Isso indica que esses materiais possuem as características desejadas, maior diâmetro de caule da planta e maior massa de mil grãos entre os selecionados. Entretanto, os genótipos FCB 508 e FCM 505 podem ser caracterizados como uma estratégia de melhoramento quando se deseja plantas mais firmes e tolerantes ao acamamento, e plantas com maior massa de mil grãos, pois apresentaram maior ponto forte.

Os resultados demonstram que os genótipos FCB 508 e FCB 208 apresentam alto potencial produtivo refletido principalmente pelo bom desempenho no fator FA1, associado ao número de vagens por planta (NV), número de grãos por planta (NGP) e produtividade de grãos (PG). Além disso, ambos os genótipos também se destacaram no FA3, composto pelas variáveis número de grãos por vagem (NGV) e comprimento de vagem (CV). Apesar desse desempenho satisfatório, esses genótipos ainda apresentam potencial para serem melhorados em características relacionadas ao número de vagens por planta e ao peso de mil grãos (PMG), o que poderia aumentar ainda mais sua aproximação ao ideótipo desejado e, conseqüentemente, melhorar sua pontuação no índice MGIDI. O genótipo FCB 601 teve bom desempenho produtivo no teste de média de Skott-Knott, porém não foi selecionado pelo índice MGIDI. O índice de seleção de MGIDI combina e seleciona com base em todos os fatores avaliados. Há variáveis de maior importância para determinado fator, porém não basta ter bom desempenho produtivo, e não está correlacionado com os fatores ligados às características de produção.

O MGIDI é uma técnica de seleção multivariada que não requer o uso de coeficientes de ponderação econômica (BIZARI et al., 2017), e é livre de problemas de multicolinearidade (Smith, 1936). Esse índice utiliza a distância entre os genótipos avaliados e um genótipo ideótipo, definido na exigência do melhorista (OLIVOTO & NARDINO, 2021). Assim, o

método surgiu como uma ferramenta poderosa para identificar genótipos com desempenho superior, possibilitando ganhos para múltiplas características de interesse agrônomo. Além disso, permite estimar de forma visual os pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados, favorecendo decisões mais estratégicas nos programas de melhoramento.

Em estudo anterior, o índice MGIDI também foi considerado mais eficiente na seleção de genótipos de soja com base em características agrônomicas, conforme relatado por Maranna et al. (2021). Da mesma forma, estudo de Olivoto & Nardino (2020) demonstraram que o índice MGIDI é eficiente na seleção de genótipos superiores em populações heterogêneas em diferentes culturas, tornando-o uma ferramenta promissora para a melhoria da produção agrícola e a adaptação a condições ambientais adversas.

Azrai et al. (2023) avaliaram a integração dos modelos AMMI e MGIDI, destacando seu valor na identificação das características mais eficazes para cada genótipo. Essa abordagem permite que os melhoristas selecionem características desejadas, levando em consideração seus pontos fortes e fracos.

Yan & Frégeau-Reid (2018) sugerem que a superioridade de um genótipo não deve ser avaliada com base em características individuais, mas sim em sua capacidade de combinar rendimento com outras características-alvo.

4 CONCLUSÕES

O MGIDI foi eficiente na seleção dos melhores genótipos, apresentando efetividade na seleção de genótipos superiores, com base nos resultados para a maioria das características;

Os genótipos FCB 508 e FCB 208, foram selecionados como os melhores genótipos, destacando-se nas variáveis produtivas correlacionadas ao fator 1 (número de vagem, número de grão por planta, e produção de grãos) e variáveis correlacionadas ao fator 3 (número de grão por planta e comprimento de vagem).

Os genótipos FCB 505 e FCB 604 se destacaram quanto às características da arquitetura da planta.

REFERÊNCIAS

- ACUTIS, M.; SCAGLIA, B.; CONFALONIERI, R. Perfunctory analysis of variance in agronomy, and its consequences in experimental results interpretation. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 129-135, 2012.
- ALMEIDA, G. Q.; ROCHA, J. R. A. S.; PESSOA, H. P.; ALVES, F. M. ; CHAVES, L. J. Seleção de acessos de germoplasma de *Hancornia speciosa* com base no índice FAI-BLUP. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v.51, 2021.
- AL-ASHKAR, I.; SALLAM, M.; AL-SUHAIBANI, N.; IBRAHIM, A.; ALSADON, A. ; AL-DOSS, A. Multiple Stresses of Wheat in the Detection of Traits and Genotypes of High-Performance and Stability for a Complex Interplay of Environment and Genotypes. **Agronomy**, v.12, n.10, 2023.
- AMBROSIO, M. DAHER, R. F.; SANTOS, R. M.; SANTANA, J. G. S. VIDAL, A. K. F.; NASCIMENTO, M. R.; VIDAL, A. K. F.; NASCIMENTO.; LEITE, C. L.; SOUZA, A. G.; FREITAS, R. S.; STIDA, W. F.; FARIAS, J. E. C.; SOUZA FILHO, B. F.; MELO, L. C. ; SANTOS, P. R. Índice de características múltiplas: seleção e recomendação de genótipos superiores de feijão preto como novas variedades melhoradas. **Revista BMC Biologia Vegetal**, v.24, n.525, 2024.
- ANDRADE, M. F.; SIQUEIRA, T. S.; ALVES, N. S.; FRANÇA, J. G. E.; OLIVEIRA, J. L. A.; SILVA, M. A. D.; SIMPLÍCIO, J. B. ; TABOSA, J. N. **Análise dos componentes principais dos parâmetros agronômicos e fisiológicos de milho, submetido a inoculação com azospirillum e doses de nitrogênio**. Caderno Pedagógico, v.21, n.7, p. e5780-e5780, 2024.
- AZRAI, M.; AQIL, M.; EFENDI, R.; ANDAYANI, N. N.; MAKKULAWU, A. T.; IRIANY, R. N.; SUARNI.; YASIN, M.; SUWARDI.; ZAINUDDIN, B.; SALIM.; SITARESMI, T.; BAHTIAR.; PAESAL. ; SUWARNO W. B. Um estudo comparativo sobre seleções de características únicas e múltiplas de híbridos de milho cultivados na região equatorial. **Revista Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.7, p. 1185102, 2023.
- BENAKANAHALLI, N. K.; SRIDHARA, S.; RAMESH, N.; OLIVOTO, T.; SREEKANTAPPA, G.; TAMAM, N.; ABDELBACKI, A. M. M.; ELANSARY, H. O. ;
- ABDELMOHSEN, A. M. Uma estrutura para identificação de genótipos estáveis com base nos índices MTSI e MGDII: Um exemplo em guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). **Agronomy**, v.11, n.6, p.1221, 2021.
- BIZARI, E. H.; VAL, B. H. P.; PEREIRA, E. M.; MAURO A. O. D. ; UNÊDA-TREVISOLI, S. H. Índices de seleção para características agronômicas em populações segregantes de soja. **Revista Ciência Agronômica**, v.48 p.110-117, 2017.
- BLUM, A. **Melhoramento de plantas para ambientes de estresse**. CRC Press: Bora Raton, FI, EUA, 2018.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 365p., 1992.

BRADSHAW, J. E. Melhoria de plantas: passado, presente e futuro. **Euphytica**, v.213, n.60, 2017.

CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, M.T .; SILVA, V. P. R.. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.396-404, 2010.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; BEZERRA, L. C. B. R.; SILVA, M. P. P.; VIANA, M. P .; MORAIS, S. M. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis** [online]., v. 26, n.1-2, p. 81-88, 2012.

CAVALCANTE, A.C.P.; CAVALCANTE, A.G.; NETO, M.A.D.; MATOS, B.F.; DINIZ, B.L.M.T .; BERTINO, A.M.P. Inoculação das cultivares locais de Feijão-caupi com estirpes de rizóbio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n.1, p. 38-44, 2017.

CONAB. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**, v.11 – safra 2023/24, nº9 – Nono levantamento, Janeiro de 2024. Brasília-DF.

DE PAULA, B. S. **Seleção simultânea de genótipos de soja de diferentes grupos de maturidade baseada em características agrônômicas e de curva de senescência**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Agronomia, p. 54, 2024.

EMBRAPA. Cultivo do arroz irrigado no estado do Tocantins. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Sistemas de Produção/informativo eletrônico**, Palmas-TO, 2015.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, R. C. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 482 p.

GUIMARÃES, A. G.; OLIVEIRA, J. R.; SARAIVA, E. A.; SILVA, J. M.; MACEDO, L. A; COSTA, R. A.; GUIMARÃES, C. G .; COSTA, M. R. Seleção de genótipos superiores de milho para cultivo no município de Couto Magalhães-MG. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.9, n.2, p.110-119.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M .; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E & S Engineering and science**, v. 5, n.1, p. 83-90, 2016.

KLEIN, L. A.; MARCHIORO, V. S.; TOEBE, M.; OLIVOTO, T.; MEIRA, D.; MEIER, C.; BENIN, G.; BUSATTO, C. A.; GARAFIN, D. C.; ALBERTI, J. V .; FINATTO, J. L. B. Seleção de linhagens superiores de aveia preta usando o índice de MGIDI. **Revista de Melhoramento de Culturas e Biotecnologia aplicada**. v.23, n.3, 2023.

MARANNA, S.; NATARAJ, V.; KUMAWAT, G.; CHANDRA, S.; RAJESH, V.; RAMTEKE, R.; PATEL, R. M.; RATNAPARKHE, M. B.; HUSAIN, S. M .; GUPTA,

S.; KHANDEKAR, N. Melhoramento para maior rendimento, maturidade precoce, maior adaptabilidade e tolerância ao alagamento em soja (*Glycine max L.*): Um estudo de caso. **Scientific Reports**. v.11, n.1, p.22853, 2021.

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

MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Feijão-Caupi Safrinha. In: CARDOSO, M. J. et al. **Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 201-212.

OLIVEIRA, E. J.; FERREIRA, C.F.; SANTOS, V. S .; OLIVEIRA, G. A. F. Development of a cassava core collection based on single nucleotide polymorphism markers. **Genetics and Molecular Research**.v.13, n.3, p.6472-6485, 2014.

OLIVOTO, T.; DIEL, M. I.; SCHMIDT D .; LÚCIO, A. D. MGIDI: Uma ferramenta poderosa para analisar dados multivariados de plantas. **Plant Methods**. v.18, 2022.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. **Metan: Um pacote R para análise de ensaios multiambientais, Métodos em Ecologia e Evolução**, v, 11, n, 6, p, 783-789, 2020.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: **A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding**. bioRxiv, v.37, ed.10, p. 19898, 2020.

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

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Core Team, 2023. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>> Acesso em: 28 de agosto de 2024.

RIBEIRO, V. Q.; JÚNIOR, A. S. D.; SANTOS, A. A.; SOBRINHO, C. A.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; VIANA, F. M. P.; FILHO, F. R. F.; CARNEIRO, J. S.; ROCHA, M. M., CARDOSO, M. J .; SILVA, P. H. S. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, ed.2. p.11-17, 2002.

RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H.; SOUZA FILHO, G. R .; CANDIDO, L. S Adaptability and genotypic stability of *caffea arábica* genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de Janeiro State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v.12, n.3, p. 2391- 2399, 2013.

SANTOS, E. R. S.; BARROS, H. B.; FERRAZ, E. C.; CELLA, A. J. S.; CAPONE, A.; SANTOS, A. F .; FIDELIS, R. R. Divergência entre genótipos de soja, cultivados em várzea irrigada. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, 2013.

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

SOUSA, V.F .; NUNES, G.M.V.C. **Tecnologias de produção de feijão-caupi irrigado para consumo de grãos imaturos (verdes) na Baixada Maranhense: Aspectos socioeconômicos do feijão-caupi**. Embrapa Cocais, São Luís-MA, ed.1, p.119, 2022.

SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, F. T.; GOMES, M. M. S.; NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, P. C. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu *Cajanus cajan* (L) Millsp). **Revista Verde**, v.4, n.1, p.135 – 140, 2009.

TORRES, F. E. et al. Número de repetições para avaliação de caracteres em genótipos de feijão- caupi. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 161-168, 2015.

OIJEN, M. V .; HOGLIND, M. Toward a bayesian procedure for using process based models in plant breeding, with application to ideotype design. **Euphytica**, v. 207, n.3, p.627–643, 2016

YAN, W .; FRÉGEAU-REID, J. Genotype by Yield* Trait (GYT) Biplot: a Novel Approach for Genotype Selection based on Multiple Traits. **Scientific reports**, v.8, n.1, p.10, 2018.

WOYANN, L. G.; MEIRA, D.; MATEI, G.; ZDZIARSKI, A. D.; DALLACORTE, L. V, MADELLA, L. A .; BENIN, G. Índices de seleção baseados em modelos lineares-bilineares aplicados à soja breeding. **Agron J**. V.112, n.1, p.175-82.

CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI PARA OS AGENTES FITOPATOGÊNICOS *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotium rolfsii*

RESUMO

O feijão caupi é conhecido como feijão-de-corda, feijão massacar e feijão verde, sendo uma das principais culturas exploradas pelos pequenos agricultores do Norte e Nordeste do Brasil. Dentre os principais fitopatógenos que afetam sua produtividade, destacam-se *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii*, que causam o mofo-branco e a podridão do caule da planta em diversos cultivos do mundo, respectivamente. Genótipos de feijão caupi oriundos de programa de melhoramento vegetal podem apresentar resistência a estes patógeno, existindo assim uma interação entre planta e o hospedeiro, que podem ser influenciada por fatores edafoclimáticos. Assim, objetivou-se avaliar a patogenicidade de fungos em diferentes genótipos de feijão-caupi. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x4x20, com quatro repetições e vinte tratamentos, sendo o primeiro fator caracterizado pelos seguintes agentes fitopatogênicos: *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotium rolfsii* e uma testemunha sem a presença dos fungos. Já o segundo fator foram os genótipos de feijão-caupi. Foi avaliado o nível de severidade dos dois fitopatógenos nas plantas de feijão-caupi aos 10 após a inoculação, com o auxílio de escala de notas. Nessa escala de nota, a nota 0 foi correspondente a plantas sem sintomas externos; a nota 1 indicava clorose e/ou murcha em menos de 10% da folhagem das plantas; a nota 2 foi atribuída a plantas com aproximadamente 25% de folhas com clorose e/ou murcha; a nota 3 indica que aproximadamente 50% das folhas e ramos tiveram clorose e/ou murcha, com as plantas manifestando nanismo; 4 = corresponde a aproximadamente 75% ou mais de folhas e ramos com murcha, nanismo severo e desfolha prematura, conseqüentemente resultando na morte da planta. Com os dados de severidade foi calculada a reação média de cada genótipo pela soma das notas de cada planta e a divisão pelo número total de plantas avaliadas. Esse valor foi utilizado para discriminar as linhagens em cinco classes de reação: 0%-33,33% = Resistente (R); 34,44%-66,67% = Intermediário (ID); e 67,88%-100% = suscetível (SU). A linhagem FCB 509 apresentou reação de resistência ao fitopatógeno *Sclerotinia sclerotiorum*, enquanto que a linhagem FCB 208 e a cultivar Pingo-de-ouro apresentaram reação intermediária para o fitopatógeno *Sclerotium rolfsii*, os demais genótipos apresentaram condição de suscetível.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; Fungo fitopatogênico e Melhoramento genético.

CHAPTER III - EVALUATION OF THE RESISTENZ OF COWPEAN LINES TO PHYTOPATHOGENIS AGENTS *Sclerotinia sclerotiorum* sp. and *Sclerotiorum rolfsii*

ABSTRACT

The cowpea feijão is known as corda feijão, massacar feijão and green feijão, being one of the main cultures explored by small farmers in the North and Northeast of Brazil. Among the main phytopathogens that affect its productivity, we highlight *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotiorum rolfsii*, which cause white moth and plant root rot in various crops around the world, respectively. Genotypes of feijão cowpi originating from a plant breeding program may show resistance to these pathogens, thus existing an interaction between plant and host, which may be influenced by soil-climatic factors. Thus, the objective is to evaluate the pathogenicity of fungi in different genotypes of feijão-coupee. The experimental outline was completely casualized, in a 2x4x20 factorial scheme, with four repetitions and twenty treatments, with the first factor characterizing the following phytopathogenic agents: *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotiorum rolfsii* and a testemunha without the presence of two fungi. The second factor forms the feijão-caupi genotypes. The severity level of two phytopathogens in feijão-cowberry plants was evaluated 10 years after inoculation, with the help of a grading scale. Nessa grade scale, a grade 0 was corresponding to plants without external symptoms; Note 1 indicates chlorose and/or amounts less than 10% of plant growth; Note 2 was attributed to plants with approximately 25% of leaves containing chlorose and/or murcha; Note 3 indicates that approximately 50% of the leaves and branches have tiveram chlorose and/or murcha, as the plants manifest nanism; 4 = corresponds to approximately 75% or more of leaves and branches with murcha, severe nanism and premature waste, consequently resulting in plant death. The severity data were calculated based on the average ratio of each genotype based on the notes of each plant and divided by the total number of plants evaluated. This value was used to discriminate the lines in five reaction classes: 0%- 33.33% = Resistant (R); 34.44%-66.67% = Intermediary (ID); e 67.88%-100% = suscetível (SU). The FCB 509 line shows resistance to the phytopathogen *Sclerotinia sclerotiorum*, while the FCB 208 line and the Pingo-de-ouro cultivar show an intermediate reaction to the phytopathogen *Sclerotiorum rolfsii*, the other genotypes show conditions. of suscetível.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Phytopathogenic fungus and genetic improvement

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, cientificamente classificado como *Vigna unguiculata* (L.) Walp., têm suas origens no continente africano, sendo amplamente cultivado em regiões como norte da África, sudeste da Ásia, sul dos Estados Unidos e América Latina. Sua significativa importância agrônômica e nutricional, especialmente para populações mais vulneráveis, o torna uma espécie estratégica para a segurança alimentar de milhares de pessoas ao redor do mundo, incluindo o Brasil (XIONG et al., 2016; KARAPANOS et al., 2017).

O cultivo no Brasil acontece principalmente nas regiões Norte e Nordeste, sendo essas duas regiões responsáveis por cerca de 90% da área cultivada total (SANTOS et al., 2017). De acordo com dados da CONAB (2025), na safra 2023/2024, o estado do Tocantins foi responsável pelo cultivo de feijão-caupi em uma área de 69.400 hectares, totalizando 3,35% da área cultivada no país, com produtividade média de 1.102 kg ha⁻¹ e produção de 76.400 toneladas, correspondendo a 11,88% da produção nacional.

A cultura do feijão-caupi apresenta diversas características que justificam seu cultivo em diferentes partes do mundo. Entre essas características estão o ciclo de crescimento curto e a capacidade de adaptação às condições de seca (CARVALHO et al., 2019). Além disso, essa cultura requer baixa quantidade de água e tem pouca exigência de adubos e fertilizantes (BOUKAR et al., 2018). Outro aspecto importante é sua capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio por meio da simbiose com bactérias do solo, conhecidas como rizóbios, o que contribui para a melhoria da qualidade do solo (DAMULIRA et al., 2015).

No estado do Tocantins, a maioria dos cultivos ainda utiliza genótipos provenientes de programas de melhoramento genético conduzidos em outros estados brasileiros, com condições edafoclimáticas distintas. Para expandir o cultivo na região, é necessário desenvolver novas cultivares adaptadas às condições específicas de solo e clima do Cerrado.

O mofo branco é considerada a doença mais destrutiva do feijoeiro (WENDLAND et al., 2018), o agente causal é o fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, pertencente à divisão Ascomycota, classe Discomycetes e ordem Leotiales (PAULA JUNIOR et al., 2018). O patógeno produz estrutura de resistência chamada de escleródios, estes apresentam coloração negra, duras e relativamente grandes com formato irregular (PAULA JUNIOR et al., 2018).

Dentre os patógenos habitantes do solo que infectam o feijão-caupi, o fungo

Sclerotium rolfsii é responsável pela doença denominada murcha, podridão-do-colo ou podridão-de-escleródio. Os sintomas se iniciam no colo das plantas, ao nível do solo, causando lesões necróticas deprimidas, de aspecto aquoso, que com a rápida evolução, atingem todo o caule e também os primeiros ramos, dando lugar à extensa área necrosada e à presença de um micélio branco, seguido da formação de escleródios do fungo (ATHAYDE SOBRINHO, 2016).

Apesar agentes fitopatogênicos *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii* serem um problema no estado do Tocantins, o melhoramento genético do feijão-caupi tem focado no desenvolvimento de cultivares com arquitetura moderna de planta, principalmente de porte ereto, ciclo de maturação precoce, alta produtividade e resistência a pragas e doenças. Desenvolver cultivares de feijão-caupi no Tocantins oferece benefícios como maior adaptação ao clima e solo local, redução de riscos e custos para os agricultores, além de promover o desenvolvimento econômico regional e estimular a pesquisa agrícola local. Em resumo, isso pode resultar em cultivos mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis para a região. Diante do exposto, objetivou-se identificar o grau de resistência de genótipos de feijão-caupi aos agentes fitopatogênicos *S. sclerotiorum* e *S. rolfsii*, visando a seleção para uso em programas de melhoramento genético.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo e delineamento

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal do Tocantins (UFT), Câmpus Universitário de Gurupi, localizado nas coordenadas 11°44'44,16" de latitude S e 49°03'04,17" de longitude W, a 280 m de altitude no sul do Estado do Tocantins. O clima regional é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica (SEPLAN, 2012).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 x 20, com quatro repetições e vinte tratamentos, sendo o primeiro fator caracterizado pelos seguintes agentes fitopatogênicos: *Sclerotinia sclerotiorum* sp. e *Sclerotium rolfsii* e uma testemunha sem a presença dos fungos. Já o segundo fator caracterizado pelas linhagens e cultivares comerciais de feijão-caupi. Foi avaliado o nível de severidade dos dois fitopatógenos nas plantas de feijão-caupi aos 10 após a inoculação, com o auxílio de escala de notas. As linhagens foram obtidas juntos ao programa de melhoramento de plantas da Fundação

Universidade Federal do Tocantins-UFT, Campus Universitário de Gurupi. As duas cultivares comerciais foram obtidas de áreas comerciais de produtores na região do estudo. Os grãos foram caracterizados como do tipo branco, denominado pela sigla FCB, e marrom, denominado pela sigla FCM.

2.2 Esterilização do substrato

Foram lavados e desinfetados com álcool 70% afim de eliminar agentes contaminantes. O substrato (CAROLINA SOIL) foi preparado por meio de um processo de esterilizado em autoclave, equipamento que utiliza calor úmido sob pressão. Para isso foi acondicionado em sacos de descarte (bags), devidamente selados, e submetido a temperatura de 120°C por uma hora. Após esterilização, o material foi mantido em repouso por três dias para permitir a dissipação de possíveis compostos fitotóxicos.

O processo de esterilização foi realizado com o objetivo de prevenir contaminações por infestantes, nematoides ou doenças, além de eliminar rizóbios, garantindo que apenas o efeito da inoculação do fungo sobre os feijoeiros fosse avaliado. Antes de adicionar o substrato esterilizado nos vasos plásticos de 1 litro, os referidos vasos

2.3 Genótipos utilizados

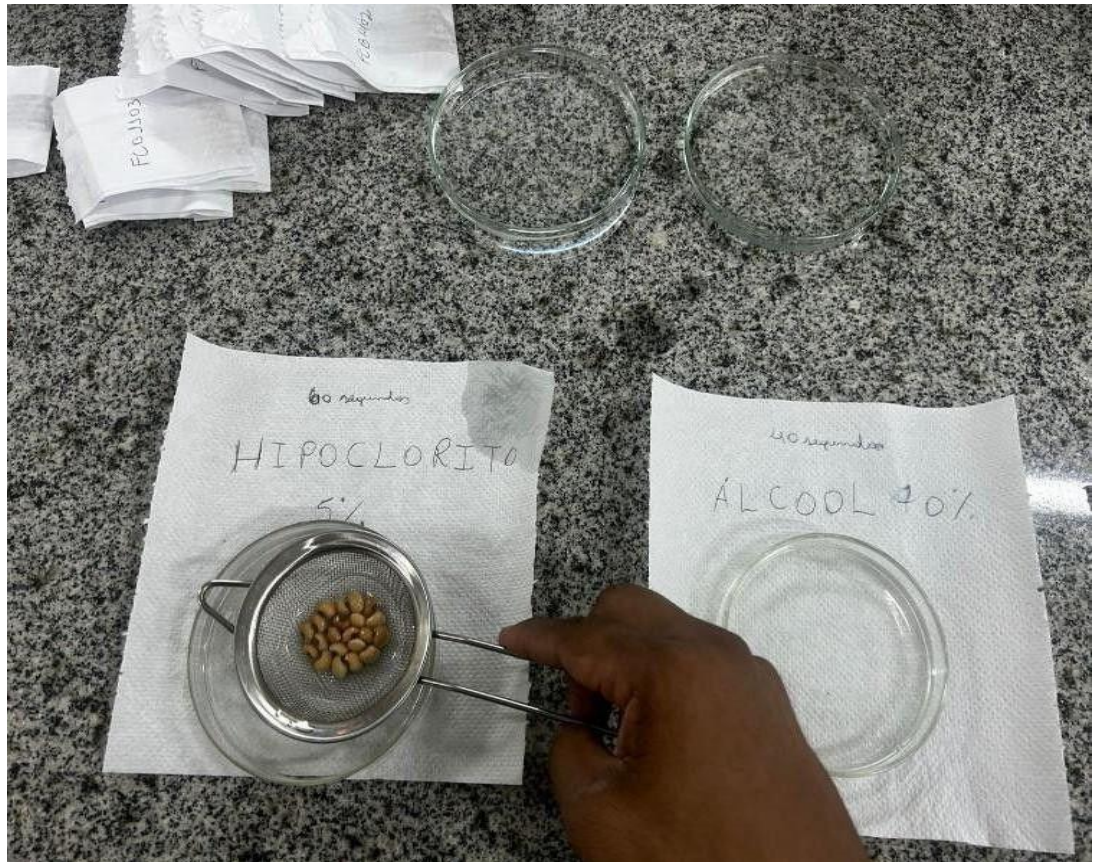
Foram utilizados 18 genótipos superiores, escolhidos do banco de germoplasma do programa de melhoramento de feijão-caupi da Cerrado's Ltda., que apresentam hábito de crescimento ereto e semi-ereto, compondo os grupos branco (FCB): FCB 208, FCB 406, FCB 505, FCB 508, FCB 509, FCB 2309, FCB 2009, FCB 2007, FCB 2006, FCB 1402, FCB 1103; e manteiga (FCM): FCM 601, FCB 602, FCM 603, FCM 604, FCM 608, FCM 906 e FCM 609.

2.4 Esterilização de sementes e plantio dos genótipos

Para assegurar a sanidade das sementes de feijão, foi realizado um processo rigoroso de desinfecção. Inicialmente, as sementes foram imersas em álcool a 70% por 40 segundos e, posteriormente, em solução de hipoclorito de sódio a 0,5% por 60 segundos (Figura 1). Após essas etapas, as sementes foram lavadas com água destilada esterilizada para eliminar

possíveis resíduos.

Figura 1 - Esterilização das sementes. Gurupi, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

Posteriormente, para cada tratamento foram semeadas 5 sementes nos vasos plásticos com capacidade de 1 litro), mantidos em casa de vegetação. A casa de vegetação possui as seguintes dimensões e estrutura: 1,20 metros de largura e 2 metros comprimento, coberta e cercada por tecido de organza branca com 150 micras de espessura, capaz de reter 50% da radiação solar incidente (Figura 2).

Figura 2 - Semeadura das sementes. Gurupi, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

2.5 Desbaste, isolamento e inoculação dos fungos

Foi realizado o desbaste das plantas aos 15 dias após a emergência, quando estas alcançaram os estágios V1/V2 (Figura 3).

Figura 3 - Desbaste de plantas em casa de vegetação. Gurupi, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

Reduzindo o número inicial de cinco para apenas duas plantas por vaso. Essa prática visou proporcionar condições ideais para o crescimento da planta selecionada, assegurando a disponibilidade adequada de recursos e espaço no vaso.

Em seguida, os vasos foram transferidos para o Laboratório de Fitotecnia da Produção Vegetal, onde foram mantidos sob iluminação artificial com luzes LED UV, programadas para ficarem ligadas no intervalo das 06 hr às 18 hrs. A temperatura e umidade controlada para favorecer o desenvolvimento do fungo, temperatura em torno de 20° C e umidade relativa em torno de 60%.

O *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii* foram obtidos a partir de plantas com sintomatologia que indicava a presença dos patógenos, o que foi comprovado a partir da incubação de partes vegetais desinfetadas e fragmentadas em placas de Petri contendo meio Àgar Batata Dextrose (BDA).

Os fungos foram isolados por meio de sucessivas repicagens, sendo posteriormente cultivados em colônias originadas de única hifa, utilizando a técnica de transferência com o auxílio de uma agulha de níquel-cromo previamente flambada. As hifas foram transferidas para placas de Petri contendo meio ágar-água, com incubação a 26°C ± 2°C.

Após o isolamento e a obtenção de *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii* como culturas monósporas, os fungos foram replicados para aumentar a quantidade necessária para as experimentações (Figura 4).

Figura 4 - Placas com os fungos. Gurupi, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

As inoculações foram realizadas por meio de pequenos ferimentos nos caules das

plantas, próximos à base (Figura 5), permitindo a introdução dos fungos no sistema vascular das plantas, simulando as condições naturais de infecção, e posteriormente recobrimdo a área inoculada com algodão. Quatro repetições de cada tratamento foram submetidas à inoculação de fungos. Durante essa etapa, foi selecionada a planta com melhor desenvolvimento e vigor. As outras quatro repetições não receberam inoculação, atuando como controle negativo. Das 160 unidades experimentais, 80 foram testadas com inoculação do fungo e 80 sem inoculação com o fungo.

Figura 5 - Inoculação dos fungos. Gurupi, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

As plantas foram irrigadas conforme a demanda para manter a umidade do solo, utilizando exclusivamente água destilada. Para essa finalidade, foi empregado regador desinfetado.

2.6 Avaliação da severidade

A severidade (Figura 6) do mofo-branco e da podridão do caule em plantas de feijão-

caupi foram avaliadas aos 10, 15, 20, 25 e 30 dias após a inoculação, utilizando uma escala de notas adaptada por Schoonhoven e Pastor-Corrales (1987). Nessa escala, a nota 0 corresponde a plantas sem sintomas externos; a nota 1 indica menos de 10% da folhagem com clorose e/ou murcha; a nota 2 representa cerca de 25% das folhas afetadas com clorose e/ou murcha; a nota 3 indica aproximadamente 50% das folhas e ramos com clorose e/ou murcha, além de sinais de nanismo; e a nota 4 corresponde a 75% ou mais das folhas e ramos com murcha, nanismo severo e desfolha prematura, frequentemente resultando na morte da planta

Figura 6 - Avaliação da severidade do mofo-branco e da podridão-do-caule. Gurupi, 2024.



Fonte: Cavalcante (2024).

Com base nas notas atribuídas, foi calculado o índice de doença (ID) pela fórmula de Mackinney (1923), segundo a fórmula $ID = (f \cdot v) / n \cdot x$ onde, $f = n^\circ$ de plantas em cada categoria, $v =$ nota de escala, $n = n^\circ$ total de plantas e $x =$ grau máximo de infecção. Os valores obtidos foram utilizados para classificar genótipos em três categorias de interação: resistente (R), para índices entre 0% e 33,33%; intermediário (ID), para índices entre 34,44% e 66,67 e suscetível (SU), para índices entre 67,88% e 100%.

Ao final das avaliações, com os dados de severidade, calculou-se a área abaixo da curva

do progresso da doença (AACPD) para cada genótipo avaliado, com auxílio de planilhas em excel, utilizando a seguinte equação:

$$AACPD = \sum_{i=1}^n ((Y_{i+1} - Y_i)/2) * (T_{i+1} - T_i)$$

onde Y_i = percentagem de área foliar afetada pela requeima na i -ésima observação, T_i = tempo (em dias) no momento da i -ésima observação e n = número de observações (SHANER; FINNEY, 1977). Os dados de AACPD foram submetidos ao teste de agrupamento de Scott & Knott, a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software estatístico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na maioria dos genótipos, os primeiros sintomas da doença apareceram aos dez dias após a inoculação, observando-se lesões deprimidas na região do colo onde o escleródio foi depositado, recobertas por um algodão branco. Com o passar do tempo ocorreu a produção de mais escleródios no colo da planta e, posteriormente, amarelecimento das folhas, murcha e secamento da planta. Dentre os 20 genótipos de feijão-caupi avaliados, foi detectado resistência ao patógeno *Sclerotinia sclerotiorum*, nos genótipos FCB 509, FCM 603, FCM 604, FCM 608, FCM 609, FCB 2006 e na cultivar Pingo de ouro (Tabela 1).

Tabela 1 - Reações de linhagens de feijão-caupi a *Sclerotinia sclerotiorum* sob condições de laboratório. Gurupi, UFT, 2024.

Classes das reações de infecção com <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> *						
Linhagens	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias	
FCB 208	R	R	S	S	S	
FCB 406	R	R	ID	S	S	
FCB 505	R	ID	ID	S	S	
FCB 508	R	R	S	S	S	
FCB 509	R	R	R	R	R	
FCM 601	R	ID	ID	ID	S	
FCB 602	R	R	S	S	S	
FCM 603	R	R	ID	ID	ID	
FCM 604	R	R	ID	ID	ID	
FCM 608	R	R	ID	ID	ID	
FCM 609	R	R	ID	ID	ID	
FCM 906	R	R	ID	ID	S	
FCB 1103	R	ID	ID	S	S	
FCB 1402	R	R	ID	S	S	
FCB 2006	R	R	ID	ID	ID	
FCB 2007	R	R	ID	ID	S	
FCB 2009	R	R	ID	ID	S	
FCB 2309	R	R	ID	S	S	
BRS Nova Era	R	R	ID	ID	S	
Pingo-de-ouro	R	R	ID	ID	ID	

*A doença avaliada com o auxílio de escalas e as classes das reações foram de 0 a 100% para *Sclerotinia sclerotiorum* [0-33,33% = Resistente (R); 34,44-66,67% = Intermediário (ID); 67,88-100% = Suscetível (S)].

Fonte: Cavalcante (2024).

Ao analisar os resultados encontrados após 10 dias, constatou-se que todos os genótipos testados foram classificados como resistentes (R), entretanto, aos 15 dias ocorreram as primeiras alterações, sendo, 85% resistentes e 15% apresentaram resistência intermediária.

Após a avaliação realizada aos 20 dias, foi observado que 5% dos genótipos apresentaram resistência, enquanto que 80% apresentaram resistência intermediária, e 15% apresentaram suscetibilidade à doença causada por *Sclerotinia sclerotiorum*. Para as avaliações aos 25 dias, 5% dos genótipos foram resistentes ao patógeno, e 60% obtiveram resistência intermediária, enquanto que 35% apresentaram suscetibilidade. Na avaliação aos

30 dias, observou-se que 5% dos genótipos se mantiveram resistentes, enquanto que 30% apresentaram suscetibilidade intermediária, e 65% foram suscetíveis ao patógeno de *Sclerotinia sclerotiorum*. Os genótipos suscetíveis apresentaram sintomas como folhas com murcha, nanismo, desfolha precoce, murcha ou morte da planta.

Aos 30 dias após a inoculação, nota-se que apenas a linhagem FCB 509 apresentou resistência à doença causada por *Sclerotinia sclerotiorum*. As demais linhagens FCM 603, FCM 604, FCM 608, FCM 609, FCB 2006 e a cultivar Pingo de ouro e demonstraram variações nas reações ao fungo, apresentando resultados de intermediário (ID) e as linhagens FCB 208, FCB406, FCB505, FCB508, FCM601, FCM602, FCM906, FCB 1130, FCB1402, FCB2007, FCB2009,, FCB2309 e a cultivar Nova Era apresentaram suscetível ao longo do tempo. Os resultados mostram que as linhagens avaliadas possuem alta, pouca ou nenhuma resistência genética contra *Sclerotinia sclerotiorum*., o que pode implicar significativamente na produção de feijão-caupi, especialmente em áreas onde a doença é prevalente. A falta de resistência na maior parte dessas linhagens destaca a importância da busca por variedades mais resistentes ou o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado para controlar a doença e minimizar perdas na produção.

Essa transição evidencia uma possível quebra dos mecanismos de defesa ao longo do tempo, um fenômeno observado em outras culturas hospedeiras de *Sclerotinia Sclerotium* devido à capacidade do fungo de produzir enzimas que degradam a parede celular e inibem respostas de defesa da planta (WANG et al., 2020).

Durante o período de avaliação a temperatura média foi de 22°C e a umidade relativa do ar ficou em torno de 60% condições considerada favoráveis para o pleno desenvolvimento da *Sclerotinia sclerotiorum* (FIPKE; DE BASTOS PAZINI; ETHUR, 2015). O que pode ter intensificado a severidade observada na maioria dos genótipos.

As condições ambientais exercem influência significativa sobre a interação entre as plantas e os patógenos, pois fatores como a temperatura, a umidade do solo e do ar, e a disponibilidade de nutrientes impactam tanto a suscetibilidade das plantas à doença quanto a capacidade dos patógenos de infectá-las (ELAD & PERTOT, 2014). Além disso, variações nesses fatores ao longo do ciclo de crescimento das plantas podem modificar a dinâmica das interações entre hospedeiros e patógenos, afetando o desenvolvimento da doença e sua severidade (DENÓBILE, 2023).

Outro fator determinante para uma maior severidade da doença é a ausência de antagonistas e insetos que poderiam atenuar a severidade do fitopatógeno, como as condições

do experimento em laboratório favoreceram o estabelecimento e desenvolvimento do fungo, isso pode ter contribuído para uma menor resistências dos genótipos estudados.

Segundo Ghini et al. (2011) A presença de outros organismos no ambiente pode impactar significativamente a progressão da doença. Insetos que atuam como vetores e microrganismos antagonistas têm o potencial de alterar a suscetibilidade das plantas, bem como influenciar a dinâmica das interações entre planta e patógeno.

A interação entre planta e patógeno ao longo de seus ciclos de crescimento é um fator determinante na dinâmica das doenças. As plantas podem apresentar maior suscetibilidade em determinados estágios de desenvolvimento, enquanto os patógenos tendem a manifestar maior virulência em fases específicas de seu ciclo de vida, intensificando o impacto da infecção.

Na (Tabela 2) é apresentado os caracteres do estudo de severidade final de doença (%) e área abaixo da curva de progresso da doença, os quais apresentaram diferença significativa entre os genótipos avaliados para *Sclerotinia sclerotiorum*.

Para o caracter severidade observa-se que formaram-se 3 grupos distintos e um genótipo separadamente que apresentou maior resistência ao patógeno sendo ele o genótipo FCB 509. Quanto a AACPD, observa-se que formaram grupos distintos em que os genótipos que apresentaram menor AACPD, apresentaram maior resistência ao ataque do patógeno. Sendo eles FCM 603, FCM 609, FCM 608 e o mais resistente FCB 509.

De acordo com Wolter (2018) como os valores de AACPD são calculados a partir de valores percentuais de dados ao longo dos intervalos de avaliação, se tornam portanto, descritores mais precisos da gravidade da doença. Desta forma pode-se afirmar que a AACPD é uma ferramenta mais prática para medir a resistência das plantas às doenças.

Tabela 2 - Médias dos caracteres porcentagem de severidade final (SEV%) e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), *Sclerotinia sclerotiorum* sob condições de laboratório. Gurupi, UFT, 2024.

GENÓTIPO	SEVERIDADE (%)	AACPD
FCM 906	100 A	258,03 A
FCB 508	94,44 A	330,24 A
FCB 1103	94,44 A	285,80 A
FCB 1402	88,88 A	285,80 A
FCB 2007	88,88 A	280,25 A
FCB 406	88,88 A	308,02 A
FCB 505	83,33 A	296,91 A
FCB 602	83,33 A	296,91 A
FCB 2309	83,33 A	274,69 A
FCB 2009	77,77 A	263,58 A
FCB 208	77,77 A	296,91 A
BRS Nova Era	72,21 B	230,25 B
FCM 601	72,21 B	263,58 A
FCB 2006	66,66 B	252,47 A
FCM 603	66,66 B	208,03 B
FCM 604	66,66 B	252,47 A
Pingo de ouro	66,66 B	252,47 A
FCM 609	61,10 B	208,03 B
FCM 608	61,10 B	230,25 B
FCB 509	33,33 C	141,37 C

Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo, segundo o teste de Scott & Knott, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Cavalcante (2024).

Ao analisar os resultados relativos aos sintomas nas plantas submetidas ao *Sclerotium rolfsii*, verifica-se, após 10 dias, que todos os genótipos não apresentavam sintomas, demonstrando resistência, entretanto, aos 15 dias após a inoculação ocorreram as primeiras alterações, sendo não se verificando sintomas em 12 genótipos, que estavam sendo classificados como resistentes e 8 apresentaram resistência intermediária (Tabela 3). Os resultados preliminares estão em conformidade com estudos que evidenciam o papel das barreiras fisiológicas e bioquímicas nas fases iniciais do desenvolvimento vegetal, as quais podem atuar na restrição da infecção inicial pelo fungo (EBRAHIM & SINGH, 2011).

Tabela 3 - Reações de linhagens de feijão-caupi a *Sclerotium rolfsii* sob condições de laboratório. Gurupi, UFT, 2024.

Linhagens	Classes das reações de infecção com <i>Sclerotium rolfsii</i> *				
	10 dias	15 dias	20 dias	25 dias	30 dias
FCB 208	R	R	ID	ID	ID
FCB 406	R	ID	ID	S	S
FCB 505	R	R	ID	S	S
FCB 508	R	ID	ID	S	S
FCB 509	R	R	ID	S	S
FCM 601	R	R	ID	S	S
FCB 602	R	R	ID	S	S
FCM 603	R	R	ID	S	S
FCM 604	R	ID	ID	S	S
FCM 608	R	ID	ID	S	S
FCM 609	R	R	ID	S	S
FCM 906	R	ID	ID	S	S
FCB 1103	R	R	ID	S	S
FCB 1402	R	R	ID	S	S
FCB 2006	R	ID	ID	S	S
FCB 2007	R	ID	ID	S	S
FCB 2009	R	R	ID	S	S
FCB 2309	R	R	ID	S	S
BRS Nova Era	R	ID	ID	S	S
Pingo-de-ouro	R	R	ID	ID	ID

*A doença avaliada escalas e as classes das reações foram de 0 a 100% para *Sclerotium rolfsii* [0-33,33% = Resistente (R); 34,44-66,67% = Intermediário (ID); 67,88-100%= Suscetível (S)].

Fonte: Cavalcante (2024).

Após a avaliação realizada aos 20 dias, foi observado que 100% dos genótipos e as testemunhas apresentaram resistência intermediária. Para as avaliações aos 25 e 30 dias, 90% dos genótipos foram suscetíveis e 10% obtiveram resistência intermediária. Isso sugere que os

genótipos avaliados possuem pouca ou nenhuma resistência contra *Sclerotium rolfsii*. A produção de enzimas e toxinas que atuam na degradação da parede celular dos tecidos do hospedeiro também colabora para a limitação na obtenção de genótipos com resistência (LIMA *et al.*, 2005).

Esses resultados se assemelham aos observados por Noronha *et al.* (2013), que verificaram, dentre 36 genótipos de feijão-caupi avaliados, que apenas dois genótipos foram medianamente resistentes a *Sclerotium rolfsii*. Os resultados demonstram, assim, a elevada agressividade desse fungo ao feijão-caupi e indicam a necessidade de avaliação de mais genótipos de feijão-caupi na busca por fontes de resistência a esse patógeno.

A dificuldade na obtenção de genótipos com elevados níveis de resistência a *Sclerotium rolfsii*, provavelmente é devido ao processo de patogênese exercido pelo fungo, resultante da elevada produção de enzimas hidrolíticas (PRATT & ROWE, 2002; AGRIOS, 2005; VIDHYASEKARAN, 2008). Possivelmente, um dos fatores limitantes para obtenção de genótipos com resistência a *Sclerotium rolfsii*, esteja relacionado com a produção de enzimas e toxinas que atuam na degradação da parede celular dos tecidos do hospedeiro, neste caso, do feijão-caupi (LIMA *et al.*, 2005).

As dificuldades para encontrar fontes de resistência às doenças ocasionadas por *Sclerotium rolfsii* são relatadas em várias culturas (BEDENDO, 2011), no entanto, em algumas situações, genótipos moderadamente resistentes ou tolerantes têm sido identificados. Foi o caso da pesquisa conduzida por DANTAS *et al.* (2002), na qual foram avaliados 30 genótipos de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*), sendo cinco desses genótipos apontados como promissores.

As bases anatômicas, morfológicas ou fisiológicas para esses comportamentos são, em muitos casos, desconhecidas, contudo podem envolver tecidos bastante lignificados ou suberizados, nos quais uma camada impermeável de felogênio é formada por tecidos contendo proteínas inibidoras de endopoligalacturonases (PUNJA, 1985). Outro exemplo de resistência genética a *S. rolfsii* foi relatado para a cultura da alfafa (*Medicago sativa*), sendo nesse caso a resistência caracterizada como poligênica (PRATT & ROWE, 2002). Em feijão caupi, embora em alguns genótipos já tenha apresentado resistência ao patógeno, os mecanismos anatômicos, morfológicos ou fisiológicos que explicam essa resistência ainda não foram descritos de forma conclusiva. Estudos como os de Noronha *et al.* (2013) que avaliaram a resistência com base em sintomas e severidade da doença, mas não realizaram análises estruturais ou bioquímicas detalhadas das barreiras de defesa da planta.

A relação entre as plantas e os patógenos ao longo de seus ciclos de desenvolvimento desempenha papel crucial na dinâmica das doenças. A vulnerabilidade das plantas pode ser maior em determinados estágios fenológicos, enquanto os patógenos apresentam variações na agressividade conforme seu ciclo de vida, o que influencia diretamente a intensidade e a progressão da infecção.

A identificação de genótipos com resistência como os identificandos neste trabalho FCB208 pode ser aplicada em programas de melhoramento genético para obter cultivares comerciais mais adaptadas e tolerantes a patógenos. Esses genótipos também podem ser utilizados em cruzamentos dirigidos com outras linhagens ou variedades que possuam características agronômicas desejáveis, como maior produtividade, melhor qualidade nutricional e ampla adaptação a diferentes condições ambientais. Além disso, representam uma ferramenta essencial para pesquisas voltadas à compreensão dos mecanismos de defesa responsáveis pela resistência às doenças.

Finalmente, a caracterização de reação de *Sclerotium rolfsii* permite investigar como os genótipos de feijão-caupi se comportam em contato com o patógeno, visto que em uma mesma área ou região geográfica podem ocorrer isolados de alta variabilidade genética.

Tabela 4 - Médias dos caracteres porcentagem de severidade final (SEV%) e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), *Sclerotinia rolfisii* sob condições de laboratório.

Gurupi, UFT, 2024.			
	SEVERIDADE	AACPD	
(%)			
	FCM 603	100,00 A	313,60 A
	FCB 2006	100,00 A	369,15 A
	FCM 601	88,88 A	308,04 A
	FCB 505	88,88 A	296,93 A
	FCM 608	88,88 A	313,59 A
	FCM 609	88,88 A	291,37 A
	FCM 906	88,88 A	308,04 A
	FCB 1103	88,88 A	313,59 A
	FCB 1402	88,88 A	296,93 A
	FCB 509	88,88 A	324,70 A
	FCB 2007	88,88 A	324,70 A
	FCB 406	83,22 A	302,48 A
	BRS Nova Era	83,33 A	302,48 A
	FCB 602	83,33 A	280,26 A
	FCM 604	77,77 A	280,26 A
	FCB 2009	77,77 A	269,15 A
	FCB 508	72,22 A	280,26 A
	FCB 2309	72,22 A	269,15 A
	FCB 208	66,44 A	269,15 A
	Pingo de ouro	44,44 A	208,04 A
	FCB 602	83,33 A	280,26 A
	FCM 604	77,77 A	280,26 A

Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo, segundo o teste de Scott & Knott, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Cavalcante (2024).

Buscando esclarecer e evidenciar todos os mecanismos envolvidos na relação planta-hospedeiro, recomenda-se que em estudos futuros esse experimento seja repetido em diferentes épocas e condições ambientais para validar a estabilidade das respostas observadas. A repetição do ensaio em campo poderá permitir avaliar a consistência dos dados de resistência e fortalecer as recomendações para programas de melhoramento.”

4 CONCLUSÕES

-O genótipo de feijão-caupi FCB 509 se destacou com reação resistência para o patógeno fitopatogênico *Sclerotinia sclerotiorum*. Existe variabilidade entre os genótipos de feijão-caupi quanto a resistência.

-Os genótipos avaliados não apresentaram reação de resistência para o fungo fitopatogênico *Sclerotium rolfsii*, sendo que os genótipos FCB 208 e Pingo-de-ouro apresentaram reação intermediária.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS G. N. **Plant pathology**. 5. ed. San Diego: Academic Press. p.952, 2005.
- ATHAYDE SOBRINHO, C. **Principais doenças do feijão-caupi no Brasil**. In: BASTOS, E. A. (coord.). A Cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte; Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Divisão de Análise de Risco de Pragas, p. 44-67, 2016.
- BEDENDO I. P. Podridões de raiz e colo. In: AMORIM. L; REZENDE J. A. M; BERGAMIM FILHO A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, v.1, 4. ed., 4p. p.443-449, 2011.
- BOUKAR, O., BELKO, N.; CHAMARTHI, S.; TOGOLA, A.; BATIENO, J.; OWUSU, E.; FATOKUN, C. Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*): Genética, genômica e melhoramento genético. **Melhoramento de plantas**, v. 138, n.4, pág. 415-424, 2018.
- CARVALHO, M.; MATOS, M.; CASTRO, I.; MONTEIRO, E.; ROSA, E.; LINO-NETO, T.; CARNIDE, V. Screening of worldwide cowpea collection to drought tolerant at a germination stage. **Scientia Horticulturae**, v. 247, n. 1, p. 107-115, 2019.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**, v.11 – safra 2023/24, nº9 – Nono levantamento, Junho de 2024. Brasília-DF.
- DAMULIRA, G.; SANTOS, C. A. F.; OBUO, P.; ALANYO, M.; LWANGA, C. K. Grain yield and protein content of Brazilian cowpea genotypes under diverse Ugandan environments. **American Journal of Plant Science**, v. 6, n. 1, p. 2074-2084, 2015.
- DANTAS, S. A. F.; OLIVEIRA S. M. A.; COELHO R. S. B.; SILVA R. L. X. Identificação de fontes de resistência em feijoeiro a *Sclerotium rolfsii*. **Fitopatologia Brasileira**, vol.27, n.5 p.528-531, 2002.
- DENÓBILE, C. **Invasão biológica e saúde: contribuição de plantas não nativas na incidência de organismos associados à transmissão de doenças**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, 2023.

EBRAHIM, S; SINGH, K.U. Pathogenesis related (PR) proteins in plant defense mechanism. In MÉNDEZVILAS, A (Ed.). **Science against microbial pathogens: advances**. Extremadura: Formatec Research Center, v 1, p. 1043-1054, 2011.

ELAD, Y.; PERTOT, I. Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. **Journal of Crop Improvement**, v. 28, n.1, p. 99-139, 2014.

FIPKE, G. M.; DE BASTOS PAZINI, J.; ETHUR, L. Z. Antagonismo de isolados de *Trichoderma* spp. ao *Sclerotinia sclerotiorum* em diferentes temperaturas. **Magistra**, v. 27, n.1, p. 23-32, 2015.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**, ed.1, p. 15- 40, 2011.

KARAPANOS, I.; PAPANDREOU, A.; SKOULOUDI, M.; MAKROGIANNI, D.; FERNÁNDEZ, J. A.; ROSA, E.; NTATSI, G.; BEBELIA, P.J.; SAVVAS, D. Vagens Frescas do feijão nhemba – uma nova leguminosa para o mercado: avaliação da sua qualidade e características dietéticas de 37 acessos de feijão nhemba cultivados no sul da Europa. **Revista da Ciência da Alimentação e Agricultura**, v.97, n.13, p. 4343-4352, 2017.

LIMA, G.S.A.; ASSUNÇÃO, I.P.; VALLE, L.A.C. Controle genético de doenças radiculares. In: MICHEREFF, S.J.; ANDRADE, D.E.G.T. ; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. UFRPE, Imprensa Universitária, p. 247-278, 2005.

McKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n.5, p. 195-218, 1923.

NORONHA, M. A.; LOPES, C. L. R. B. P.; OLIVEIRA, B. M. M.; VENTURA, H. P.; TÔRRES, R. J.A.; MICHEREFF, S. J.; SILVA, K. J. D. **Reação de genótipos de feijão-caupi a *Fusarium oxysporum* sp. *tracheiphilum*, *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii***. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. Anais..., Recife: IPA, 2013. p.1-5.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**. v.67, p. 1051-1056, 1977.

WOLTER, D. D. **Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) quanto à resistência a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary**. Dissertação de Mestrado/Universidade Federal de Pelotas-RS, 2018.