



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

ANA CLÉCIA REBOUÇAS MACIEL

DIVERSIDADE GENÉTICA EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI

MOSSORÓ

2024

ANA CLÉCIA REBOUÇAS MACIEL

DIVERSIDADE GENÉTICA EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético Vegetal

Orientador: Glauber Henrique de Sousa Nunes, Prof. Dr.

Coorientadora: Lindomar Maria da Silveira, Prof. Dra.

Coorientadora: Angela Maria dos Santos Pessoa, Prof. Dra.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M152d Maciel, Ana Clécia Rebouças.
Diversidade genética em acessos de feijão-
caupi / Ana Clécia Rebouças Maciel. - 2024.
71 f. : il.

Orientador: Glauber Henrique de Sousa Nunes.
Coorientadora: Lindomar Maria da Silveira.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2024.

1. Vigna unguiculata. 2. Germoplasma. 3.
Variabilidade genética. I. Nunes, Glauber
Henrique de Sousa , orient. II. Silveira,
Lindomar Maria da , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANA CLÉCIA REBOUÇAS MACIEL

DIVERSIDADE GENÉTICA EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético Vegetal

Defendida em: 27 / 03 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Glauber Henrique de Sousa Nunes, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Lindomar Maria da Silveira, Prof^ª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador (Coorientadora)

Angela Maria dos Santos Pessoa, Prof^ª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador (Coorientadora)

Manoel Abílio de Queiróz, Prof. Dr. (UNEB)
Membro Examinador

Stefeson Bezerra de Melo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Welder de Araújo Rangel Lopes, Dr.
Membro Examinador

Aos meus pais, José Enildo e Sandra Regina, à minha irmã, Luana Costa, e a Carlos por todo incentivo e apoio durante a trajetória.
Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças, saúde e proteção durante a caminhada e, assim, fez com que eu conseguisse realizar mais um sonho.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por ter dado todo o suporte necessário nessa trajetória.

Agradeço aos meus pais, Sandra Regina e José Enildo, e minha irmã, Luana, por acreditarem nesse sonho e por me apoiarem nas minhas decisões, mesmo com tantas dificuldades enfrentadas. Foram eles que me ajudaram e incentivaram em todos os momentos difíceis, com palavras fortalecedoras, não me deixando abalar nesses momentos. Agradeço a Carlos por todo companheirismo, compreensão, amor e incentivo durante a trajetória.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Glauber Henrique de Sousa Nunes por ter acreditado no meu potencial, pelos ensinamentos, paciência e dedicação. Agradeço as minhas coorientadoras Profa. Dra. Lindomar Maria e Profa. Dra. Angela Maria dos Santos Pessoa por todo apoio, pela orientação, dedicação, ensinamentos e conselhos. Agradeço também ao coordenador da pós-graduação em Fitotecnia o professor Aurélio Paes Barros Júnior por ter me dado todo suporte quando precisei. Obrigada!

Agradeço aos grupos de pesquisas GEPPARG e GERMEV por terem me ajudado nas etapas de campo e laboratório do experimento, em especial Welder, Gisele, Gideilson, Anna, Pablo, Cintya, Daniel, John, Travassos, Henrique, Eduardo e à todos os outros que me ajudaram de alguma forma direta ou indiretamente.

Agradeço aos técnicos, Sara do Laboratório de Análise de Sementes (LAS), Vilma e Odonil do Laboratório de Nutrição Animal (LANA) e Bruno do Centro de Pesquisa em Ciências Vegetais do Semi-Árido (CPVSA) pelos ensinamentos durante os dias de análises. Agradeço aos servidores Josimar, Nanam, Isleique e Flabênio por toda ajuda no período do experimento.

Agradeço aos membros da banca, Glauber, Lindomar, Angela, Manoel Abilio, Welder, Stefeson e Anânkia por terem se disponibilizado a participar e pelas contribuições.

“Deus disse: - Eu irei com você e lhe darei a vitória.”

Êxodo 33:14

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma cultura que apresenta ampla variabilidade genética. Sua conservação em bancos e coleções de germoplasma é uma importante estratégia para manutenção dessa variabilidade. Entre as principais formas de utilização do germoplasma está a identificação de características de interesse úteis para programas de melhoramento, bem como a identificação de acessos superiores. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar a diversidade genética entre acessos de feijão-caupi conservados em câmara fria da coleção de germoplasma do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Para isto, foi conduzido um experimento em campo na Fazenda Experimental Rafael Fernandes pertencente à UFERSA entre os meses de novembro de 2022 a fevereiro de 2023. Foram caracterizados de forma morfológica e nutricional 92 acessos de feijão-caupi. Estes foram dispostos no campo em fileiras simples de 37,5 metros, sendo cada acesso alocado em uma fileira. Foi utilizado espaçamento de 0,75 m entre fileiras e 0,50 m entre plantas. Foram avaliados descritores morfoagronômicos e nutricionais. Para os descritores morfoagronômicos e nutricionais foi calculada a distância euclidiana. Com a matriz de distâncias foi feito o agrupamento UPGMA. Utilizou-se o método de Mojena para definição dos grupos de acessos. Todas as análises foram realizadas pelo programa R. Há diversidade genética entre os acessos de feijão-caupi presentes na coleção da UFERSA, para caracteres morfoagronômicos e para os minerais. Para os descritores morfoagronômicos quantitativos destacaram-se os acessos 116 para peso de vagens e número de sementes por vagem, 116 e 38 para peso da semente na vagem, 30 para índice de grãos, 38 para peso de 100 sementes e o acesso 80 como mais produtivos, já para os descritores morfoagronômicos qualitativos observou-se que 70% dos acessos apresentaram flores roxas, 96% dos acessos possuem porte de planta semiprostrado e todos possuem hábito de crescimento indeterminado, sendo recomendados para estudos posteriores no melhoramento de feijão-caupi. Para os descritores nutricionais destacaram-se os acessos 98 para o teor de cálcio e ferro, 11 para o teor de zinco, 26 para o teor de potássio, 99 para o teor de manganês, 128 para o teor de cinzas, 44 para o teor de cobre e 69 para concentração de proteínas sendo recomendados para estudos com vista à biofortificação no melhoramento genético vegetal de feijão-caupi.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Germoplasma. Variabilidade genética.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) is a crop that presents wide genetic variability. Its conservation in germplasm banks and collections is an important strategy for maintaining this variability. Among the main ways of using germplasm is the identification of characteristics of interest useful for breeding programs, as well as the identification of superior accessions. In this sense, the objective of this work is to study the genetic diversity among cowpea accessions preserved in a cold chamber in the germplasm collection of the Center for Agricultural Sciences (CCA) of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). For this, a field experiment was conducted at the Rafael Fernandes Experimental Farm belonging to UFERSA between the months of November 2022 and February 2023. 92 cowpea accessions were morphologically and nutritionally characterized. These were arranged in the field in simple rows of 37.5 meters, with each access allocated in a row. A spacing of 0.75 m between rows and 0.50 m between plants was used. Morphoagronomic and nutritional descriptors were evaluated. For the morphoagronomic and nutritional descriptors, the Euclidean distance was calculated. The UPGMA grouping was performed using the distance matrix. The Mojena method was used to define access groups. All analyzes were carried out using the R program. There is genetic diversity among the cowpea accessions present in the UFERSA collection, for morphoagronomic characters and minerals. For quantitative morphoagronomic descriptors, accessions 116 stood out for pod weight and number of seeds per pod, 116 and 38 for seed weight in the pod, 30 for grain index, 38 for weight of 100 seeds and accession 80 as more productive, for the qualitative morphoagronomic descriptors it was observed that 70% of the accessions had purple flowers, 96% of the accessions had a semi-prostrate plant size and all had an indeterminate growth habit, being recommended for further studies in cowpea improvement. For nutritional descriptors, accessions 98 stood out for calcium and iron content, 11 for zinc content, 26 for potassium content, 99 for manganese content, 128 for ash content, 44 for of copper and 69 for protein concentration, being recommended for studies aimed at biofortification in cowpea plant genetic improvement.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Germplasm. Genetic variability.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica durante o experimento com feijão-caupi, Mossoró-RN.26
- Figura 2** - Dendrograma de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida em caracteres morfológicos quantitativos. Correlação cofenética = 0,75 ($p < 0,01$). Precocidade de produção (PC), altura de planta (AP), comprimento de vagem (CV), peso de vagem (PV), número de sementes por vagem (NSV), peso de sementes por vagem (PSV), índice de grãos (IG), peso de 100 sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), estande (STD) e produtividade por acesso (PROD).31
- Figura 3** - Correlações entre caracteres morfológicos avaliados em acessos de feijão-caupi. Precocidade de produção (PC), peso de sementes por vagem (PSV), peso de vagem (PV), peso de 100 sementes (P100S), número de sementes por vagem (NSV), comprimento de vagem (CV), índice de grãos (IG), produtividade por acesso (PROD), peso total de sementes (PTS), estande (STD) e altura de planta (AP).33
- Figura 4** - Dendrograma de grupos de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida em onze caracteres morfológicos quantitativos. Correlação cofenética = 0,84 ($p < 0,01$). Valores nos retângulos referem-se a razão entre a média do grupo e a média geral dos grupos. Precocidade de produção (PC), altura de planta (AP), comprimento de vagem (CV), peso de vagem (PV), número de sementes por vagem (NSV), peso de sementes por vagem (PSV), índice de grãos (IG), peso de 100 sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), estande (STD) e produtividade por acesso (PROD). 34
- Figura 5** - Distribuição de acessos de feijão-caupi em função do porte da planta e da cor de flor.....39

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica durante o experimento com feijão-caupi, Mossoró-RN.51
- Figura 2** - Correlações entre caracteres centesimais e nutricionais avaliados em acessos de feijão-caupi. Matéria seca (MS), fósforo (P), cobre (Cu), potássio (K), nitrogênio (N), proteína (PROT), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (ferro), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e umidade (UMID).57
- Figura 3** - Dendrograma de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida em caracteres centesimais e nutricionais. Correlação cofenética = 0,71 ($p < 0,05$). Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (ferro), cobre (Cu), umidade (UMID), proteína (PROT) e matéria seca (MS).59
- Figura 4** - Dendrograma de grupos de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida de dez caracteres centesimais e nutricionais. Correlação cofenética = 0,71 ($p < 0,05$). Valores nos retângulos referem-se a razão entre a média do grupo e a média geral dos grupos. Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (ferro), cobre (Cu), umidade (UMID), proteína (PRO) e matéria seca (MS).65

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental.	27
Tabela 2 - Acessos de feijão-caupi caracterizados de forma morfoagronômica.	27
Tabela 3 - Médias em grupos de acessos de feijão-caupi formados a partir do método UPGMA.	38

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental.	52
Tabela 2 - Acessos de feijão-caupi pertencentes a coleção de germoplasma da UFERSA.	52
Tabela 3 - Teores de macro e micronutrientes de acessos de feijão-caupi.	56
Tabela 4 - Valores da composição centesimal de acessos de feijão-caupi.	57
Tabela 5 - Médias em grupos de acessos de feijão-caupi formados a partir do método UPGMA.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Altura de planta
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CF	Cor da flor
CV	Comprimento de vagem
Dr	Doutor
ETc	Evapotranspiração da cultura
HC	Hábito de crescimento
IG	Índice de grãos
Me	Mestre
MS	Matéria seca
NSV	Número de sementes por vagem
PA	Produtividade por acesso
PC	Precocidade de produção
PROD	Produtividade por acesso
PSV	Peso de sementes por vagem
PV	Peso de vagem
P100S	Peso de 100 sementes
PTS	Peso total de sementes
STD	Estande
UMID	Umidade
UPGMA	Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Al ³⁺	Alumínio
Ca ²⁺	Cálcio
cmolc/dm ³	Centimol de carga
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g	Gramma
g kg ⁻¹	Gramma por quilograma
H	Hidrogênio
H+Al	Acidez potencial
K	Potássio
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
m	Saturação por alumínio
mg/dm ³	Miligramas por decímetro cúbico
Mg ²⁺	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na ⁺	Sódio
°C	Graus Celsius
P	Fósforo
V	Saturação por base
Zn	Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI	22
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAL E MÉTODOS	26
2.1 Implantação e condução do experimento	26
2.2 Germoplasma utilizado	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4. CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI	47
RESUMO	47
ABSTRACT	48
1. INTRODUÇÃO	49
2. MATERIAL E MÉTODOS	51
2.1 Implantação e condução do experimento	51
2.2 Germoplasma utilizado	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) também é conhecido como feijão fradinho ou feijão de corda, é uma planta herbácea anual, cultivada principalmente em regiões semiáridas da América Latina, África e sul da Ásia (BOUKAR et al., 2019).

O gênero *Vigna* abrange mais de 200 espécies, leguminosas diploides de rápido crescimento, entre as quais está *Vigna unguiculata*, de grande importância agrônômica, com ampla variabilidade natural dentro da espécie, que é parte essencial para o desenvolvimento de novas variedades (VERMA et al., 2022). É uma cultura que contribui para o desenvolvimento socioeconômico no Norte e Nordeste do Brasil e tem uma função crítica através da sua utilização como alimento humano, forragem animal e adubo verde (OLIVEIRA et al., 2023).

A produção mundial média de feijão-caupi em 2020 mostrou que os principais produtores mundiais de feijão são: Mianmar, Índia, Brasil, China, Tanzânia, Uganda, Estados Unidos, México, Quênia e Burundi (FAOSTAT, 2021). No Brasil, a região Nordeste é a maior produtora e, nesta região os principais estados que produzem a cultura são Ceará, Bahia e Piauí enquanto que as regiões Norte e Centro-Oeste são as maiores em termos de produtividade (CONAB, 2023).

A cultura detém, além de diversificado nível tecnológico empregado, de formas distintas de exploração, uma vez que apresenta por si só grande variabilidade que permite atender diferentes nichos de exploração, sendo observada a partir de muitas de suas características como variedades de cores, formas e tamanhos de grãos, hábito de crescimento, resistência a pragas e doenças, bem como tolerância a estresse hídrico ou salino além de variações na sua qualidade nutricional.

Vários trabalhos em feijão-caupi já foram realizados constatando essa variabilidade, como Santos et al. (2020), verificaram que as cultivares autofecundadas de feijão-caupi de maturação precoce satisfazem as exigências dos sistemas agrícolas modernos para mais épocas de colheita por ano e colheita mecanizada.

Morales-Morales et al. (2019) e Santos et al. (2023) relataram variação em caracteres morfológicos e nutricionais, identificando genótipos potenciais para o melhoramento genético. Morales-Morales et al. (2019) verificaram que para o teor mineral, a coleção OXC04 apresentou maior concentração de Ca, Mn, Fe e Zn, enquanto a coleção PET07 apresentou maior teor de K. Santos et al. (2023), verificaram que as variáveis peso de 100

grãos, ciclo e número de grãos por vagem são as que mais contribuem para a diversidade genética na população estudada.

Parte dessa variabilidade está conservada em bancos e coleções de germoplasma, mas considerando o número de acessos conservados, são necessárias mais pesquisas sobre sua diversidade genética, uma vez que não está toda caracterizada e para ser usada é necessário mensurá-la. Segundo Freire Filho (2011) os recursos genéticos disponíveis para o melhoramento genético de feijão-caupi estão disponíveis em quatro tipos de coleção: coleção de base de âmbito internacional, coleção de base de âmbito nacional, coleção ativa e coleção de trabalho.

A coleção de base localiza-se no IITA, e contém em torno de 15.200 acessos da espécie cultivada, coletados em mais de 100 países, e 1.450 acessos de espécies silvestres (COHEN et al., 1991). No Brasil, a coleção de base de feijão-caupi localiza-se no Centro Nacional de Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN), em Brasília e contém em torno de 4.000 acessos (WETZEL et al., 2005). O feijão-caupi, possui duas coleções ativas, uma localizada na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, que conta com aproximadamente 3.500 acessos e outra, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, CE, que conta com aproximadamente 941 acessos. O feijão-caupi possui três coleções de trabalho localizadas respectivamente na Embrapa Meio-Norte, no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e na Embrapa Semiárido (FREIRE FILHO, 2011).

O feijão-caupi desenvolve considerável papel na segurança alimentar e nutricional, no entanto, os estudos para o surgimento de novas variedades melhoradas para aumentar a produção ainda não são satisfatórios, uma parte atrelada a dificuldades para conduzir programas de melhoramento genético e identificar e selecionar genótipos melhor adaptados nas regiões de cultivo (GERRANO; THUNGO; MAVENGAHAMA, 2022).

A diversidade genética em feijão-caupi tem sido estudada, principalmente, através da caracterização morfoagronômica e, também, por meio da nutricional. Os marcadores morfológicos fornecem informações sobre diversidade genética com base no desempenho genotípico usando características agronômicas e podem diferir em diferentes fases de crescimento e desenvolvimento, bem como no ambiente de cultivo (GUMEDE et al., 2022).

Já a caracterização nutricional é de suma importância pois a deficiência de micronutrientes pode causar sérios problemas de saúde que podem chegar à morte de indivíduos (GODECKE, STEIN, QAIM, 2018; VON GREBMER et al., 2014). A caracterização nutricional em acessos de feijão-caupi é um dos passos iniciais para começar programas de melhoramento com vista a biofortificação, com intuito de aumentar o teor de

nutrientes nas plantas (PONIEDZIAŁEK, PERKOWSKA, RZYMSKI, 2020; MKAMBULA et al., 2020).

O *V. unguiculata* é uma importante fonte de micronutrientes e aminoácidos, o que o torna uma das culturas-alvo para suprir a deficiência mundial de micronutrientes (REHMAN et al., 2019; JAYATHILAKE et al., 2018). Os grãos de feijão-caupi são uma importante fonte de cálcio e ferro além de conter em média 23,4% de proteína, 1,8% de gordura e 60,3% de carboidratos (GUPTA et al, 2019).

Com isso, a caracterização morfoagronômica e nutricional dos grãos de feijão-caupi é uma alternativa para descobrir potenciais acessos para serem usados no melhoramento genético de forma inicial visando mitigar no futuro problemas de ordem econômica, social e cultural. Dessa forma, objetivou-se estudar a diversidade genética entre acessos de feijão-caupi da coleção de germoplasma do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

REFERÊNCIAS

- BOUKAR, O.; BELKO, N.; CHAMARTHI, S.; TOGOLA, A.; BATIENO, J.; OWUSU, E.; HARUNA, M.; DIALLO, S.; UMAR, M. L.; OLUSOJI, O.; FATUKUN, C. (2019). Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant Breeding*. v.138, n.4, p.415-424. <https://doi.org/10.1111/pbr.12589>.
- COHEN, J. I.; WILLIAMS, J. T.; PLUCKNETT, D. L.; SHANDS, H. (1991). Ex situ conservation of plant genetic resources: global development and environmental concerns. *Science*, v.253, n.5022, p.866-872. <https://doi.org/10.1126/science.253.5022.866>.
- CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Feijão-caupi total (1^a, 2^a e 3^a safra) – Safras 2021/22 e 2022/23.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO (2020). *FAOSTAT*. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15/08/2022.
- FREIRE FILHO, F. R. (2011). **Feijão-caupi no Brasil**: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio-Norte. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/916831/1/feijaocaupi.pdf>. Acesso em: 06/09/2022.
- GERRANO, A. S.; THUNGO, Z. G.; MAVENGAHAMA, S. (2022). Phenotypic description of elite cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes grown in drought-prone environments using agronomic traits. *Heliyon*, v.8, n.2, e08855. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08855>.
- GODECKE, T.; STEIN, A. J.; QAIM, M. (2018). The global burden of chronic and hidden hunger: trends and determinants. *Global food security*, v.17, p.21-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.03.004>.
- GUMEDE, M. T.; GERRANO, A. S.; AMELEWORK, A. B.; MODI, A. T. (2022). Analysis of Genetic Diversity and Population Structure of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

Genotypes Using Single Nucleotide Polymorphism Markers. *Plants*, v.11, n.24, p.3480. <https://doi.org/10.3390%2Fplants11243480>.

GUPTA, R. K.; ARYA, M.; KUMAR, A.; KUMARI, P. (2019). Study on Genetic Variability in Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. *Current Journal of Applied Science and Technology*, v.33, n.2, p.1-8. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2019/v33i230057>.

JAYATHILAKE C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B. C.; NAMMI S.; LIYANAGE, R. (2018). Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.98, n.13, p.4793-4806, doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9074>.

MORALES-MORALES, A. E.; ANDUEZA-NOH, R. H.; MÁRQUEZ-QUIROZ, C.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; TUN-SUAREZ, J. M.; GONZÁLEZ-MORENO, A.; ALVARADO-LÓPEZ, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, v.6, n.18, p.463-475. doi: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>.

MKAMBULA, P.; MBUYA, M. N. N.; ROWE, L. A.; SABLAAH, M.; FRIESEN, V. M.; CHADHA, M.; OSEI, A. K.; RINGHOLZ, C.; VASTA, F. C.; GORSTEIN, J. (2020). The unfinished agenda for food fortification in low-and middle-income countries: quantifying progress, gaps and potential opportunities. *Nutrients*, v.12, n.2, p.354. doi: <https://doi.org/10.3390/nu12020354>.

OLIVEIRA, A. P. DA S.; MELO, Y. L.; ALENCAR, R. S. DE; VIÉGAS, P. R. A.; DIAS, G. F.; FERRAZ, R. L. DE S.; SÁ, F. V. DA S.; DANTAS NETO, J.; MAGALHÃES, I. D.; GHEYI, H. R.; LACERDA, C. F. DE; MELO, A. S. DE. (2023). Osmoregulatory and Antioxidants Modulation by Salicylic Acid and Methionine in Cowpea Plants under the Water Restriction. *Plants* (Basel, Switzerland), v.12, n.6, p.1341. <https://doi.org/10.3390/plants12061341>.

PONIEDZIAŁEK, B.; PERKOWSKA, K.; RZYMSKI, P. (2020). Food Fortification: What's in It for the Malnourished World?. *Vitamins and minerals biofortification of edible plants*, p.27-44. <https://doi.org/10.1002/9781119511144.ch2>.

REHMAN, H. M.; COOPER, J. W.; LAM, H. M.; YANG, S. H. Legume biofortification is an underexploited strategy for combatting hidden hunger. (2019). *Plant, Cell & Environment*, v.42, n.1, p.52-70. doi: <https://doi.org/10.1111/pce.13368>.

SANTOS, J. L. C. DOS; LEITE, W. DE S.; SOUSA, A. V. A. R. DE; LIMA, W. R.; DINIZ, F. O.; LIMA, G. N. (2023). Genetic diversity and importance of agronomic traits in cowpea genotypes in conditions of low technological level in Piauí. *Revista Ceres*, v.70, n.6, e70605. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370060005>.

SANTOS, S. P. DOS; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ARAGÃO, W. F. L. DE; ARAÚJO, M. DOS S.; ROCHA, M. DE M. (2020). Genetic control of traits related to maturity in cowpea. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.20, n.4, e32722049. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n4a62>.

VERMA, S. K.; SINGH, C. K.; TAUNK, J.; GAYACHARAN; JOSHI, D. C.; KALIA, S.; DEY, N.; SINGH, A. K. (2022). Vignette of *Vigna* domestication: From archives to genomics. *Frontiers in genetics*, v.13, p.960200. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.960200>.

VON GREBMER, K.; SALTZMAN, A.; BIROL, E.; WIESMAN, D.; PRASAI, N.; YIN, S.; YOHANNES, Y.; MENON, P.; THOMPSON, J. SONNTAG, A. (2014). **2014 global hunger index: The challenge of hidden hunger**. Intl Food Policy Res Inst. <http://dx.doi.org/10.2499/9780896299580>.

WETZEL, M. M. V. S.; FREIRE, M. S.; FAIAD, M. G. R.; FREIRE, A. de B. Recursos genéticos: coleção ativa e de base. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). (2005). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 29-92.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma cultura de grande importância para todo o mundo que precisa ser conservada para manter sua diversidade genética. A sua diversidade pode ser vista em muitas de suas características que podem ser observadas facilmente. Para isso, são feitos estudos de caracterização ao nível morfológico que podem expressar seu potencial agrônomo e assim conservá-lo para posterior estudos com intuito de encontrar materiais promissores. Neste sentido, objetivou-se caracterizar 92 acessos de feijão-caupi através de descritores morfoagronômicos quantitativos e qualitativos. Para isto, foi conduzido um experimento em campo na Fazenda Experimental Rafael Fernandes pertencente a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Foram caracterizados de forma morfológica 92 acessos de feijão-caupi. Estes foram dispostos no campo em fileiras simples de 37,5 metros, sendo cada acesso alocado em uma fileira. Foi utilizado espaçamento de 0,75 m entre fileiras e 0,50 m entre plantas. Foram avaliados descritores morfoagronômicos quantitativos e qualitativos. Foi calculada a distância euclidiana. Com a matriz de distâncias foi feito o agrupamento UPGMA. Utilizou-se o método de Mojena para definição dos grupos de acessos. Todas as análises foram realizadas pelo programa R. Observou-se diversidade genética entre os acessos de feijão-caupi presentes na coleção da UFERSA para caracteres morfoagronômicos. Destacaram-se os acessos 116 para peso de vagens e número de sementes por vagem, 116 e 38 para peso da semente na vagem, 30 para índice de grãos, 38 para peso de 100 sementes e o acesso 80 como mais produtivos, já para os descritores morfoagronômicos qualitativos observou-se que 70% dos acessos apresentaram flores roxas, 96% dos acessos possuem porte de planta semiprostrado e todos possuem hábito de crescimento indeterminado, sendo recomendados para estudos posteriores no melhoramento de feijão-caupi.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, diversidade genética, germoplasma.

MORPHOAGRONOMICAL CHARACTERIZATION IN COWPE BEAN ACCESSES

ABSTRACT

The cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) is a crop of great importance for the entire world that needs to be conserved to maintain its genetic diversity. Its diversity can be seen in many of its characteristics that can be easily observed. To this end, characterization studies are carried out at the morphological level that can express its agronomic potential and thus preserve it for future studies with the aim of finding promising materials. In this sense, the objective was to characterize 92 cowpea accessions using quantitative and qualitative morphoagronomic descriptors. For this, a field experiment was conducted at the Rafael Fernandes Experimental Farm belonging to the Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 92 cowpea accessions were morphologically characterized. These were arranged in the field in simple rows of 37.5 meters, with each access allocated in a row. A spacing of 0.75 m between rows and 0.50 m between plants was used. Quantitative and qualitative morphoagronomic descriptors were evaluated. The Euclidean distance was calculated. The UPGMA grouping was performed using the distance matrix. The Mojena method was used to define access groups. All analyzes were carried out using the R program. Genetic diversity was observed among the cowpea accessions present in the UFERSA collection for morphoagronomic characters. Accessions 116 stood out for pod weight and number of seeds per pod, 116 and 38 for seed weight in the pod, 30 for grain index, 38 for weight of 100 seeds and accession 80 as the most productive, as for the qualitative morphoagronomic descriptors it was observed that 70% of the accessions had purple flowers, 96% of the accessions had a semi-prostrate plant size and all had an indeterminate growth habit, being recommended for further studies in cowpea improvement.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Genetical diversity. Germplasm.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi tem grande relevância socioeconômica em várias regiões do Brasil, com destaque para o Norte, Nordeste e Centro-Oeste tornando indispensável os estudos com o melhoramento genético da cultura, que busca selecionar genótipos com maior potencial de produção e melhor adaptados (TORRES FILHO et al., 2018).

Os passos iniciais para se obter os melhores genótipos é através das atividades de multiplicação, caracterização e avaliação do germoplasma de uma espécie para, assim, chegar ao conhecimento de sua variabilidade (TORRES FILHO et al., 2018).

A caracterização morfológica é usada na avaliação agrônoma e classificação taxonômica de espécies de plantas (ORTIZ et al., 2008). As características morfológicas também são ferramentas úteis em pesquisas de padrões geográficos em grandes coleções de bancos de genes de espécies de plantas (BORNER et al., 2007; FURMAN et al., 1997). É feita através de observações variáveis qualitativas e quantitativas de descritores morfológicos fáceis de serem diferenciáveis a olho nu de planta e grão (BURLE; OLIVEIRA, 2010).

Devido o feijão-caupi estar sendo cultivado há bastante tempo e em condições ambientais variadas, o que fez com que agricultores realizassem sua seleção, culminou na obtenção de uma ampla variabilidade morfológica que pode ser observada através de caracteres como hábito de crescimento (determinado ou indeterminado), porte (ereto, semiereto, semiprostrado, prostrado), as sementes variam em forma (reniformes a quadradas) e nas cores do tegumento e ao redor do hilo (WETZEL et al., 2005; FREIRE FILHO et al., 2005).

Muitos trabalhos relatam a variabilidade morfológica em feijão-caupi. Owusu et al. (2021) estudaram 16 linhagens avançadas de feijão-caupi e observaram significativas variações em todas as características de rendimento avaliadas. Zaki e Radwan (2022) estudaram 28 variedades de feijão-caupi com o intuito de desenvolver novas variedades de alto rendimento e detectaram variações nos parentais e cruzamentos que refletem a diversidade genética e possibilidade de seleção.

Lazaridi e Bebeli (2023) avaliaram cinco variedades crioulas de feijão-caupi originárias de diferentes ilhas gregas sob condições climáticas mediterrâneas com vista a aumentar o rendimento médio de sementes em períodos de seca, principalmente quando ocorrem durante os períodos de floração e enchimento de sementes e relataram que a variedade crioula VG23 é um material genético promissor para ser utilizado na melhoria do

rendimento de sementes, com vista a aumentar o rendimento médio de sementes em períodos de seca, principalmente quando ocorrem durante os períodos de floração e enchimento de sementes e relataram que a raça crioula VG23 é um material genético promissor para ser utilizado na melhoria do rendimento de sementes.

Dessa forma, os estudos de caracterização em feijão-caupi são fundamentais para o desenvolvimento de variedades melhor adaptadas a diferentes regiões sendo primordial a conservação dos materiais para a continuação dos estudos na cultura. Com isso, objetivou-se determinar características morfoagronômicas de acessos de feijão-caupi por meio de descritores quantitativos e qualitativos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Lagoinha, zona rural do município de Mossoró-RN, Brasil. O clima da região é do tipo BSh, caracterizado por ser seco e muito quente, com estação seca e chuvas de verão (ALVARES et al., 2013). A temperatura média da região é de 27,4 °C e a precipitação pluviométrica anual é em torno de 677 mm (BEZERRA et al., 2014). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (RÊGO et al., 2016).

Durante o período do experimento, foram obtidos dados meteorológicos da Estação Meteorológica Automática instalada na Fazenda Experimental (Figura 1).

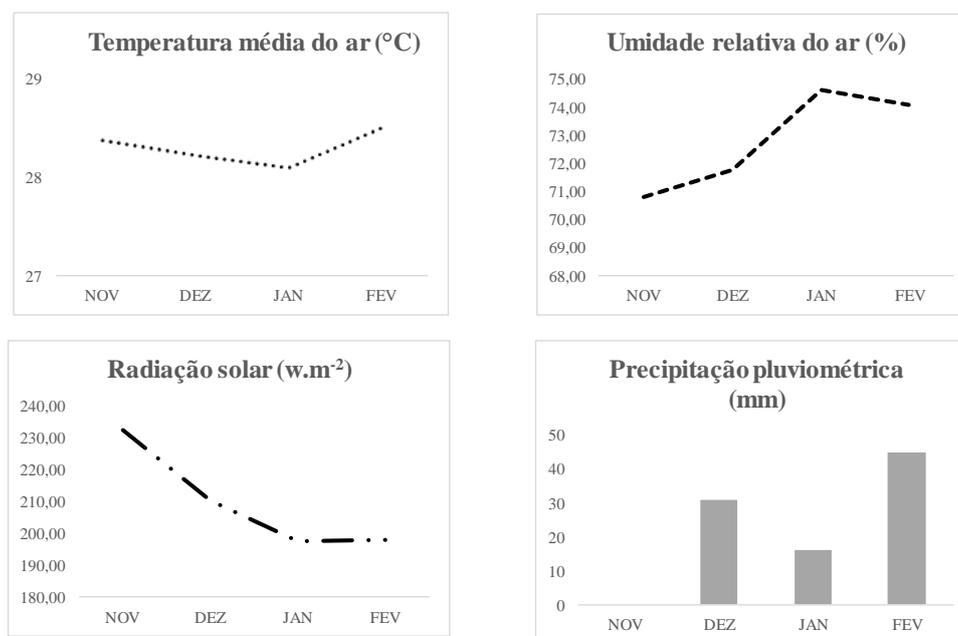


Figura 1. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica durante o experimento com feijão-caupi, Mossoró-RN.

2.1 Implantação e condução do experimento

O preparo do solo consistiu em aração e gradagem. Coletas de solos foram realizadas na profundidade de 0-20 cm, com o auxílio do trado retirando-as em forma de “Z”, formando uma amostra composta que foi homogeneizada e retirada uma amostra simples que foi devidamente identificada, acondicionada e encaminhada para realização das análises quanto às características químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental.

Profundidade	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	Al ³⁺
m	H ₂ O	-----mg/dm ³ -----			-----cmolc/dm ³ -----		
0-0,20	6,5	3,7	41,5	11,1	1,5	1,00	0,0

2.2 Germoplasma utilizado

Foram utilizados 92 acessos de feijão-caupi pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da UFERSA (Tabela 2).

Tabela 2. Acessos de feijão-caupi caracterizados de forma morfoagronômica.

Nº	ORIGEM	Nº	ORIGEM	Nº	ORIGEM	Nº	ORIGEM
6	Felipe Guerra	41	Currais Novos	68	Currais Novos	98	Japi
7	Upanema	42	Itaú	69	Macaíba	99	São José do Campestre
8	Umarizal	43	São Tomé	71	José da Penha	104	Angicos
11	Alexandria	44	Carnaubais	72	Tenente Laurentino Cruz	105	Tenente Laurentino Cruz
12	José da Penha	45	Lagoa de Pedras	73	Currais Novos	106	Campo Grande
16	Umarizal	46	Itaú	74	Lagoa de Pedras	107	Macaíba
17	Itaú	47	Lagoa Salgada	75	José da Penha	111	Tenente Ananias
18	Campo Grande	48	José da Penha	76	Baraúna	112	Currais Novos
19	Baraúna	49	Campo Grande	77	Itaú	114	São Bento do Trairi
20	Macaíba	50	Baraúna	78	Luís Gomes	115	Nova Cruz
21	OD*	51	Currais Novos	79	Itaú	116	Carnaúba dos Dantas
26	Carnaubais	52	Macaíba	80	Baraúna	119	Santana do Matos
27	São Tomé	53	Currais Novos	81	Lagoa de Pedras	120	São Paulo do Potengi
29	Japi	54	José da Penha	82	Umarizal	121	Bodó
30	Luís Gomes	55	São Tomé	83	Campo Grande	122	Apodi
33	Baraúna	57	Currais Novos	85	Jaçanã	123	Lagoa Salgada
34	Macaíba	60	Macaíba	88	Carnaubais	124	Serrinha
35	Macaíba	61	Macaíba	89	Umarizal	125	Pedro Velho
36	Macaíba	62	Tenente Laurentino Cruz	90	Campo Grande	126	Ceará-Mirim
37	Macaíba	63	Upanema	92	Lagoa de Pedras	127	BRS-Marataoã ¹
38	Currais Novos	64	BRS-Tumucumaque ¹	95	Tenente Laurentino Cruz	128	Pedra Preta
	Lagoa de						
39	Pedras	65	BRS-Xiquexique ¹	96	Umarizal	129	Lagoa D'Anta
40	Ceará-Mirim	66	BRS-Aracê ¹	97	Carnaubais	130	Alexandria

*OD: Origem desconhecida.

¹Cultivares comerciais.

Na semeadura foi realizada adubação de cobertura conforme recomendação de adubação para o feijão-caupi irrigado (IPA, 2008) e com base na análise de fertilidade do solo. Foi semeado quatro sementes por cova. Após quinze dias da emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por cova. O espaçamento entre fileiras e entre plantas na

fileira foi de 0,75 e 0,50 m, respectivamente, com duas plantas por cova, totalizando 150 plantas na área útil de cada parcela experimental.

Foi utilizada irrigação por aspersão com base na ETc da cultura (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR; NOGUEIRA, 2017). Os tratos culturais e o controle fitossanitário foram realizados de acordo com as recomendações técnicas e necessidades durante a condução do experimento. A colheita foi realizada quando 80% das vagens estavam secas (OLIVEIRA et al., 2019).

Foram avaliadas as características morfoagronômicas quantitativas e qualitativas, com base na lista de descritores proposta pelo *Bioversity International* (2007), com algumas modificações:

a) Descritores quantitativos

1. Planta

1.1 Precocidade de produção [(PC) determinada através da contagem em dias, desde a semeadura até o início da colheita de cada um dos tratamentos];

1.2 Altura da planta [(AP) – medida do colo da planta até o último nó do ramo principal];

2. Vagem

2.1 Comprimento de vagens [(CV) comprimento médio de 10 vagens];

2.2 Peso de vagens [(PV) peso médio de 10 vagens];

3. Sementes

3.1 Número de sementes por vagem [(NSV) - contagem do número de grãos comercializáveis a partir da média de dez vagens];

3.2 Peso de sementes por vagem [(PSV) – peso médio dos grãos de 10 vagens

3.3 Índice de grãos [(IG) -

$$(PG10V \div 10) \div (P10V \div 10) \times 100$$

3.4 Peso de 100 grãos de 10 vagens [(P100S) -

$$(PG10V \div 10) \div (NG10V \div 10) \times 100$$

3.5 Peso total de sementes [(PTS)]

4. Produção

4.1 Estande [(STD) – número de plantas na área útil após o desbaste];

4.2 Produtividade por acesso [(PROD – produtividade obtida a partir de cada acesso];

b) Descritores qualitativos

1. Planta

1.1 Porte da planta [(PT)] – Freire Filho et al. (2005), classificou a cultura em 4 diferentes portes descritos abaixo:

- Ereto (ramos principal e secundários curtos com a inserção dos ramos secundários formando um ângulo agudo com o ramo principal);
- Semiereto (ramos principal e secundários curtos com a inserção dos ramos secundários aproximadamente perpendicular ao ramo principal e geralmente não tocam o solo);
- Semiprostrado (ramos principal e secundários de tamanho médio com os ramos secundários inferiores tocando o solo e apresentando tendência para apoiarem-se em suportes verticais);
- Prostrado (ramos principal e secundários longos com os ramos secundários inferiores tocando o solo e apresentando tendência para apoiarem-se em suportes verticais);

1.2 Hábito de crescimento [(HC)]

- Determinado – ápice do caule principal é reprodutivo
- Indeterminado - ápice do caule principal e ramos laterais são vegetativos

2. Flor

2.1 Cor da flor [(CF)]

- Branca – Flor de coloração branca;
- Roxa – Flor de coloração roxa;
- Branca e roxa – Flor branca com base do estandarte roxo e asas externas roxas;

Foi realizada uma análise descritiva das amplitudes observadas para os descritores utilizados. Foi calculada a distância euclidiana e a partir das matrizes de dissimilaridade, agrupou-se hierarquicamente os acessos pelo método de distância por média aritmética denominado em inglês de UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). Estimou-se a correlação cofenética entre a matriz original de distâncias e a matriz final de agrupamento. Utilizou-se o método de Mojena para definição dos grupos de acessos. Todas as análises foram realizadas pelo programa R (R CORE TEAM, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O agrupamento UPGMA pode ser considerado satisfatório uma vez que a correlação cofenética foi 0,75 ($p < 0,05$) (Figura 2), indicando que as matrizes de distâncias original e final foram semelhantes em decorrência da menor perda de informação no processo de novas distâncias pelo método de distância por média aritmética denominado em inglês de UPGMA.

Formaram-se 11 grupos de acessos (Figura 2). Embora tenha havido a formação de 11 grupos, a distribuição foi concentrada em apenas um grupo que contemplou 68 acessos, totalizando quase 74% dos genótipos avaliados, demonstrando que este grupo alocou os acessos mais semelhantes. Os 24 acessos remanescentes foram distribuídos em dez grupos, sendo cinco formados por um acesso, dois compostos por dois acessos, um por três acessos e os demais distribuídos em um grupo com cinco e outro com sete acessos, apontando que estes acessos são mais divergentes.

A cultivar BRS-Tumucumaque ficou sozinha no grupo VII, enquanto que as cultivares BRS-Xique-Xique, Aracê e Marataoã ficaram agrupadas no grupo X junto com a maioria dos acessos, pois tratam-se de acessos mais semelhantes. A distribuição dos acessos evidencia pouca variabilidade considerando os caracteres avaliados (Figura 2).

Observou-se que dos 11 grupos formados, o grupo I se destacou em relação aos outros grupos pois apresentou características que se sobressaíram em relação aos demais, como peso total de sementes (PTS) e produtividade (PROD). O grupo II se destacou para a variável peso de 100 sementes (P100S). Já o grupo VI apresentou os menores valores de peso total de sementes e produtividade (Figura 2).

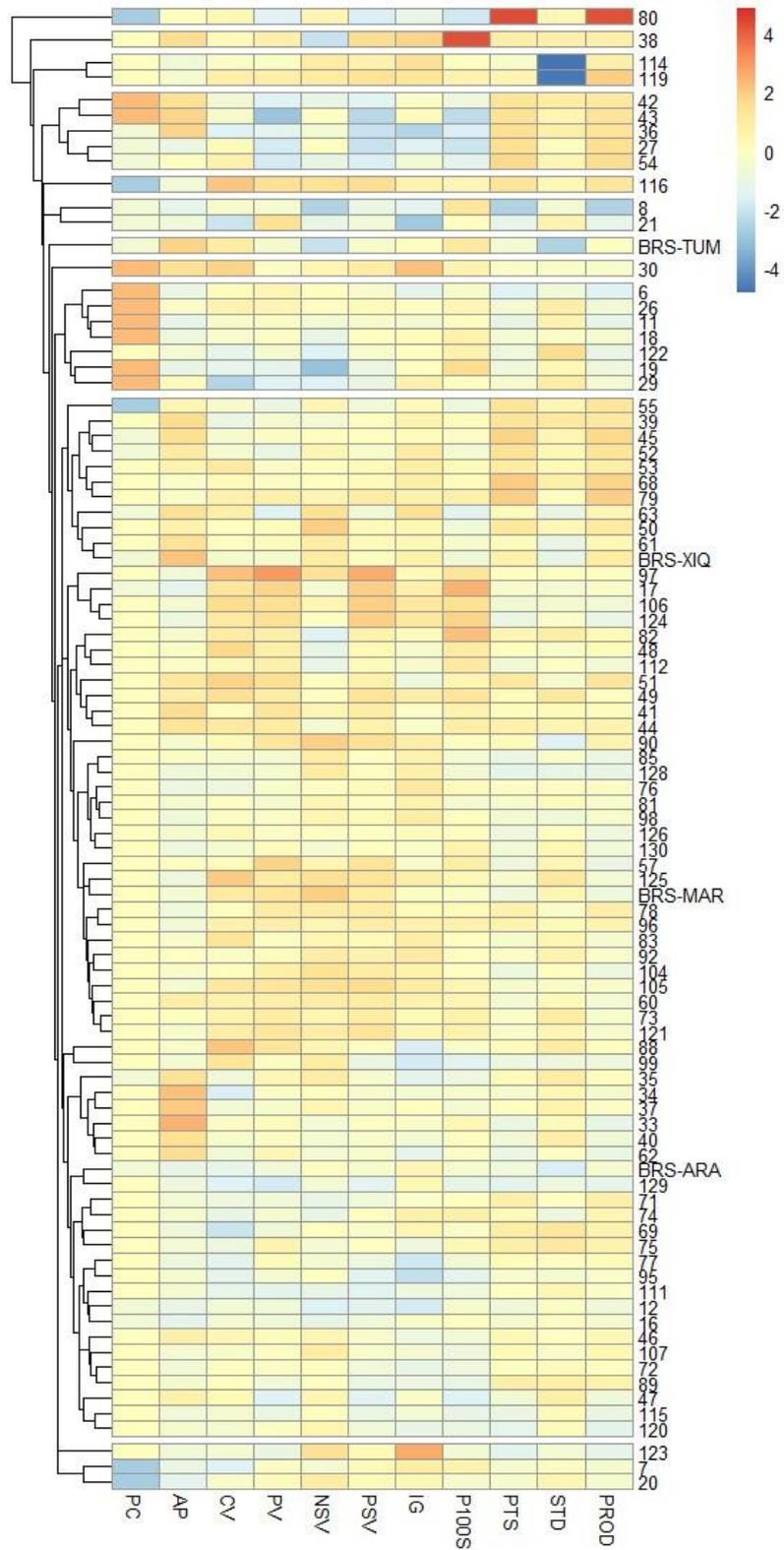


Figura 2. Dendrograma de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida em caracteres morfológicos quantitativos. Correlação cofenética = 0,75 ($p < 0,01$). Precocidade de produção (PC), altura de planta (AP), comprimento de vagem (CV), peso de vagem (PV), número de sementes por vagem (NSV), peso de sementes por vagem (PSV), índice de grãos (IG), peso de 100 sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), estande (STD) e produtividade por acesso (PROD).

As estimativas significativas do coeficiente de correlação variaram de -0,21 a 0,97 (Figura 3). As maiores estimativas significativas e positivas do coeficiente de correlação foram observadas entre a produtividade (PROD) e peso total de sementes (PTS) (0,97; $p < 0,05$), visto já ser esperado pois a variável PROD é calculada através da PTS; peso da semente na vagem (PSV) e peso da vagem (PV) (0,86; $p < 0,05$) e PSV com peso de 100 sementes (P100S) (0,72; $p < 0,05$).

Estimativas medianas foram observadas entre PSV e os caracteres NSV, comprimento da vagem (CV) e índice de grãos (IG), bem como entre PV e os caracteres P100S e CV. Estimativas positivas medianas foram constatadas entre NSV e P100S com os caracteres CV e IG. De acordo com Hara et al. (2022), o aumento no peso das vagens (PV) pode estar mais relacionado com o peso dos grãos (P100S) do que com o número de sementes por vagem (NSV). O mesmo aconteceu no presente estudo, pois PV se correlacionou positivamente com o P100S (0,63), e com isso pode-se dizer que as plantas de feijão-caupi investiram mais no enchimento de grãos do que no aumento do número de grãos.

Estimativas reduzidas, porém, positivas também foram verificadas entre a altura da planta (AP) com PTS e PROD. Por outro lado, todas as estimativas negativas apresentaram valores reduzidos, sendo a menor entre NSV e P100S. A precocidade (PC) se correlacionou negativamente com NSV, PROD e PTS, indicando que os acessos mais precoces ou medianamente precoces foram menos produtivos. O estande (STD) e o IG se correlacionaram negativamente.

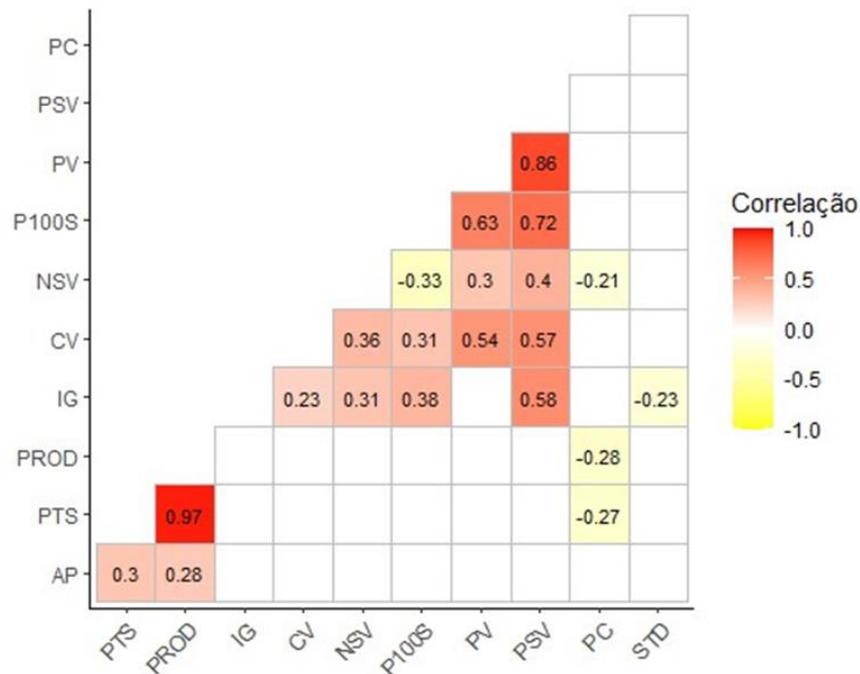


Figura 3. Correlações entre caracteres morfológicos avaliados em acessos de feijão-caupi. Precocidade de produção (PC), peso de sementes por vagem (PSV), peso de vagem (PV), peso de 100 sementes (P100S), número de sementes por vagem (NSV), comprimento de vagem (CV), índice de grãos (IG), produtividade por acesso (PROD), peso total de sementes (PTS), estande (STD) e altura de planta (AP).

Quando se consideram a média do grupo e a média geral dos grupos a precocidade de produção foi maior no grupo VIII (1,13) e menor nos grupos I e V (0,88). Para altura de plantas observa-se que o grupo VII foi maior (1,58) enquanto que o grupo XI foi menor (0,57). Para o comprimento de vagens o grupo V apresentou maiores comprimentos (1,13) enquanto que o grupo VI foi o menor. O peso da vagem foi maior no grupo V e menor no grupo IV. O maior número de sementes por vagem esteve no grupo V enquanto que o menor número esteve no grupo II. O peso das sementes na vagem foi maior nos grupos II e V (1,34) e menor no grupo IV (0,59).

O índice de grãos foi maior no grupo VIII (1,20) e menor no grupo VI (0,74). O peso de 100 sementes foi maior no grupo II (1,78) e menor no grupo I (0,54). O peso total de sementes foi maior no grupo I (2,30) e menor no grupo VI (0,27). O estande foi maior no grupo II (1,08) e menor no grupo III (0,72). A produtividade foi maior no grupo I (2,12) e menor no grupo VI (0,30). A correlação cofenética foi de 0,84, indicando um bom dendrograma (Figura 4).

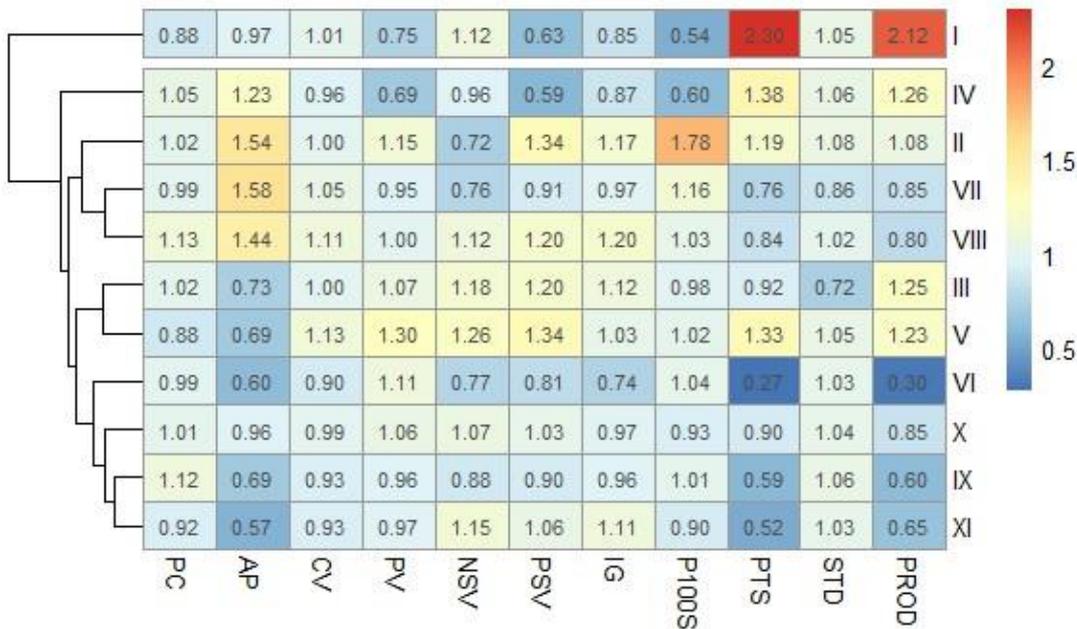


Figura 4. Dendrograma de grupos de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida em onze caracteres morfológicos quantitativos. Correlação cofenética = 0,84 ($p < 0,01$). Valores nos retângulos referem-se a razão entre a média do grupo e a média geral dos grupos. Precocidade de produção (PC), altura de planta (AP), comprimento de vagem (CV), peso de vagem (PV), número de sementes por vagem (NSV), peso de sementes por vagem (PSV), índice de grãos (IG), peso de 100 sementes (P100S), peso total de sementes (PTS), estande (STD) e produtividade por acesso (PROD).

O grupo I reuniu apenas o acesso 80 que apresentou maior produtividade ($847,58 \text{ kg ha}^{-1}$) e maior peso total de sementes ($4418,0 \text{ kg}$) dentre todos os acessos, além de maior precocidade de produção, por outro lado apresentou menor peso de 100 sementes ($11,80 \text{ g}$) (Tabela 3).

Araújo et al. (2019) avaliaram dez acessos de feijão-caupi e observaram maiores produtividades que as encontradas na presente pesquisa, onde relataram que o acesso Setentão foi o menos produtivo (732 kg ha^{-1}) e o acesso Vinagre Barrigudo de Caldo o mais produtivo (3287 kg ha^{-1}) com média geral de 2250 kg ha^{-1} . Na presente pesquisa este caractere variou de $39,40$ para o acesso menos produtivo (acesso 8) a $847,58 \text{ kg ha}^{-1}$ para o acesso mais produtivo (acesso 80). As cultivares comerciais foram menos produtivas que o acesso 80 pois este apresentou 2,5 vezes mais produtividade que a BRS-Tumucumaque, 1,9 vezes que a BRS-Xique-Xique, 2,9 vezes que a BRS-Aracê e 3,6 vezes BRS-Marataoã.

Santana et al. (2019) estudaram trinta acessos de feijão-caupi e observaram que o acesso Pitiúba foi o mais produtivo com $1633,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Apesar da baixa produtividade média encontrada na presente pesquisa quando comparado a outros trabalhos, o valor ainda é

superior à média nacional que fica na faixa de 495,0 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Apenas 10,9% dos acessos estudados no presente estudo obtiveram produtividade acima da média nacional enquanto que 89,1% ficaram abaixo da média brasileira.

O acesso 80 apresentou maior precocidade de produção aos 55 dias. Cultivares precoces são colhidas mais cedo evitando chuvas ou secas prolongadas típicas de regiões semiáridas, por isso a importância da precocidade sobre o clima de cada região (EHLERS; HALL, 1997).

Guerra et al. (2020) observaram que a BRS Itaim, a BRS Imponente, a BRS Guariba, a BRS Paraguaçu e a BRS Aracê apresentaram ciclo inferior a 76 dias, corroborando com o encontrado no presente trabalho, no qual nove acessos apresentaram ciclo de 71 dias enquanto que os outros 83 acessos apresentaram ciclos de 55 dias (superprecoce), 62 dias (precoce) e 64 dias (precoce) (FREIRE FILHO et al., 2005).

A precocidade em feijão-caupi é muito importante para os produtores que se utilizam de sistema irrigado para o cultivo dessa cultura, pois um menor tempo da cultura em campo reduz o consumo de água e energia, além de chegar mais rapidamente o produto ao consumidor (FREIRE FILHO et al., 2005).

O grupo II se destacou no peso de 100 sementes (38,80 g), peso de sementes por vagem (3,80 g) e número de plantas na parcela, destacando-se o acesso 38 em contrapartida que apresentou menor número de sementes por vagem (9,80) (Tabela 3).

Segundo Shimelis e Rakshit (2005) o P100S permite classificar os grãos em pequenos (< 25 g), médios (entre 25 e 40 g) e grandes (> 40 g); dessa forma 88% dos acessos do presente trabalho foram classificados como pequenos e 12% como médios. Pimenta et al. (2023) estudaram quatro cultivares de feijão-caupi e observaram menor variação para este caractere (18,44 a 21,00g), enquanto que no presente trabalho variou de 10,1 (acesso 43) a 38,8g (acesso 38).

Públio Júnior et al. (2017) estudaram quinze linhagens e cinco cultivares de feijão-caupi e observaram resultados semelhantes para P100S e NSV, variando de 19,55 a 31,58 g e de 8 a 13, respectivamente. Pimenta et al. (2023) estudaram quatro cultivares de feijão-caupi e observaram menor amplitude para PSV variando de 1,84 a 2,11 g quando comparado aos resultados obtidos nesta pesquisa, que variaram de 1,4 a 4,4 g. Araújo et al. (2019)

encontraram número de grãos variando de 9,2 a 16,9. O NSV é uma característica intrínseca da cultivar e por isso é pouca influenciada pelas práticas culturais (BINOTTI et al., 2007).

As cultivares comerciais apresentaram menor P100S que o acesso 38 pois este foi 1,5 vez mais pesado que a BRS-Tumucumaque e 2 vezes mais pesado que as demais cultivares. O tamanho e a cor do grão constituem preferências do mercado e são importantes na determinação do preço do produto, e essas características não devem sofrer alterações significativas durante o processo de seleção, uma vez que há uma preferência por grãos com peso de 100 grãos em torno de 18 g de formatos reniforme ou arredondado e, dessas características, entretanto, a cor parece ser o fator mais importante na formação do preço do produto (SILVA; NEVES, 2011).

O grupo V, composto apenas pelo acesso 116, se destacou nas variáveis peso de sementes por vagem (3,80 g), número de sementes por vagem (17,10), peso de vagem (5,20 g) e comprimento de vagem (24,26 cm). Além disso, foi o acesso mais precoce junto com o acesso 80 do grupo I com 55 dias (Tabela 3).

Resultados semelhantes para comprimento de vagem e número de sementes por vagem foram encontrados por Guerra et al. (2020), variando de 14,90 a 22,50 cm o CV e 7,65 a 20,5 para NSV. Atualmente, para a colheita manual, semimecanizada e mecanizada, são preferidas vagens menores, com menos grãos e, portanto, mais leves, pois proporcionam melhor suporte e reduzem a probabilidade de entortar e quebrar o pedúnculo. Como os frutos são mais leves, é menos provável que toquem o solo, reduzindo o potencial de danos por apodrecimento (SILVA; NEVES, 2011).

Sas et al. (2021) estudaram 20 acessos de feijão-caupi e observaram número de sementes por vagem semelhante aos encontrados no presente estudo, variando de 13,37 a 17,17. Públio Júnior et al. (2017) relataram menor variação para peso de vagem de 2,17 a 3,26 g, com média geral de 2,89 g em relação ao presente trabalho.

O grupo VII se destacou por apresentar as maiores alturas (48,50 cm). Resultados semelhantes apresentando alta variabilidade para altura foram obtidos por Animasaun et al. (2015) e Guerra et al. (2020). Animasaun et al. (2015) avaliaram dez cultivares de feijão-caupi e observaram variação de altura de 35,95 a 79,0 cm. Guerra et al. (2020) avaliaram o desempenho produtivo de diferentes cultivares de feijão-caupi e relataram variação para altura de planta de 32,50 cm para a cultivar BRS Novaera a 66 cm para Pingo-de-ouro-1-2 e índice

de grãos de 71,90 a 80,45%. No entanto, plantas de maior altura apresentam maior dificuldade de manejo e de colheita (PEIXOTO et al., 2002), sendo desejadas plantas com altura mais baixa.

O grupo VIII agrupou apenas o acesso 30 e se destacou no maior índice de grãos (85%) além de ser um dos acessos de menor precocidade comparado aos demais (71 dias) (Tabela 3). No presente trabalho 53% dos acessos apresentaram índices de grãos superiores aos observados para as cultivares comerciais BRS-Tumucumaque, Xique-Xique, Aracê e Marataoã que obtiveram IG de 68, 74, 72 e 68, respectivamente.

Silva et al. (2018) estudaram 16 linhas superiores e quatro cultivares de feijão-caupi de porte semiprostrado nos anos de 2014 e 2015 e relataram que esta variável foi maior no ano de 2015 (86,33%) em comparação com o ano de 2014 (73,02%), valores estes próximos ao encontrado no presente trabalho. Públio Júnior et al. (2017) observaram porcentagem de IG variando de 75 a 83% e Sousa et al. (2017) estudaram 24 acessos de feijão-caupi e relataram IG de 71,91 a 80,11%, enquanto que no presente estudo essa variação foi maior, de 47,06 a 88,24%.

Segundo Santos et al. (2012) as características mais influentes para produção de grãos em feijão-caupi são o índice de grãos e número de vagens por planta, sendo a importância superior a outras variáveis como peso de cem grãos e número de grãos por vagens. O índice de grãos é a relação entre o peso do grão e o peso da vagem sendo muito importante para o rendimento (PÚBLIO JÚNIOR et al., 2017).

Os grupos IX e X obtiveram, resultados medianos a estes relatados, sendo que três cultivares estudadas no presente trabalho ficaram reunidas no grupo X (BRS-Xique-Xique, Aracê e Marataoã) (Tabela 3).

O grupo III não se destacou em nenhuma variável e apresentou o menor estande de todos (94,50), assim como também o grupo IV que obteve menores médias para peso de sementes por vagem (1,68 g) e peso da vagem (2,76 g). Além destes, o grupo VI foi o menos produtivo (118,09 kg ha⁻¹), teve menor peso total de sementes (520,10 kg), menor comprimento de vagem (19,47 cm) e índice de grãos (52,48%) (Tabela 3). O grupo XI apresentou os menores valores para altura de plantas (17,63cm).

Tabela 3. Médias em grupos de acessos de feijão-caupi formados a partir do método UPGMA.

Grupo	n*	PROD kg ha ⁻¹	STD	PTS kg	P100S G	IG %	PSV g	NSV	PV g	CV cm	AP cm	PC dias
I	1	847,58	139,00	4418,00	11,80	60,00	1,80	15,20	3,00	21,70	29,75	55,00
II	1	430,42	142,00	2292,00	38,80	82,61	3,80	9,80	4,60	21,50	47,25	64,00
III	2	500,54	94,50	1775,00	21,25	79,13	3,40	16,00	4,30	21,54	22,25	64,00
IV	5	503,77	140,40	2650,40	13,06	61,62	1,68	12,96	2,76	20,67	37,70	65,60
V	1	488,82	139,00	2548,00	22,20	73,08	3,80	17,10	5,20	24,26	21,13	55,00
VI	2	118,09	136,00	520,10	22,65	52,48	2,30	10,35	4,45	19,47	18,41	62,00
VII	1	341,05	114,00	1458,00	25,20	68,42	2,60	10,30	3,80	22,60	48,50	62,00
VIII	1	320,40	134,00	1610,00	22,40	85,00	3,40	15,20	4,00	23,84	44,13	71,00
IX	7	237,58	140,29	1142,11	22,01	67,54	2,57	11,86	3,83	20,13	21,25	70,00
X	68	340,22	136,68	1731,76	20,17	68,84	2,91	14,52	4,23	21,30	29,47	63,60
XI	3	259,76	135,33	1000,32	19,60	78,22	3,00	15,50	3,87	20,05	17,63	58,00

n* Número de acessos no grupo. PROD: Produtividade; STD: Estande; PTS: Peso total das sementes; P100S: Peso de 100 sementes (g); IG: Índice dos grãos; PSV: Peso da semente; NSV: número de sementes por vagem; PV: Peso da vagem; CV: Comprimento da vagem; AP: Altura da planta; PC: Precocidade.

Verificou-se que a maior parte dos acessos têm porte de planta semiprostrado. Os acessos 7 e 17 mais as ‘BRS-TUM’ e ‘BRS-XIQ’ possuem porte semiereto, enquanto os acessos 8 e 81 têm porte prostrado (Figura 5).

No Ceará, enquanto os produtores de sequeiro preferem cultivares de porte prostrado ou semiprostrado que oferecem colheita escalonada e restos culturais para alimentação do gado, os agricultores que praticam irrigação estabeleceram uma necessidade pelo porte ereto, devido a possibilidades da colheita mecanizada e aumento da produtividade em decorrência do aumento populacional e ao uso de fertilizantes químicos (BARRETO, 2006). Por isso a importância de obter novas cultivares que possam atender as duas demandas (BERTINI et al., 2009) (Figura 5).

Com relação à cor da flor, os acessos foram divididos em flores violetas e brancas (Figura 5). Aproximadamente 70% dos acessos exibiram flores violetas. Concernente ao hábito de crescimento, todos os acessos possuem hábito de crescimento indeterminado. Oliveira et al. (2015) estudaram 9 cultivares de feijão-caupi e verificaram porte ereto em todas e hábito de crescimento indeterminado em 8 cultivares e determinado em uma cultivar. São características adaptadas à mecanização dos tratos culturais e da colheita os portes ereto e semiereto e, o hábito de crescimento determinado, sendo também valorizadas pelos produtores que praticam irrigação (BEZERRA et al., 2001).

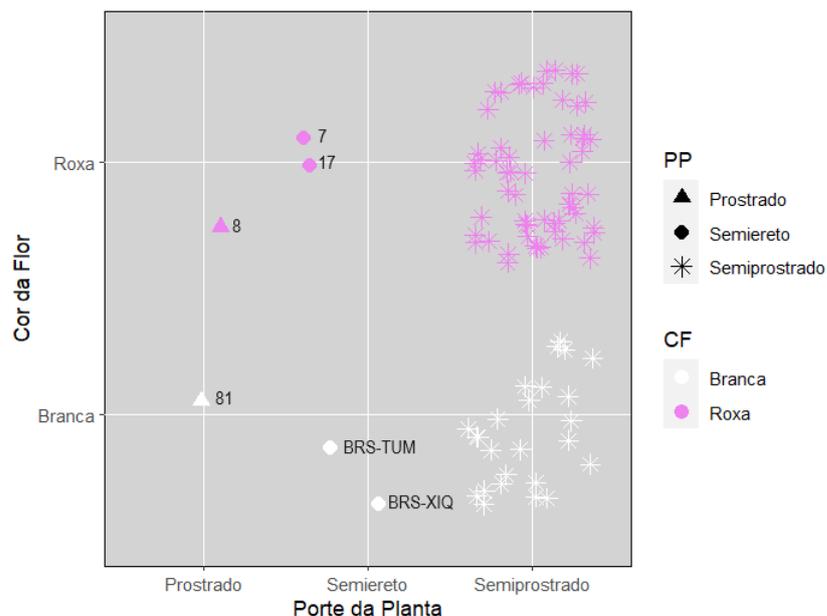


Figura 5. Distribuição de acessos de feijão-caupi em função do porte da planta e da cor de flor.

4. CONCLUSÕES

Há diversidade genética entre os acessos de feijão-caupi presentes na coleção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para caracteres morfoagronômicos quantitativos e qualitativos.

Destacaram-se os acessos 116 para peso de vagens e número de sementes por vagem, 116 e 38 para peso da semente na vagem, 30 para índice de grãos, 38 para peso de 100 sementes e o acesso 80 como mais produtivos sendo recomendados para estudos posteriores no melhoramento de feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. DE; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANIMASAUN, D. A.; OYEDEJI, S.; MUSTAPHA, O. T.; AZEEZ, M. A. (2015). Genetic variability study among ten cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) using morpho-agronomic traits and nutritional composition. *The Journal of Agricultural Sciences*, v.10, n.2, p.119-130. <https://doi.org/10.4038/jas.v10i2.8057>.
- ARAÚJO, L. B. R.; PINHEIRO, M. DE S.; FIEGE, L. B. DA. C.; BERTINI, C. H. C. DE M.; DOVALE, J. C. (2019). Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. *Revista Caatinga*, v.32, n.3, p.698-708. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n314rc>.
- BARRETO, P. D. (2006). **Recursos genéticos e programa de melhoramento de feijão-de-corda no Ceará: avanços e perspectivas.** Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/recursos-geneticos-e-melhoramento-de-plantas-para-o-nordeste-brasileiro.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2024.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; NOGUEIRA, C. C. P. (2017). Cultivo de feijão-caupi. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, Brazil.** Disponível em: https://www.spo.cnpia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=imprimirspportl. Acesso em: 14/09/2022.
- BERTINI, C. H. C. DE. M.; TEÓFILO, E. M.; DIAS, F. T. C. (2009). Divergência genética entre acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da UFC. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.1, p.99-105. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195318130015>. Acesso em: 03/01/2024.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. DE. A.; SILVA, Ê. F. F. E.; LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. DA. (2014). Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, Brasil). *Revista Caatinga*, v.27, n. 3, p.211-220. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237132104024>.

BEZERRA, A. A. DE. C.; ANUNCIACÃO FILHO, C. J. DA.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. (2001). Inter-relação entre caracteres de caupi de porte ereto e crescimento determinado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.1, p.137-142. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100017>.

BINOTTI, F. F. DA. S.; ARF, O.; ROMANINI JUNIOR, A.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E. DE; BUZETTI, S. (2007). Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. *Bragantia*, v. 66, n.1, p.121-129. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000100015>.

BIOVERSITY INTERNATIONAL. (2007). **Descritores para Feijão frade ou caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10568/104074>. Acesso em: 21/07/2022.

BORNER, A.; SCHÄFER, M.; SCHMIDT, A.; GRAU, M.; VORWALD, J. (2007). Associations between geographical origin and morphological characters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant Genetic Resources*, v.3, n.3, p.360–372. <https://doi.org/10.1079/PGR200589>.

BURLE, M. L.; OLIVEIRA, M. DO S. P. DE. (2010). **Manual de curadores de germoplasma - vegetal: caracterização morfológica**. (Documentos/ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 378). Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p.15. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/913190/1/DOC312e378.pdf>. Acesso em: 22/10/2022.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Feijão-caupi total (1ª, 2ª e 3ª safra) – Safras 2021/22 e 2022/23.

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. (1997). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Field Crops Research*, v.53, n.1-3, p.187-204. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00031-2).

FURMAN, B. J.; QUALSET, C. O.; SKOVMAND, B.; HEATON, J. H.; CORKE, H.; WESENBERG, D. M. (1997). Characterization and analysis of North American triticale genetic resources. *Crop Science*, v.37, n.6, p.1951-1959. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700060046x>.

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

GUERRA, A.; EVANGELISTA, R.; SANTOS, E.; SILVA, M.; NOGUEIRA, W. (2020). Produtividade de grãos e de biomassa da parte aérea de cultivares de feijão-caupi. *Revista Agrária Acadêmica*, v.3, n.3, p.40-48. <https://doi.org/10.32406/v3n32020/40-48/agrariacad>.

HARA, F. A. DOS S.; SERUDO, R. N.; VENDRUSCOLO, J.; INÁCIO, A. C. F.; MOURA, R. P. DE M. (2022). Response of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to different levels of water replacement in the vegetative phase. *Research, Society and Development*, v.11, n.6, e15311629013-e15311629013. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29013>.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. (2008). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2a aproximação, 2. ed. rev., IPA, p. 198.

LAZARIDI, E.; BEBELI, P. J. (2023). Evaluation of Cowpea Landraces under a Mediterranean Climate. *Plants*, v.12, n.10, p.1947. <https://doi.org/10.3390%2Fplants12101947>.

OLIVEIRA, I. J. DE; FONTES, J. R. A.; DIAS, M. C. ; BARRETO, J. F. (2019). Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no Estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (Infoteca-e)**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108059#:~:text=http%3A//ww> [w.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108059](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108059). Acesso em: 17/10/2022.

OLIVEIRA, E. DE; MATTAR, E. P. L.; ARAÚJO, M. L. DE; JESUS, J. C. S. DE; NAGY, A. C. G., SANTOS, V. B. DOS. (2015). Descrição de cultivares locais de feijão-caupi

coletados na microrregião Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil. *Acta Amazonica*, v.45, n.3, p.243-254. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201404553>.

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

OWUSU, E. Y.; KARIKARI, B., KUSI, F.; HARUNA, M.; AMOAH, R. A.; ATTAMAH, P., ... ISSAHAKU, M. (2021). Genetic variability, heritability and correlation analysis among maturity and yield traits in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) in Northern Ghana. *Heliyon*, v.7, n.9, e07890. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07890>.

PEIXOTO, N.; BRAZ, L. T.; BANZATTO, D. A.; MORAES, E. A.; MOREIRA, F. M. (2002). Características agrônômicas, produtividade, qualidade de vagens e divergência genética em feijão-vagem de crescimento indeterminado. *Horticultura Brasileira*, v.20, n.3, p.447-451. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000300010>.

PIMENTA, L. J. L.; SANTOS, S. R. DOS; BERNARDINO, D. L. M. P.; BARBOSA, J. A. E.; ALVES, A. G. T.; CARVALHO, A. J. DE. (2023). Produtividade e eficiência do uso da água de cultivares do feijão-caupi sob irrigação por gotejamento. *Contribuciones A Las Ciencias Sociales*, v.16, n.11, p.26504-26522. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.11-104>.

PÚBLIO JÚNIOR, E.; MORAIS, O. M.; ROCHA, M. DE M.; PÚBLIO, A. P. P. B.; BANDEIRA, A. DA S. (2017). Agronomic traits of genotypes of cultivated cowpea in Southwest of Bahia. *Científica (Jaboticabal)*, v.45, n.3, p.223-230. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p223-230>.

R CORE TEAM. (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RÊGO, L. G. DA S.; MARTINS, C. M.; SILVA, E. F. DA; SILVA, J. J. A. DA; LIMA, R. N. DA S. (2016). Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil. *Revista Caatinga*, v.29, n.4, p.1036-1042. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n430rc>.

SANTANA, S. R. A. DE; MEDEIROS, J. E. DE; ANUNCIACÃO-FILHO, C. J. DA; SILVA, J. W. DA; COSTA, A. F. DA; BASTOS, G. Q. (2019). Genetic divergence among cowpea genotypes by morphoagronomic traits. *Revista Caatinga*, v.32, n.3, p.841-850. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n329rc>.

SANTOS, A.; CECCON, G.; CORREA, A. M.; DURANTE, L. G. Y.; REGIS, J. A. V. B. (2012). Análise genética e de desempenho de genótipos de feijão-caupi cultivados na transição do cerrado-pantanal. *Revista Cultivando o Saber*, v.5, p.87-102. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/485/386>. Acesso em: 15/01/2024.

SAS, M. G. A.; WAHYU, Y.; SYUKUR, M.; HIDAYAT, P. (2021). Morpho-agronomy performance, seed nutrition content, and *Aphis craccivora* resistance of cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, v.22, n.10, p.4320-4326. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221024>.

SHIMELIS, E. A.; RAKSHIT, S. K. (2005). Proximate composition and physico-chemical properties of improved dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Ethiopia. *LWT - Food Science and Technology*, v.38, n.4, p.331-338. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.07.002>.

SILVA, M. DE O.; CARVALHO, A. J. DE; BATISTA, P. S. C.; SANTOS, J.; OLIVEIRA, S. M. DE. (2018). Agronomic performance of cowpea genotypes. *Revista de Ciências Agrárias (Portugal)*, v.41, n.4, p.1059-1066. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17309>.

SILVA, J. A. L. DA; NEVES, J. A. (2011). Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.1, p.29-36. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6ila748>.

SOUSA, S.; TAVARES, T.; BARROS, H.; NASCIMENTO, I.; SANTOS, V.; FIDELIS, R. (2017). Genetic divergence of cowpea in the south of Tocantins. *Revista de Ciências Agrárias (Portugal)*, v.40, n.2, p.419-429. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16069>.

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

WETZEL, M.; FREIRE, M.; FAIAD, M.; FREIRE, A. D. B. (2005). Recursos genéticos: coleção ativa e de base. *Feijão-caupi: avanços tecnológicos*. Brasília, DF: Embrapa *Informação Tecnológica*, 157-190.

ZAKI, H. E. M.; RADWAN, K. S. A. (2022). Estimates of genotypic and phenotypic variance, heritability, and genetic advance of horticultural traits in developed crosses of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp). *Frontiers in Plant Science*, v.13, p.987985. <https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2022.987985>.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL EM ACESSOS DE FEIJÃO-CAUPI

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma cultura de grande importância em populações de baixa renda que investem em seu consumo para suprir as suas demandas nutricionais. Apresenta altos teores de proteínas, macro e micronutrientes essenciais para desenvolvimento e saúde humana, sendo imprescindível estudos com vista a sua biofortificação. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade genética entre acessos de feijão-caupi conservados da coleção de germoplasma do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Para isto, foi conduzido um experimento em campo na Fazenda Experimental Rafael Fernandes pertencente a UFERSA. Foram caracterizados de forma morfológica e nutricional 92 acessos de feijão-caupi. Estes foram dispostos no campo em fileiras simples de 37,5 metros, sendo cada acesso alocado em uma fileira. Foi utilizado espaçamento de 0,75 m entre fileiras e 0,50 m entre plantas. Foram avaliadas a composição centesimal e os teores de macro e micronutrientes nas sementes. Foi calculada a distância euclidiana. Com a matriz de distâncias foi feito o agrupamento UPGMA. Utilizou-se o método de Mojena para definição dos grupos de acessos. Todas as análises foram realizadas pelo programa R. Há diversidade genética entre os acessos de feijão-caupi presentes na coleção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para caracteres centesimal e nutricional. Destacaram-se os acessos 98 para o teor de cálcio e ferro, 11 para o teor de zinco, 26 para o teor de potássio, 99 para o teor de manganês, 128 para o teor de cinzas, 44 para o teor de cobre e 69 para concentração de proteínas sendo recomendados para estudos com vista à biofortificação no melhoramento genético vegetal de feijão-caupi.

Palavras-chave: Caracteres nutricionais. Germoplasma. Variabilidade genética. *Vigna unguiculata*.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) is a crop of great importance in low-income populations that invest in its consumption to meet their nutritional demands. It has high levels of proteins, macro and micronutrients essential for human development and health, making studies essential for its biofortification. In this sense, the objective of this work was to study the genetic variability among cowpea accessions preserved in the germplasm collection of the Agricultural Sciences Center (CCA) of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Therefore, a field experiment was conducted at the Rafael Fernandes Experimental Farm belonging to UFERSA. 92 cowpea accessions were characterized morphologically and nutritionally. These were arranged in the field in simple rows of 37.5 meters, with each access allocated in a row. A spacing of 0.75 m between rows and 0.50 m between plants was used. The proximate composition and macro and micronutrient content in the seeds were evaluated. The Euclidean distance was calculated. The UPGMA grouping was performed using the distance matrix. The Mojena method was used to define access groups. All analyzes were carried out using the R program. There is genetic diversity among the cowpea accessions present in the collection of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, for proximate and nutritional characters. Accessions 98 stood out for calcium and iron content, 11 for zinc content, 26 for potassium content, 99 for manganese content, 128 for ash content, 44 for copper content and 69 for protein concentration and are recommended for studies aimed at biofortification in cowpea plant genetic improvement.

Keywords: Nutritional characters. Germplasm. Genetic variability. *Vigna unguiculata*.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi faz parte do cardápio de grande parte dos brasileiros, considerado um dos alimentos básicos mais consumido no território nacional, este fornece nutrientes importantes na dieta humana, como proteínas, ferro, zinco e vitaminas (PEREIRA et al., 2016). Contribui no combate às deficiências nutricionais devido ser uma ótima fonte de ferro (5,3–8,5 mg/100 g) (PEREIRA et al., 2016).

Dentre as leguminosas, *Vigna unguiculata* tem grande importância nutricional para as regiões Norte e Nordeste do Brasil (SINHA; KAWATRA, 2003). Seus grãos, além de serem muito consumidos no Brasil, notadamente no Nordeste brasileiro, na forma de grãos verdes-maduros também se constituem em uma forma de populações carentes, principalmente na África, Ásia, América do Sul e Central, poderem suprir suas necessidades de proteínas (PHILLIPS et al., 2003; CARVALHO et al., 2012).

Nutrientes como molibdênio (Mo), ferro (Fe) e zinco (Zn) exercem um papel fundamental na nutrição das culturas mas a deficiência destes micronutrientes é um importante fator que afeta o crescimento, rendimento e qualidade nutricional de feijão-caupi acarretando em distúrbios nutricionais em humanos (DHALIWAL et al., 2022).

Uma grande parcela da população não consegue se beneficiar dos programas governamentais de suplementação de ferro e zinco devido a problemas de distribuição em áreas ou regiões de difícil acesso (COSTA et al., 2006). Com isso, outra alternativa com vista a mitigar estas deficiências de micronutrientes, é a biofortificação do feijão-caupi, uma vez que através do melhoramento de novas cultivares com altos teores de ferro e zinco é possível combater à anemia ferropriva e o fortalecimento do sistema imunológico (ROCHA et al., 2008).

Um dos objetivos a curto prazo do melhoramento genético de feijão-caupi é aumentar ainda mais os teores de proteína, ferro, zinco e fibra alimentar digestível dos grãos, como a BRS-Xiquexique e BRS-Tumucumaque que já são ricas nestes nutrientes (FREIRE FILHO et al., 2011). A BRS Xiquexique (subclasse comercial branca) possui elevados teores de ferro (7,7 mg/100 g) e zinco (5,3 mg/100 g) que podem diminuir a deficiência desses micronutrientes para a população (THARANATHAN; MAHADEVAMMA, 2003).

Muitos autores relatam variações em características nutricionais em feijão-caupi. Gondwe et al. (2019) estudaram propriedades físicas e nutricionais de cinco variedades melhoradas de feijão-caupi e uma variedade local e foi observado que houve variações no

peso das sementes, teor de cinzas, fibra bruta, teor de carboidratos e teores de cálcio e de ferro. Freitas et al. (2022) avaliaram o potencial de 100 genótipos de feijão-caupi para biofortificação de ferro, zinco e proteína, e qualidade de cozimento e concluíram que grãos da linhagem MNC11-1023E-28 apresentam melhor perfil de qualidade nutricional e de cocção, apresentando potencial como um alimento para atender às demandas dos consumidores e reverter a deficiência de ferro, zinco e proteínas na população brasileira. Galvão et al. (2013) avaliaram o efeito residual da adubação potássica sobre a produtividade de grãos e teores de macronutrientes em cultivares de feijão-caupi e relataram que a cultivar BRS-Guariba foi o mais produtivo.

Dessa forma, o estudo da nutrição das sementes de feijão-caupi torna-se uma ferramenta de contribuir com o desenvolvimento de novas variedades que possam vir a diminuir as deficiências nutricionais em humanos. Com isso, objetivou-se caracterizar nutricionalmente acessos de feijão-caupi com base na composição centesimal e no teor de nutrientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Lagoinha, zona rural do município de Mossoró-RN, Brasil. O clima da região é do tipo BSh, caracterizado por ser seco e muito quente, com estação seca e chuvas de verão (ALVARES et al., 2013). A temperatura média da região é de 27,4 °C e a precipitação pluviométrica anual é em torno de 677 mm (BEZERRA et al., 2014). O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (RÊGO et al., 2016).

Durante o período do experimento, foram obtidos dados meteorológicos da Estação Meteorológica Automática instalada na Fazenda Experimental (Figura 1).

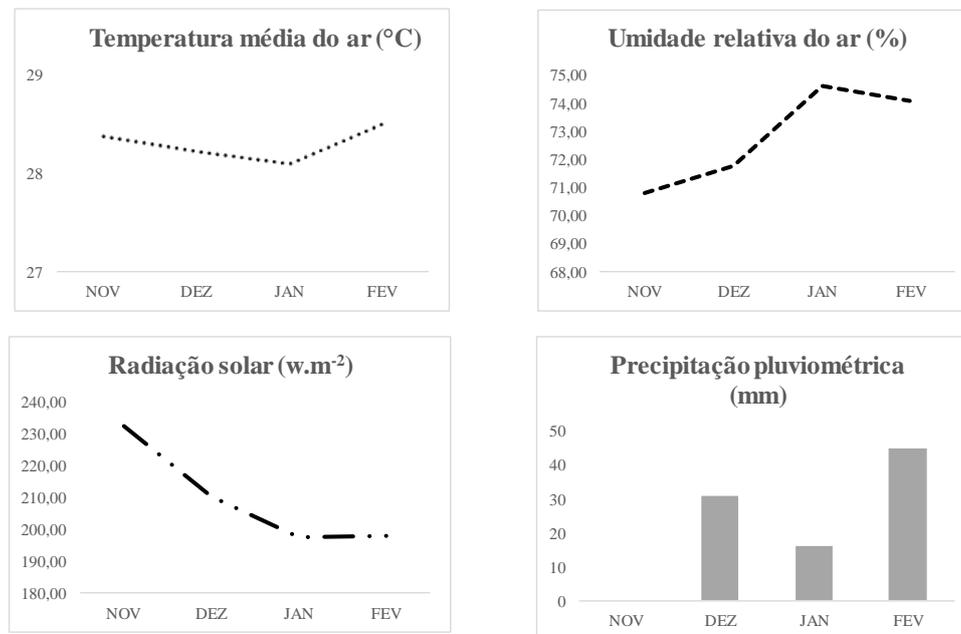


Figura 1. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluviométrica durante o experimento com feijão-caupi, Mossoró-RN.

2.1 Implantação e condução do experimento

O preparo do solo consistiu em aração e gradagem. Coletas de solos foram realizadas na profundidade de 0-20 cm, com o auxílio do trado retirando-as em forma de “Z”, formando uma amostra composta que foi homogeneizada e retirada uma amostra simples que foi devidamente identificada, acondicionada e encaminhada para realização das análises quanto às características químicas (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental.

Profundidade	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	Al ³⁺
m	H ₂ O	-----mg/dm ³ -----			-----cmolc/dm ³ -----		
0-0,20	6,5	3,7	41,5	11,1	1,5	1,00	0,0

2.2 Germoplasma utilizado

Foram utilizados 92 acessos de feijão-caupi pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da UFERSA (Tabela 2).

Tabela 2. Acessos de feijão-caupi pertencentes a coleção de germoplasma da UFERSA.

Nº	ORIGEM	Nº	ORIGEM	Nº	ORIGEM	Nº	ORIGEM
6	Felipe Guerra	41	Currais Novos	68	Currais Novos	98	Japi
7	Upanema	42	Itaú	69	Macaíba	99	São José do Campestre
8	Umarizal	43	São Tomé	71	José da Penha	104	Angicos
11	Alexandria	44	Carnaubais	72	Tenente Laurentino Cruz	105	Tenente Laurentino Cruz
12	José da Penha	45	Lagoa de Pedras	73	Currais Novos	106	Campo Grande
16	Umarizal	46	Itaú	74	Lagoa de Pedras	107	Macaíba
17	Itaú	47	Lagoa Salgada	75	José da Penha	111	Tenente Ananias
18	Campo Grande	48	José da Penha	76	Baraúna	112	Currais Novos
19	Baraúna	49	Campo Grande	77	Itaú	114	São Bento do Trairi
20	Macaíba	50	Baraúna	78	Luís Gomes	115	Nova Cruz
21	OD*	51	Currais Novos	79	Itaú	116	Carnaúba dos Dantas
26	Carnaubais	52	Macaíba	80	Baraúna	119	Santana do Matos
27	São Tomé	53	Currais Novos	81	Lagoa de Pedras	120	São Paulo do Potengi
29	Japi	54	José da Penha	82	Umarizal	121	Bodó
30	Luís Gomes	55	São Tomé	83	Campo Grande	122	Apodi
33	Baraúna	57	Currais Novos	85	Jaçanã	123	Lagoa Salgada
34	Macaíba	60	Macaíba	88	Carnaubais	124	Serrinha
35	Macaíba	61	Macaíba	89	Umarizal	125	Pedro Velho
36	Macaíba	62	Tenente Laurentino Cruz	90	Campo Grande	126	Ceará-Mirim
37	Macaíba	63	Upanema	92	Lagoa de Pedras	127	BRS-Marataoã ¹
38	Currais Novos Lagoa de	64	BRS-Tumucumaque ¹	95	Tenente Laurentino Cruz	128	Pedra Preta
39	Pedras	65	BRS-Xiquexique ¹	96	Umarizal	129	Lagoa D'Anta
40	Ceará-Mirim	66	BRS-Aracê ¹	97	Carnaubais	130	Alexandria

*OD: Origem desconhecida.

¹Cultivares comerciais.

Na semeadura foi realizada adubação de cobertura conforme recomendação de adubação para o feijão-caupi irrigado (IPA, 2008) e com base na análise de fertilidade do

solo. Foi semeado quatro sementes por cova. Após quinze dias da emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por cova. O espaçamento entre fileiras e entre plantas na fileira foi de 0,75 e 0,50 m, respectivamente, com duas plantas por cova, totalizando 150 plantas na área útil de cada parcela experimental.

Foi utilizada irrigação por aspersão com base na ETc da cultura (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR; NOGUEIRA, 2017). Os tratos culturais e o controle fitossanitário foram realizados de acordo com as recomendações técnicas e necessidades durante a condução do experimento. A colheita foi realizada quando 80% das vagens estavam secas (OLIVEIRA et al., 2019).

Para a realização da caracterização nutricional dos acessos de feijão-caupi, os grãos foram acondicionados em estufa a 65 °C por 72 horas. Após esse procedimento, os grãos foram triturados, com a finalidade de obtenção de uma farinha a ser utilizada para as análises. A farinha foi acondicionada em saco de papel *kraft* sendo concomitantemente utilizadas nas análises. Foram realizadas as seguintes análises:

a) Umidade

Foram pesados os recipientes e suas tampas, depois os recipientes foram pesados novamente contendo as amostras de sementes, junto com as respectivas tampas. Foram colocados em estufa a 105 °C, sobre as respectivas tampas. As amostras foram mantidas em estufas durante 24 horas. Após o período de secagem, as amostras foram retiradas da estufa, tampados os recipientes rapidamente e colocados em dessecador até esfriar e, posteriormente, foram pesados (BRASIL, 2009).

b) Cinzas

O teor de cinzas foi determinado por incineração a 550 °C em mufla elétrica com controle de temperatura e com uso de cadinho de porcelana. Foram pesados os cadinhos e após pesou-se 0,5 gramas da amostra nos respectivos cadinhos. Os cadinhos foram colocados na mufla e aumentou-se a temperatura gradativamente até chegar aos 500 °C. Passados 3 horas, as amostras foram colocadas em dessecador e após foram pesadas as cinzas (SILVA et al., 2009).

c) Proteínas

A concentração de proteínas foi obtida com base na determinação do nitrogênio orgânico. Foi utilizado um destilador de nitrogênio, seguindo o método de Kjeldahl, segundo AOAC (2005) com algumas modificações. Com a utilização do fator de conversão 6,25. Foram pesados 0,4 gramas da amostra e em seguida foi transferida para tubo de digestão. Em seguida foi adicionado 4 mL de ácido sulfúrico, 2 mL de peróxido de hidrogênio e 1 g da mistura catalítica (sendo 96,5% de sulfato de potássio e 3,5% de sulfato de cobre) e prosseguiu-se com a etapa de digestão sendo levada para aquecimento em bloco digestor, até a solução se tornar azul-esverdeada, livre de material não digerido (pontos pretos).

Na etapa de destilação, o material do tubo de digestão foi filtrado em papel filtro e usados 10 mL da solução e adicionou-se 5 mL de solução saturada de hidróxido de sódio. Após foi acoplado ao conjunto de destilação. Após a ebulição toda a amônia da amostra foi transportada por arraste a vapor para um erlenmeyer contendo 5 mL de solução de ácido bórico para fixar o nitrogênio da amostra. Na etapa da titulação, o nitrogênio total da amostra foi quantificado por meio de titulação com uma solução de ácido sulfúrico. O ponto de viragem indicará o fim da reação que se caracteriza pela mudança da cor azul para a amarela.

d) Nutrientes

Para análise de P, K e Cu foi feito digestão seca e para análise de Ca, Mg, Fe, Zn e Mn foi feito a digestão úmida. Na digestão úmida, foram pesados 0,4 gramas da amostra por uma balança eletrônica de precisão e colocados em tubos digestores de 80 mL. Em seguida, foram adicionados 4 mL de ácido sulfúrico, 2 mL de peróxido de hidrogênio e 1 g da mistura catalítica (sendo 96,5% de sulfato de potássio e 3,5% de sulfato de cobre) e prosseguiu-se com a etapa de digestão sendo levada para aquecimento em bloco digestor, dentro de uma capela de exaustão de gases, que será aquecido lentamente até 350 °C. Os tubos ficaram 2 horas no bloco digestor até a solução se tornar incolor, livre de material não digerido (pontos pretos). Após isso os tubos foram retirados para esfriar. Depois foi completado o volume até 50 mL com H₂O. A solução foi filtrada em um papel filtro e despejado em um recipiente coletor de 50mL e então foi feita a leitura pelo espectrometro com plasma de absorção atômica.

A digestão seca foi determinada através de incineração a 550 °C em mufla elétrica com controle de temperatura e com uso de cadinho de porcelana. Foram pesados os cadinhos e após pesou-se 0,5 gramas da amostra nos respectivos cadinhos. Os cadinhos foram colocados na mufla e aumentou-se a temperatura gradativamente até chegar aos 500 °C. Passados 3 horas, as amostras foram colocadas em dessecador e após foi completado seu volume até 25 ml com ácido nítrico. A solução foi filtrada em um papel filtro e despejado em um recipiente coletor de 25 mL e então foram feitas as leituras. A leitura de cobre foi realizada em espectrometro com plasma de absorção atômica, a leitura do potássio foi realizada em fotometria de chamas e a leitura de fósforo foi realizada por meio de espectrofotômetro UV/VISÍVEL (SILVA et al., 2009).

Foi realizada uma análise descritiva das amplitudes observadas para os descritores utilizados. Foi calculada a distância euclidiana e a partir das matrizes de dissimilaridade, agrupou-se hierarquicamente os acessos pelo método de distância por média aritmética denominado em inglês de UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). Estimou-se a correlação cofenética entre a matriz original de distâncias e a matriz final de agrupamento. Utilizou-se o método de Mojena para definição dos grupos de acessos. Todas as análises foram realizadas pelo programa R (R CORE TEAM, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os 92 acessos (88 acessos e quatro cultivares comerciais) caracterizados, observou variação entre os teores de nutrientes das sementes possibilitando selecionar parentais promissores para realização de cruzamentos.

Observou-se as seguintes amplitudes para os teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}): nitrogênio variou de 23,58 a 60,99 com média de 41,03; fósforo variou de 0,30 a 1,03 com média de 0,48; potássio variou de 9,56 a 19,45 com média de 14,28; cálcio variou de 0,01 a 0,27 com média 0,72; magnésio variou de 0,52 a 1,14 com média de 0,72; zinco variou de 34,33 a 110,93 com média de 55,67; manganês variou de 12,47 a 39,02 com média de 23,07; ferro variou de 26,89 a 299,55 com média de 107,0; cobre variou de 3,48 a 27,87 com média de 8,06 (Tabela 3).

O teor de ferro foi a variável que mais apresentou diferenças, com um desvio padrão de 60,25 seguido do teor de zinco, com um desvio padrão de 15,66 indicando que essas variáveis caracterizaram melhor os acessos, sendo importantes para separar os acessos em grupos (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de macro e micronutrientes de acessos de feijão-caupi.

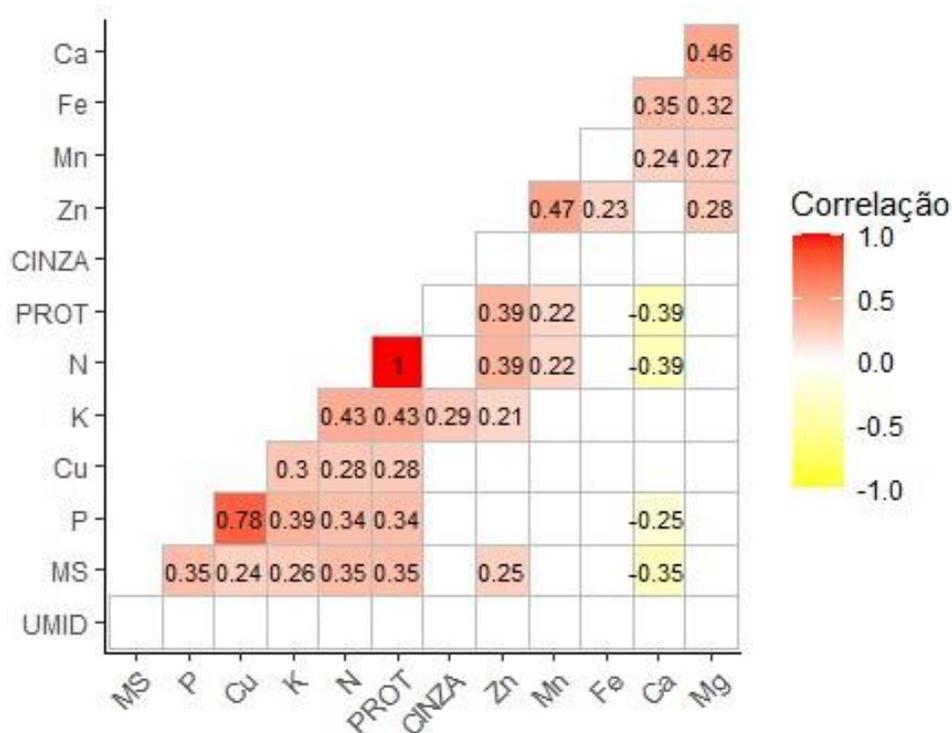
Minerais	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mg	Fe	Cu
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----			
Média	41,03	0,48	14,28	0,11	0,72	55,67	23,07	107,0	8,06
Mínimo	23,58	0,3	9,56	0,01	0,52	34,33	12,47	26,89	3,48
Máximo	60,99	1,03	19,45	0,27	1,14	110,93	39,02	299,55	27,87
Desvio-padrão	6,9	0,15	2,1	0,07	0,1	15,66	3,98	60,25	4,63

Já os teores de umidade, cinzas, proteínas e matéria seca variaram de 10,11 a 13,85%, 2,38 a 4,94%, 14,74 a 38,12%, 0,94 a 0,98 g kg^{-1} , respectivamente. Enquanto que as médias obtidas para o teor de proteínas, cinzas, umidade e matéria seca foram 12,31%; 3,71%; 25,64%; 0,96 g kg^{-1} , respectivamente. O teor de proteínas foi a variável que mais apresentou variabilidade, com um desvio padrão de 4,3 e, com isso, elevadas diferenças entre os acessos estudados (Tabela 4).

Tabela 4. Valores da composição centesimal de acessos de feijão-caupi.

Minerais	Umidade	Cinzas	Proteínas	MS
	%			g kg ⁻¹
Média	12,31	3,71	25,64	0,96
Mínimo	10,11	2,38	14,74	0,94
Máximo	13,85	4,94	38,12	0,98
Desvio-padrão	0,8	0,55	4,31	0,01

As estimativas significativas do coeficiente de correlação variaram de -0,25 a 1,0 (Figura 2). As maiores estimativas significativas e positivas foram observadas entre nitrogênio (N) e proteína (PRO) (1,0; $p < 0,01$), uma vez que para o cálculo de proteínas usa-se os valores de nitrogênio, e entre cobre (Cu) e fósforo (P) (0,78; $p < 0,05$). As demais estimativas positivas foram reduzidas. Cálcio (Ca) se correlacionou negativamente com PRO, N, P e matéria seca (MS), embora os valores tenham sido reduzidos.

**Figura 2.** Correlações entre caracteres centesimais e nutricionais avaliados em acessos de feijão-caupi. Matéria seca (MS), fósforo (P), cobre (Cu), potássio (K), nitrogênio (N), proteína (PROT), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (ferro), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e umidade (UMID).

O agrupamento UPGMA pode ser considerado satisfatório uma vez que a correlação cofenética foi 0,71 ($p < 0,05$), sendo observados 12 grupos de acessos (Figura 3). Embora

tenha havido a formação de 12 grupos, a maior parte deles é constituída por poucos acessos. Cinco grupos foram constituídos por apenas um acesso, dois grupos com dois acessos e um grupo com três acessos, totalizando apenas dez acessos em oito grupos. Os maiores grupos foram compostos por 46 e 23 acessos, totalizando em apenas dois grupos quase 80% dos acessos avaliados. Este fato evidencia pouca variabilidade entre os acessos avaliados.

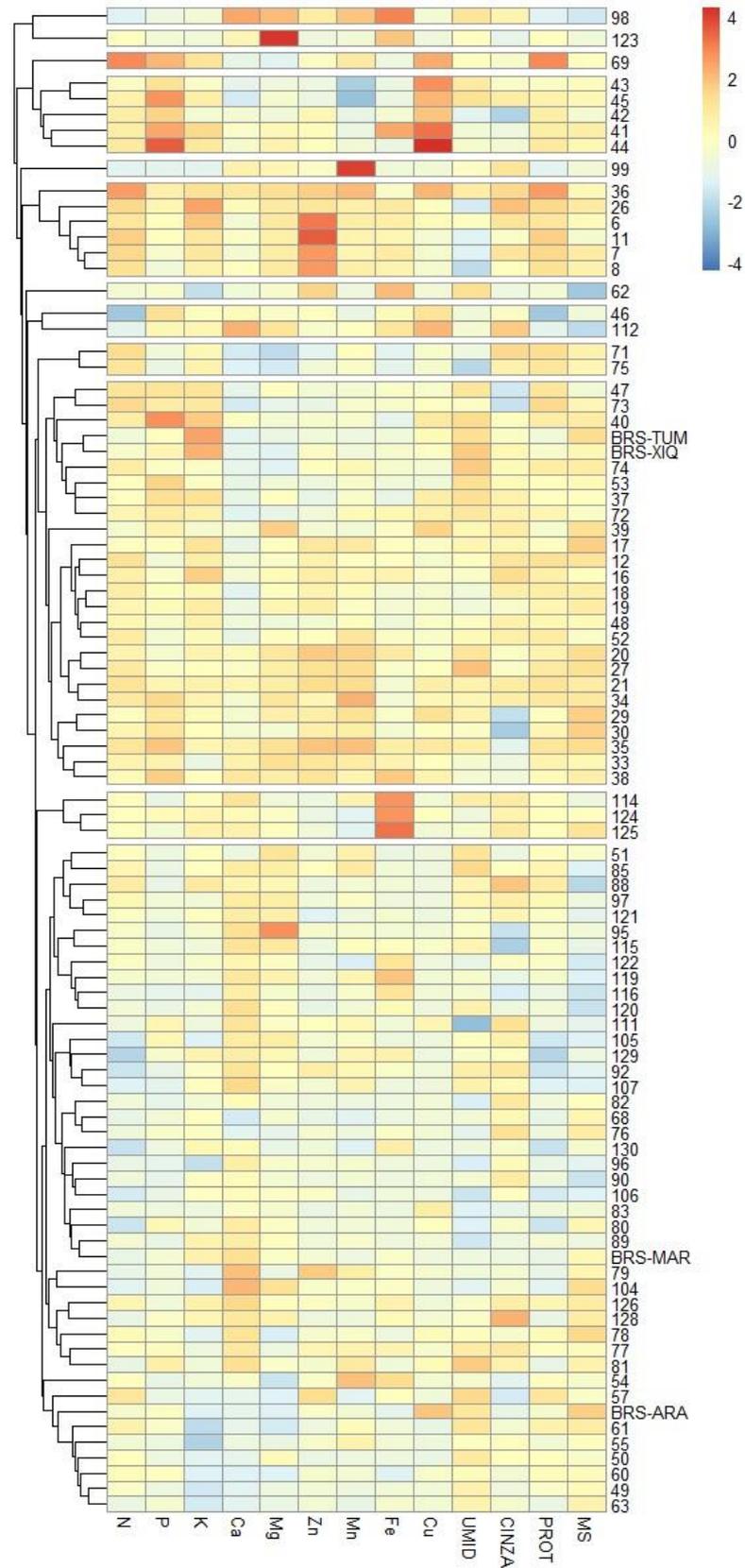


Figura 3. Dendrograma de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida em caracteres centesimais e nutricionais. Correlação cofenética = 0,71 ($p < 0,05$). Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (ferro), cobre (Cu), umidade (UMID), proteína (PROT) e matéria seca (MS).

O grupo I reuniu o acesso 98 que se destacou no teor de ferro e cálcio. O teor de ferro foi (284,38 mg kg⁻¹), apresentando 4 vezes maior que a BRS Tumucumaque, 3 vezes maior que a cultivar BRS Xiquexique e BRS Marataoã e 8 vezes maior do que a cultivar BRS Aracê (Tabela 5).

Gonçalves et al. (2020) avaliaram 18 genótipos de feijão-caupi e encontraram valores de ferro variando de 58,50 a 69,0 mg kg⁻¹, valores estes inferiores ao obtido no presente trabalho. Martins et al. (2023) avaliaram 24 cultivares e encontraram teores de ferro que variaram de 71,2 a 86,0 mg kg⁻¹ e média geral de 77,5 mg kg⁻¹, valores estes dentro do encontrado no presente trabalho, mas média inferior em relação à média obtida no presente trabalho (107,0 mg kg⁻¹).

Dias-Barbosa et al. (2021) avaliaram um grupo de 33 genótipos de feijão-caupi e encontraram variação de 47,0 a 79,6 mg kg⁻¹ e média geral de 60,5 mg kg⁻¹, valores inferiores ao encontrado no presente trabalho, uma vez que foram obtidos variação de 26,89 a 299,55 mg kg⁻¹ e média geral de 107,0 mg kg⁻¹.

Oliveira et al. (2023) encontraram teores de ferro para BRS Aracê de 65,8±0.04 mg kg⁻¹ e BRS Xique-Xique de 63,0±0.04 mg kg⁻¹, valores estes inferiores aos encontrados no presente trabalho para acessos como o acesso 125 (299,55 mg kg⁻¹), acesso 98 (284,38 mg kg⁻¹) e acesso 114 (271,74 mg kg⁻¹). Teores de ferro, zinco e proteínas devem apresentar variabilidade genética para que seja possível a seleção de genótipos superiores e biofortificados de grãos de feijão-caupi (MARTINS et al., 2023).

O teor médio de Ca nesse grupo foi de 0,27 g kg⁻¹ para o acesso 98 (Tabela 5). Gonçalves et al. (2020) encontraram valores de cálcio semelhantes aos encontrados no presente trabalho, variando de 0,30 a 0,50 g kg⁻¹. Pessoa et al. (2023) acharam teores de cálcio superiores aos observados no presente estudo, variando de 0,35 a 0,87 g kg⁻¹.

O grupo II agrupou o acesso 123 que se destacou no teor de magnésio (1,14 g kg⁻¹), no entanto obteve os menores teores de cobre e cinzas. O teor médio de Mg nesse grupo corresponde a 64% maior que os níveis de Mg encontrado nas cultivares BRS-Tumucumaque, BRS-Xiquexique, BRS-Aracê e BRS-Marataoã, as quais estão agrupadas nos grupos X e XII com médias de 0,73 g kg⁻¹ e 0,70 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 5). O acesso 123 se destacou com o maior teor de magnésio (1,14 g kg⁻¹) em relação aos demais acessos estudados e menor teores de cobre e cinzas.

No entanto esses menores valores de Cu e cinzas estão de acordo com os trabalhos encontrados na literatura. Gonçalves et al. (2020) encontraram valores de cobre variando de 4,25 a 5,75 mg kg⁻¹ e Pessoa et al. (2023) acharam variação de 4,33 a 8,33 mg kg⁻¹.

Pessoa et al. (2023) avaliaram 43 genótipos de feijão-caupi e acharam teores de Mg superiores ao do presente trabalho, variando de 1,56 a 2,23 g kg⁻¹ e para os teores de ferro encontraram teores dentro do encontrado no presente trabalho variando de 36,33 a 113,33 mg kg⁻¹.

O grupo III reuniu o acesso 69 que se destacou no teor de proteínas. O teor médio de proteínas foi de 38,12%. Oliveira et al. (2023) encontraram valores de proteínas (%) inferiores aos encontrados na presente pesquisa, variando de 25,72 ± 0,18 (Tabela 5). Gonçalves et al. (2020) também encontraram valores inferiores de proteínas totais variando de 21,37 a 29,20%. Pessoa et al. (2023) acharam teores de proteínas semelhantes aos encontrados na presente pesquisa variando de 17,14 a 33,88 g100g⁻¹.

Teores de proteínas superiores a 20%, conforme encontrado no presente estudo, são considerados elevados para leguminosas (ÇAKIR et al., 2019). Cultivares de feijão-caupi com teores de zinco superiores a 40 mg kg⁻¹ (4,0 mg 100g⁻¹) são consideradas biofortificadas (FREIRE FILHO et al., 2011). Acessos com menores teores de umidade apresentam maior estabilidade, qualidade e composição, pois são menos sensíveis a deterioração, quando comparado às outras cultivares (OLIVEIRA et al., 2015).

O grupo IV agrupou acessos que se destacaram no teor de fósforo e cobre. O teor médio de P nesse grupo foi de 0,83 g kg⁻¹, destacando-se o acesso 44 (1,03 g kg⁻¹). Para o teor de cobre observou-se média de 21,25 mg kg⁻¹ com destaque também para o acesso 44 (27,87 mg kg⁻¹).

Embora o acesso 44 tenha se destacado no teor de fósforo, o valor ainda é muito abaixo da média quando comparado aos valores encontrados por autores como Gonçalves et al. (2020) e Pessoa et al. (2023), enquanto que os valores de cobre encontrados no presente trabalho foram muito superiores aos encontrados nas pesquisas em questão. Gonçalves et al. (2020) encontraram menor teor de fósforo de 4,43 g kg⁻¹ na cultivar BRS Acauã e valores de cobre variando de 4,25 a 5,75 mg kg⁻¹. Pessoa et al. (2023) encontraram teores de fósforo variando de 3,43 a 4,87 g kg⁻¹ e teores de Cu variando de 4,33 a 8,33 mg kg⁻¹. No presente trabalho os valores de cobre variaram de 3,48 a 27,87 mg kg⁻¹, mostrando uma ampla variabilidade para os acessos do presente trabalho.

Grãos de feijão-caupi e partes aéreas possuem níveis elevados de minerais como cálcio, potássio, ferro e zinco quando imaturos (verdes) ou maduros (crus ou cozidos), no entanto quando há escassez de fósforo no solo reduz a produtividade do feijão-caupi (BURRIDGE et al., 2016). O ambiente faz com que as quantidades de fósforo, potássio e manganês nos grãos variem muito (ADEBOOYE; SINGH, 2007).

O grupo V foi formada pelo acesso 99 que apresentou os melhores teores médios de manganês ($39,02 \text{ mg kg}^{-1}$) e cinzas (4,33%), mas apresentou os piores teores de fósforo ($0,3 \text{ g kg}^{-1}$) nos grãos (Tabela 5).

Gonçalves et al. (2020) acharam teores de manganês variando de $8,25 \text{ mg kg}^{-1}$ a $16,00$, ou seja, abaixo da média do encontrado no presente trabalho. Pessoa et al. (2023) encontraram valores variando de $8,33$ a $19,33 \text{ mg kg}^{-1}$ para Mn e valores de cinzas variando de $1,83$ a $4,36 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, sendo os valores de Mn abaixo do encontrado no presente trabalho ($12,47$ a $39,02 \text{ mg kg}^{-1}$) e valores de cinzas dentro dos valores apresentados no presente trabalho ($2,38$ a $4,94\%$). Oliveira et al. (2023) avaliaram cultivares de feijão-caupi BRS Aracê, BRS Inhumá e BRS Xiquexique e encontraram valores de cinzas entre $3,84\pm 0,04$ para BRS Aracê, $3,70\pm 0,07$ para BRS Inhumá e $3,87\pm 0,10$ para BRS Xique-Xique. Quanto maior o teor de cinzas maior é a quantidade de resíduo inorgânico, que é constituída principalmente de minerais (OLIVEIRA et al., 2015).

O grupo VI agrupou seis acessos que apresentaram maior teor de zinco e potássio. O teor médio de potássio nesse grupo foi de $17,07 \text{ g kg}^{-1}$ com destaque para o acesso 26 que apresentou $19,3 \text{ g kg}^{-1}$. O teor médio de zinco foi de $93,74 \text{ mg kg}^{-1}$ com destaque para o acesso 11 que apresentou $110,93 \text{ mg kg}^{-1}$. Pessoa et al. (2023) encontraram valores de K e Zn inferiores aos encontrados no presente trabalho, em que K variou de $10,68$ a $14,84 \text{ g kg}^{-1}$ e Zn variou de $33,33$ a $56,33 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 5).

O grupo VII reuniu o acesso 62 que obteve maiores teores médios de umidade ($13,35\%$) e menores teores de potássio ($10,19 \text{ g kg}^{-1}$), manganês ($20,16 \text{ mg kg}^{-1}$) e matéria seca ($0,94 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 5). Com relação a maior porcentagem de umidade e menor teor de matéria seca obtidas por este acesso indica qualidade inferior quando comparado a cultivar BRS Marataoã que apresentou $11,69\%$ de umidade e $0,968 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca.

O grupo VIII agrupou os acessos 46 e 112 e se mostrou com os menores teores de proteínas. O grupo IX apresentou os piores teores de cálcio, magnésio, zinco e ferro, mas por outro lado apresentou o menor teor de umidade (Tabela 5). A média para a porcentagem de

umidade neste grupo foi de 11,18% e alguns acessos se destacaram por apresentarem menores valores para esta variável, como os acessos 111 (10,11%), 75 (10,67%), 08 (10,72%), 106 (10,90%) e 89 (10,99%). Oliveira et al. (2023) encontraram umidade (%) variando de $9,48\pm 0,10$ para BRS Aracê, $8,60\pm 0,27$ para BRS Inhumã e $9,94\pm 0,52$ para BRS Xiquexique, sendo estes valores menores do que as obtidas no presente trabalho.

Os grupos X, XI e XII não se destacaram em nenhuma variável quando comparados aos demais. Os grupos das cultivares comerciais (X e XII) não se destacaram em nenhuma das variáveis estudadas quando comparado aos outros grupos. As cultivares comerciais foram agrupadas com 76% dos acessos estudados (Figura 3).

Identificar genótipos com teores altos ou baixos de minerais nos grãos pode servir em estudos comparativos para decifrar os mecanismos genéticos e fisiológicos subjacentes que regulam o transporte mineral para o desenvolvimento dos grãos, bem como para avaliar se o aumento de um mineral influencia a concentração de qualquer outro (WANG et al., 2003).

Tabela 5. Médias em grupos de acessos de feijão-caupi formados a partir do método UPGMA.

Grupo	n*	N g kg ⁻¹	P g kg ⁻¹	K g kg ⁻¹	Ca g kg ⁻¹	Mg g kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	Fe mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	UMID %	CINZA %	PRO %	MS g kg ⁻¹
I	1	32,03	0,35	13,17	0,27	0,93	67,94	30,33	284,38	6,08	13,22	3,96	20,02	0,948
II	1	41,35	0,39	13,02	0,14	1,14	44,41	20,97	219,16	4,86	12,35	3,10	25,84	0,958
III	1	60,99	0,80	16,63	0,05	0,60	53,98	26,49	58,38	18,70	12,32	3,53	38,12	0,964
IV	5	44,77	0,83	15,31	0,06	0,70	51,62	17,15	97,08	21,25	12,31	3,38	27,98	0,970
V	1	32,20	0,30	11,92	0,15	0,76	52,89	39,02	66,94	5,35	12,21	4,33	20,13	0,959
VI	6	51,96	0,49	17,07	0,11	0,81	93,74	26,32	137,33	8,89	11,59	4,22	32,48	0,970
VII	1	37,76	0,43	10,19	0,07	0,69	80,96	20,16	227,93	5,30	13,35	3,26	23,60	0,940
VIII	2	28,20	0,60	14,58	0,19	0,77	52,88	21,25	142,74	15,47	11,89	4,17	17,62	0,950
IX	2	49,50	0,36	15,06	0,02	0,54	41,44	22,79	35,46	6,45	11,18	4,29	30,94	0,970
X	26	44,47	0,57	15,59	0,08	0,73	60,27	24,75	98,69	8,75	12,74	3,66	27,79	0,970
XI	3	41,37	0,41	15,06	0,16	0,70	43,13	20,39	280,40	6,21	12,24	4,11	25,86	0,970
XII	43	37,19	0,39	13,01	0,14	0,70	49,20	22,07	91,02	5,86	12,18	3,65	23,24	0,960

* Número de acessos no grupo. N: Nitrogênio; P: Fósforo, K: Potássio; Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, Zn: Zinco, Mn: Manganês, Fe: Ferro; Cu: Cobre; UMID: Umidade; CINZA: Cinza; PRO: Proteína; MS: Matéria seca

Observou-se que dos 12 grupos formados, os grupos III, IV, I, VII, II, XI, VIII, IX, V e VI se destacaram em relação aos grupos que as cultivares comerciais pertencem (X e XII), pois apresentaram características que se sobressaíram em relação a estes grupos, como teor de cobre (III e IV), teor de cálcio e ferro (I), teor de zinco e ferro (VII), teor de magnésio e ferro (II), teor de ferro (XI), teor de cálcio e cobre (VIII), teor de manganês (V) e teor de zinco (VI). No entanto, apenas o grupo IX apresentou-se menos promissor em relação ao grupo das cultivares comerciais por ter obtido menores teores de cálcio e ferro nas sementes (Figura 4).

Com relação aos grupos que não se destacaram em alguma característica, observou-se que o grupo II obteve menor teor de cobre, o grupo IV reuniu o menor no teor de manganês, o grupo VII obteve menor teor de potássio, o grupo VIII reuniu o menor teor de proteínas e o grupo IX agrupou acessos com os menores teores de cálcio, magnésio, zinco, ferro e umidade.

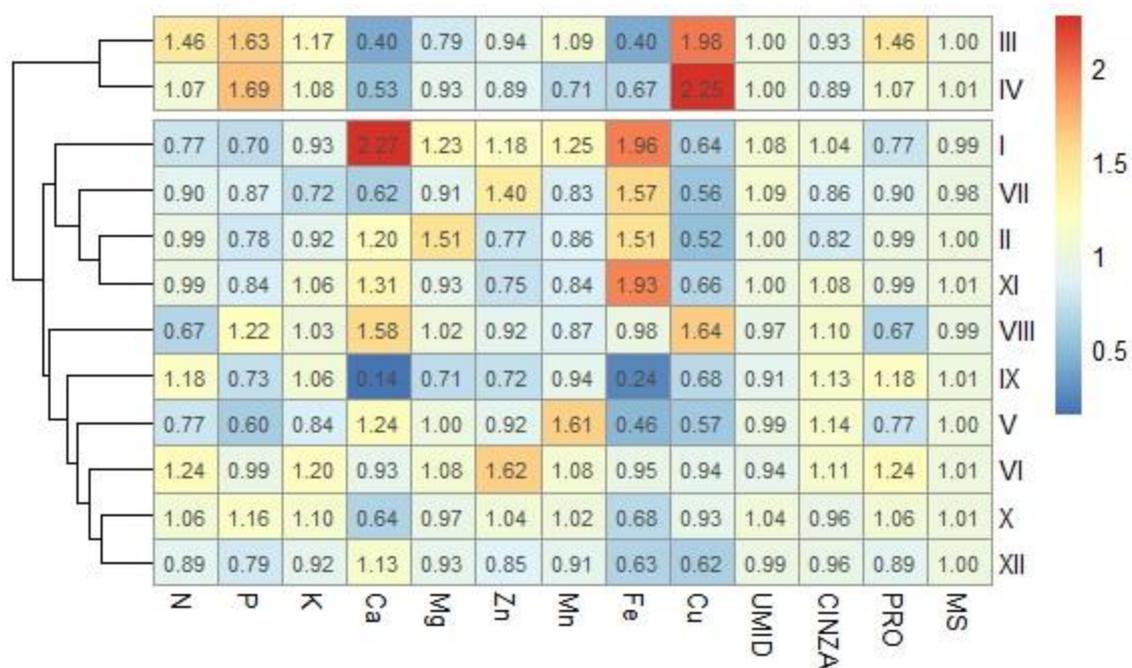


Figura 4. Dendrograma de grupos de acessos de feijão-caupi obtido por UPGMA a partir da matriz de distâncias euclidianas obtida de dez caracteres centesimais e nutricionais. Correlação cofenética = 0,71 ($p < 0,05$). Valores nos retângulos referem-se a razão entre a média do grupo e a média geral dos grupos. Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (ferro), cobre (Cu), umidade (UMID), proteína (PRO) e matéria seca (MS).

Com isso, observa-se que os grupos formados possuem grande importância, uma vez que fornecem informações sobre teores de nutrientes variados em seus grãos, com destaque para cálcio, magnésio, zinco, manganês, ferro e cobre (Figura 4).

4. CONCLUSÕES

Há diversidade genética entre os acessos de feijão-caupi presentes na coleção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para caracteres centesimal e nutricional.

Destacaram-se os acessos 98 para o teor de cálcio e ferro, 11 para o teor de zinco, 26 para o teor de potássio, 99 para o teor de manganês, 128 para o teor de cinzas, 44 para o teor de cobre e 69 para concentração de proteínas sendo recomendados para estudos com vista à biofortificação no melhoramento genético vegetal de feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

- ADEBOOYE, O. C.; SINGH, V. (2007). Effect of cooking on the profile of phenolics, tannins, phytate, amino acid, fatty acid and mineral nutrients of whole-grain and decorticated vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Food Quality*, v.30, n.6, p.1101-1120. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00155.x>.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 18^a ed., Gaithersburg: Published by AOAC International. Washington DC, 2005.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOGUEIRA, C. C. P. (2017). Cultivo de feijão-caupi. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, Brazil**. Disponível em: https://www.spo.cnpqia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=imprimirspportl. Acesso em: 14/09/2022.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. D. A.; SILVA, Ê. F. F. E.; LOPES, P. M. O., SILVA, B. B. (2014). Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, Brasil). *Revista Caatinga*, v.27, n.3, p.211-220. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237132104024>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009.
- BURRIDGE, J.; JOCHUA, C. N.; BUCKSCH, A.; LYNCH, J. P. (2016). Legume shovelomics: high-throughput phenotyping of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* subsp, *unguiculata*) root architecture in the field. *Field Crops Research*, v.192, p.21-32. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.008>.

ÇAKIR, Ö.; UCARLI, C.; TARHAN, Ç.; PEKMEZ, M.; TURGUT-KARA, N. (2019). Nutritional and health benefits of legumes and their distinctive genomic properties. *Food Science and Technology*, v.39, n.1, p.1-12. <https://doi.org/10.1590/fst.42117>.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M. DE; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B. DA; SILVA, R. M. P. DA; VIANA, M. P., ... FREIRE FILHO, F. R. (2012). Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidant capacity and vitamins. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.26, n.1-2, p.81-88. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.01.005>.

COSTA, G. E. DE A.; QUEIROZ-MONICI, K. DA S.; REIS, S. M. P. M.; OLIVEIRA, A. C. DE. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, v.94, n.3, p.327-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>.

DHALIWAL, S. S.; SHARMA, V.; SHUKLA, A. K.; KAUR, J.; VERMA, V.; KAUR, M., ... HOSSAIN, A. (2022). Interactive effects of molybdenum, zinc and iron on the grain yield, quality, and nodulation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in North-Western India. *Molecules*, v.27, n.11, p.3622. <https://doi.org/10.3390/molecules27113622>.

DIAS-BARBOSA, C. Z.; OLIVEIRA, D. S. V DE; OLIVEIRA, K. J. D. DE; ARAÚJO, R. S. DOS R. M.; ROCHA, M. DE M. (2021). Selection of cowpea elite lines for iron and zinc biofortification. *Current Nutrition & Food Science*, v.17, n.1, p.48-58. <https://doi.org/10.2174/1573401316999200503031253>.

FREITAS, T. K. T.; GOMES, F. DE O.; ARAÚJO, M. DOS S.; SILVA, I. C. V.; SILVA, D. J. S.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. DE M. (2022). Potential of cowpea genotypes for nutrient biofortification and cooking quality. *Revista Ciência Agronômica*, v.53, e20218048. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220040>.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. DE M.; SILVA, K. J. D E; NOGUEIRA, M. DO S. DA R.; RODRIGUES, E. V. (2011). **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Embrapa Meio-Norte. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84470/1/feijao-caupi.pdf>. Acesso em 10/01/2024.

GALVÃO, J. R.; FERNANDES, A. R.; MELO, N. C.; SILVA, V. F. A.; ALBUQUERQUE, M. P. F. DE. (2013). Sistemas de manejo e efeito residual do potássio na produtividade e nutrição do feijão-caupi. *Revista Caatinga*, v.26, n.2, p.41-49. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237128133005>.

GONÇALVES, F. V.; MEDICI, L. O.; FONSECA, M. P. S. DA; PIMENTEL, C.; GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A. (2020). Protein, phytate and minerals in grains of commercial cowpea genotypes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.92, n.1, e20180484. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180484>.

GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. (2019). Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) for food security: An evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. *Scientific reports*, v.9, n.1, p.15991. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52360-w>.

IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. (2008). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2ª aproximação, 2. ed. rev., IPA, p. 198.

MARTINS, M. DO P. S. C.; LOPES, A. F. DE S.; JEAN, A.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MARTINS, M. DO. C. DE. C. E.; ROCHA, M. DE M. (2023). Characterization of cowpea cultivars for grain size, color, and biofortification. *Revista Caatinga*, v.36, n.1, p.207-214. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n122rc>.

OLIVEIRA, A. M. C. DE; JEAN, A.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. DOS R.; FRANCO, L. J. D.; ROCHA, M. DE M. (2023). Proximate composition, minerals, tannins, phytates and cooking quality of commercial cowpea cultivars. *Revista Caatinga*, v.36, n.3, p.702-710. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252023v36n322rc>.

OLIVEIRA, I. J., FONTES, J., DIAS, M., BARRETO, J. (2019). Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no Estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (infoteca-e)**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108059#:~:text=http%3A//www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1108059>. Acesso em: 17/10/2022.

OLIVEIRA, R. L.; QUARESMA, C. C. F.; DE CASTRO, H. G. C.; LIMA, J. M. P. (2015). Determinação de umidade, cinzas e fósforo em quatro variedades de feijão-caupi. **Química:**

Ciência, Tecnologia e Sociedade, v.3, n.1, p.24-32. <https://doi.org/10.5151/chenpro-5erq-qan6>.

PEREIRA, E. J.; CARVALHO, L. M. J.; DELLAMORA-ORTIZ, G. M.; CARDOSO, F. S. N.; CARVALHO, J. L. V. (2016). Effect of different home-cooking methods on the bioaccessibility of zinc and iron in conventionally bred cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) consumed in Brazil. *Food & Nutrition Research*, v.60, n.1, p.29082. <https://doi.org/10.3402/fnr.v60.29082>.

PESSOA, A. M. DOS S.; BERTINI, C. H. C. DE M.; SILVA, A. B. M. DA; TANIGUCHI, C. A. K. (2023). Selection in cowpea genotypes for nutritional traits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.27, n. 6, p.496-502. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n6p496-502>.

PHILLIPS, R. D.; MCWATTERS, K. H.; CHINNAN, M. S., HUNG, Y. C.; BEUCHAT, L. R.; SEFA-DEDEH, S.; ... & SAALIA, F. K. (2003). Utilization of cowpeas for human food. *Field Crops Research*, v.82, n.2-3, p.193-213. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00038-8).

RÊGO, L. G. DA S.; MARTINS, C. M. M.; SILVA, E. F. DA; SILVA, J. J. DA; LIMA, R. N. DA S. (2016). Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil. *Revista Caatinga*, v.29, n.4, p.1036-1042. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n430rc>.

R CORE TEAM. (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

ROCHA, M. D. M., FREIRE FILHO, F. R., SILVA, K., RIBEIRO, V. Q., BARRETO, A. L. H., FRANCO, L. J. D., ... & de CARVALHO, J. L. V. (2008). **Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/70676/1/CT2120001.pdf> Acesso em: 21/01/2024.

SILVA, F. C., ABREU, M. F., PEREZ, D. V., DA EIRA, P. A., DE ABREU, C. A., RAIJ, B. V., ... BARRETO, W. D. O. (2009). **Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/257040/1/PL-Metodos-analises-quimicas-2009.pdf>. Acesso em: 13/01/2024.

SINHA, R.; KAWATRA, A. (2003). Effect of processing on phytic acid and polyphenol contents of cowpeas [*Vigna unguiculata* (L) Walp]. *Plant Foods for Human Nutrition*, v.58, p.1-8. <https://doi.org/10.1023/B:QUAL.0000040322.01063.d4>.

WANG, T. L.; DOMONEY, C.; HEDLEY, C. L.; CASEY, R.; GRUSAK, M. A. (2003). Can we improve the nutritional quality of legume seeds? *Plant Physiology*, v.131, n.3, p.886-891. <https://doi.org/10.1104/pp.102.017665>.

THARANATHAN, R. N.; MAHADEVAMMA, S. (2003). Grain legumes—a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, v.14, n.12, p.507-518. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>.