

SUZY ANNE DE ARAÚJO E SILVA



**VARIEDADES TRADICIONAIS DE FEIJÃO-CAUPI PARA  
BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS**

RIO BRANCO - AC

2024

SUZY ANNE DE ARAÚJO E SILVA

**VARIEDADES TRADICIONAIS DE FEIJÃO-CAUPI PARA  
BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Vanderley Borges dos Santos

RIO BRANCO - AC

2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

S568v Silva, Suzy Anne de Araújo e, 1987 -  
Variedades tradicionais de feijão-caupi para biofortificação de  
grãos / Suzy Anne de Araújo e Silva; orientador: Prof. Dr.  
Vanderley Borges dos Santos. – 2024.  
80 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Acre, Programa  
de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Rio Branco, 2024.  
Inclui referências bibliográficas.

1. Feijão-caupi. 2. Feijão-caupi (Variedades). 3. Melhoramento  
de grãos. I. Santos, Vanderley Borges dos (orientador). II. Título.

CDD: 338.1

---

Bibliotecária: Alanna Santos Figueiredo – CRB 11º/1003.

**SUZY ANNE DE ARAÚJO E SILVA**

**VARIETADES TRADICIONAIS DE FEIJÃO-CAUPI PARA BIOFORTIFICAÇÃO  
DE GRÃOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

APROVADA em 27 de março de 2024

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **VANDERLEY BORGES DOS SANTOS**  
Data: 23/05/2024 17:01:58-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dr. Vanderley Borges dos Santos (Presidente)**  
Universidade Federal do Acre

Documento assinado digitalmente  
 **ANATERCIA FERREIRA ALVES**  
Data: 04/05/2024 16:34:53-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dra. Anatercia Ferreira Alves (Membro)**  
Universidade Estadual da Região Tocantina

Documento assinado digitalmente  
 **AMAURI SIVIERO**  
Data: 24/05/2024 17:18:17-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dr. Amaury Siviero (Membro)**  
EMBRAPA Acre

Documento assinado digitalmente  
 **LORENA YANET CÁCERES TOMAYA**  
Data: 24/05/2024 15:11:54-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dra. Lorena Yanet Cáceres Tomaya (Membro)**  
Universidade Federal do Acre

Documento assinado digitalmente  
 **ROMÁRIO DE MESQUITA PINHEIRO**  
Data: 24/05/2024 11:54:36-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dr. Romário de Mesquita Pinheiro (Membro)**  
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Àquele que muito contribuiu pra realização meus sonhos,  
Àquele que foi em vida meu espelho de integridade,  
honestidade, simplicidade e de amor ao próximo,  
Àquele que mesmo após sua partida, me inspira  
todos os dias para ser uma pessoa melhor.

Ao meu pai (*In memoriam*)

**Eduardo Alves de Melo e Silva**

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar meu agradecimento à Deus por me permitir e me dar a força necessária para cumprir mais essa etapa de minha vida.

Ao meu filho, Gustavo Henrique Araújo, peço perdão pela ausência e pelos momentos que deixamos de dividir, principalmente nestes últimos meses, agradeço imensamente seu amor e compreensão. É de você que vem toda minha força!

À minha mãe Sirlene Vieira de Araújo, peça fundamental na minha vida, minha base e o pilar que sustenta toda a nossa família, agradeço por toda ajuda, toda preocupação, cada oração, cada palavra de incentivo e por todo o cuidado dedicado a mim e ao meu filho. Tudo que tenho e tudo que sou eu devo a você mãe.

Às minhas irmãs Suzana Araújo e Eduarda Araújo pelo apoio e auxílio todos os dias e em cada etapa desta caminhada. Minha conquista só foi possível porque temos em nossa família uma rede de apoio, cuidado e amor. Contem sempre comigo.

Ao meu melhor amigo e companheiro de vida, Silas Barberá Filho, pelo carinho, cuidado, amor, compreensão, incentivo e apoio tão importantes para eu pudesse transcorrer esse caminho. Qualquer caminho fica bem mais leve com você.

Ao meu orientador Vanderley Borges dos Santos pelos aprendizados destes anos de convivência.

À todos os professores e professoras por todo o conhecimento compartilhado, você são peças fundamentais.

Aos membros da banca examinadora por suas contribuições valiosas.

Aos colegas que tive a oportunidade de conhecer e conviver. Alguns mais importantes no início, outros no fim da caminhada, mas todos foram fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal, obrigada a cada um pela colaboração, troca de ideias e convivência durante esses anos.

À professora do Instituto Federal do Acre Dra. Guiomar Almeida Souza e ao responsável Técnico da Empresa Tomazetti Osmar Boschilia, pela doação das sementes das variedades tradicionais e das cultivares utilizadas como referência em meu estudo.

À Universidade Federal do Acre, ao Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal e a Capes pela concessão da bolsa e oportunidade de concluir essa importante etapa da minha formação.

“Segue o teu destino,  
Rega as tuas plantas,  
Ama as tuas rosas.  
O resto é a sombra  
De árvores alheias.

A realidade  
Sempre é mais ou menos  
Do que nós queremos.  
Só nós somos sempre  
Iguais a nós-próprios...”

Fernando Pessoa

## RESUMO

A biofortificação, através do melhoramento genético, é uma estratégia promissora para enriquecer nutricionalmente alimentos bases como o feijão-caupi. Variedades tradicionais apresentam ampla variabilidade genética, indicando potencial para programas de melhoria nutricional. A investigação e caracterização dessas variedades são fundamentais para identificar genótipos promissores para futuros programas de biofortificação, bem como investigar as relações existentes entre as características nutricionais e agrônômicas. O objetivo deste estudo foi avaliar variedades tradicionais de feijão-caupi com vistas a identificar genótipos potenciais para biofortificação de grãos. Foram avaliadas seis variedades tradicionais de feijão-caupi e duas cultivares como referência. Amostras de grãos foram analisadas quanto aos teores minerais por espectrometria de absorção atômica. Os dados de caracteres de produção em vagens e grãos. Realizaram-se análises de variância e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-knott ( $p < 0,05$ ). Foram estimados os parâmetros genéticos e preditos os valores genotípicos pela metodologia de modelos mistos via REML/BLUP das variáveis nutricionais. Os valores genotípicos obtidos por BLUP foram utilizados para determinar as relações entre componentes de produção e caracteres nutricionais através da correlação linear de Pearson e da análise de correlação canônica entre os componentes de produção e caracteres nutricionais. As variedades tradicionais apresentam variabilidade genética para todas as características. Os resultados revelam valores superiores às cultivares referências para teores de proteína, ferro, zinco, fósforo, potássio, cálcio, cobre, manganês, boro. As variedades apresentam teores de proteína acima de 20%, considerados altos para leguminosas. Todas as variedades tradicionais examinadas excedem os valores de referência para zinco, podendo ser consideradas biofortificadas para este mineral. A metodologia REML/BLUP mostrou-se efetiva na predição dos valores genotípicos das variedades tradicionais de feijão-caupi. As variedades Manteiguinha Branco, Quarentão, Preto de Praia e Corujinha apresentaram valores genotípicos elevados para teores de ferro, zinco, proteína e características de produção. Foram detectadas correlações positivas e altas entre os minerais avaliados. As análises de correlações canônicas evidenciam dependência entre os grupos de componentes de produção e os caracteres nutricionais

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata* L.; modelos mistos; minerais

## ABSTRACT

Biofortification, through genetic improvement, is a promising strategy to nutritionally enrich basic foods such as cowpea. Traditional varieties present wide genetic variability, indicating potential for nutritional improvement programs. The investigation and characterization of these varieties are essential to identify promising genotypes for future biofortification programs, as well as to investigate the relationships between nutritional and agronomic characteristics. The objective of this study was to evaluate traditional cowpea varieties with a view to identifying potential genotypes for grain biofortification. Six traditional varieties of cowpea and two reference cultivars were evaluated. Grain samples were analyzed for mineral content by atomic absorption spectrometry. Data on production traits in pods and grains. Analysis of variance was performed and the means were grouped using the Scott-knott test ( $p < 0.05$ ). Genetic parameters were estimated and genotypic values were predicted using mixed model methodology via REML/BLUP of nutritional variables. The genotypic values obtained by BLUP were used to determine the relationships between production components and nutritional traits through Pearson's linear correlation and canonical correlation analysis between production components and nutritional traits. Traditional varieties present genetic variability for all characteristics. The results reveal higher values than reference cultivars for protein, iron, zinc, phosphorus, potassium, calcium, copper, manganese and boron contents. The varieties have protein levels above 20%, considered high for legumes. All traditional varieties examined exceed reference values for zinc and can be considered biofortified for this mineral. The REML/BLUP methodology proved to be effective in predicting the genotypic values of traditional cowpea varieties. The Manteiguinha Branco, Quarentão, Preto de praia and Corujinha varieties showed high genotypic values for iron, zinc, protein and production characteristics. Positive and high correlations were detected between the minerals evaluated. Canonical correlation analyzes show dependence between groups of production components and nutritional traits

**Keywords:** *Vigna unguiculata* L.; mixed models; minerals

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estimativa de correlação de Pearson baseada em valores genotípicos entre componentes de produção massa de cem grãos (MCG), comprimento médio de vagem (CMV) e número de grãos por vagem (NGV) e caracteres nutricionais proteína, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), Zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) em variedades tradicionais de feijão-caupi ..... 71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento .....	33
Tabela 2 – Análise de variância dos conteúdos de proteína bruta e minerais em grãos de genótipos de feijão-caupi .....	35
Tabela 3 – Médias das concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S), em grãos de genótipos de feijão-caupi .....	37
Tabela 4 – Médias das concentrações de cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) em grãos de genótipos de feijão-caupi .....	35
Tabela 5 – Teores de proteína bruta, ferro e zinco nos grãos de genótipos de feijão-caupi .....	36
Tabela 6 – Estimativas dos componentes de variância e dos parâmetros genéticos para os caracteres comprimento médio de vagem (CMV), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG), proteína bruta (PB) fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) em grãos de variedades tradicionais de feijão-caupi .....	57
Tabela 7 – Valores genotípicos preditos (u + g) e ordenação (Or.) para teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, manganês e boro nas variedades tradicionais de feijão-caupi Preto de praia (V1), Corujinha (V2), Manteiguinha Vermelho (V3), Manteiguinha Branco (V4), Quarentão (V5) e Costela de Vaca (V6) .....	55
Tabela 8 – Valores genotípicos preditos (u + g) e ordenação (Or.) para teores de proteína, ferro, zinco, comprimento médio de vagem (COMP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (MCG) nas variedades tradicionais de feijão-caupi Preto de praia (V1), Corujinha (V2), Manteiguinha vermelho (V3), Manteiguinha Branco (V4), Quarentão (V5), Costela de Vaca (V6) .....	58
Tabela 9 – Correlações canônicas (r), pares canônicos (U1, V1; U2, V2) estimados entre componentes de produção (grupo I) e caracteres nutricionais (grupo II) em variedades tradicionais de feijão-caupi .....	75

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1 IMPORTÂNCIA DOS MICRONUTRIENTES NA ALIMENTAÇÃO .....	13
2.2 BIOFORTIFICAÇÃO DE PRODUTOS VEGETAIS ATRAVÉS DO MELHORAMENTO GENÉTICO .....	14
2.3 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL DO FEIJÃO-CAUPI .....	15
2.4 VARIABILIDADE GENÉTICA DO FEIJÃO-CAUPI PARA CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS .....	17
2.5 VARIEDADES TRADICIONAIS COMO FONTE DE GENES PARA BIOFORTIFICAÇÃO .....	18
2.6 APLICAÇÃO DOS MODELOS MISTOS .....	19
2.7 CORRELAÇÃO COM BASE EM VALORES GENOTÍPICOS .....	20
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	22
<b>3 CAPITULO I</b>	
<b>VARIABILIDADE GENÉTICA PARA COMPOSIÇÃO MINERAL E TEOR DE PROTEÍNA EM GRÃOS DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI</b> .....	26
<b>RESUMO</b> .....	27
<b>ABSTRACT</b> .....	28
3.1 INTRODUÇÃO .....	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
3.4 CONCLUSÕES .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41
<b>4 CAPITULO II</b>	
<b>ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS E PREDIÇÃO DE VALORES GENOTÍPICOS ATRAVÉS DE MODELOS MISTOS PARA COMPOSIÇÃO MINERAL E TEOR DE PROTEÍNA EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI</b> .....	44
<b>RESUMO</b> .....	45
<b>ABSTRACT</b> .....	46
4.1 INTRODUÇÃO .....	47
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	49
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52

4.4 CONCLUSÕES .....	58
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
<b>5 CAPITULO III</b>	
<b>INTER-RELAÇÕES E CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE COMPONENTES DE PRODUÇÃO E NUTRICIONAIS BASEADAS EM VALORES GENOTÍPICOS EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI .....</b>	<b>62</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>63</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>64</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	65
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	67
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69
5.4 CONCLUSÕES .....	74
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população global, garantir a segurança alimentar e nutricional tornou-se um desafio. A persistência da fome e desnutrição contrasta com a prevalência de sobrepeso e obesidade em certos níveis, destacando a necessidade urgente de pesquisa e desenvolvimento de alimentos com melhorias nutricionais (AMABILE et al., 2018).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa de relevância econômica e social notável, sendo reconhecido como fonte crucial de proteína de baixo custo e de minerais essenciais como ferro e zinco. Devido à sua alta produtividade e capacidade de adaptação a condições ambientais desfavoráveis, apresenta um potencial significativo para mitigar a fome em regiões com baixa adoção de tecnologias agrícolas, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar e nutricional de parcela significativa da população (MIQUELONI et al., 2018; FREIRE FILHO et al., 2023).

Os programas de melhoramento genético de culturas alimentares básicas estão atualmente direcionados para o desenvolvimento de variedades produtivas, adaptadas e enriquecidas nutricionalmente, visando assegurar o fornecimento adequado de alimentos em termos de quantidade e qualidade (RIOS et al., 2009).

A biofortificação por meio do melhoramento genético se beneficia da variabilidade presente nos materiais estudados para a obtenção de genótipos de excelência nutricional. Essa abordagem reflete a resposta às demandas alimentares da população global, destacando-se estratégias que buscam promover o cultivo de variedades com qualidade nutricional superior.

De acordo com Carias et al. (2017), é possível observar aumento nos teores de elementos importantes em genótipos de variedades tradicionais. Esta alta variabilidade oferece oportunidade potencial para os estudos de biofortificação genética em plantas que visam aumentar a concentração de nutrientes essenciais nos alimentos.

Dessa forma, é necessário caracterizar os materiais genéticos disponíveis em cada local, tornando-se um passo fundamental para conservação da diversidade genética da cultura e o desenvolvimento de materiais mais adaptados, produtivos e nutritivos que atendam às necessidades e exigências dos produtores e consumidores (COSTA et al., 2012).

A avaliação dos componentes de variância e a previsão dos valores genéticos são etapas cruciais nos programas de melhoramento genético de plantas. Dada a complexidade na seleção de características quantitativas, devido à sua natureza poligênica e à influência significativa do ambiente, é essencial utilizar ferramentas genético-estatísticas como os modelos mistos que possam isolar os efeitos genotípicos e prever valores genéticos com maior precisão (BARROSO NETO et al., 2017).

O conhecimento das correlações entre as variáveis facilita as decisões a serem tomadas na seleção de genótipos de interesse (MENDONÇA et al, 2018). Além disso, o uso de correlações canônicas permite medir o grau de associação entre dois conjuntos de variáveis, através de combinações lineares dos vários caracteres que os constituem permitindo agrupar variáveis de interesse, de forma que a determinação das associações entre os grupos possibilite a seleção indireta de caracteres (CRUZ et al., 2012).

Essencialmente a utilização valores genotípicos devem ser priorizados no estudo das correlações, visto que apenas elas envolvem associação de natureza herdável possibilitando maior sucesso com a seleção (CRUZ et al., 2012). A utilização dos procedimentos de modelos mistos REML/BLUP, permite obter maior precisão na obtenção de valores genotípicos e na estimativa componentes de variância (RESENDE et al., 2016).

O objetivo deste estudo foi avaliar variedades tradicionais de feijão-caupi com vistas a identificar genótipos potenciais para biofortificação de grãos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo a Organização Mundial de Saúde a carência por micronutrientes provoca um fenômeno ainda pouco conhecido, chamado fome oculta, que se dá pela falta de vitaminas e minerais no organismo. Importante ressaltar que não está restrita à escassez de alimentos. Ela pode afetar indivíduos que consomem quantidades dietéticas ou excessivas, assim como aqueles que se alimentam de produtos que proporcionam saciedade, porém são deficientes em nutrientes essenciais.

Os sistemas agrícolas tendem a favorecer a produção de alimentos básicos ricos em energia, sem atenção suficiente aos alimentos ricos em nutrientes. Em muitas regiões, vegetais, frutas e alimentos de origem animal são frequentemente caros ou inacessíveis, resultando em dietas sem variedade, com baixa qualidade nutricional (AFSHIN et al., 2017).

### 2.1 IMPORTÂNCIA DOS MICRONUTRIENTES NA ALIMENTAÇÃO

Os minerais são divididos em macrominerais (cálcio, fósforo, magnésio, potássio) requeridos em quantidade superiores a 100mg/dia, e os microminerais (ferro, zinco, cobre, manganês) necessários em pequenas quantidades para manter o funcionamento normal do organismo. Entre os microminerais, ferro, zinco e cobre, se destacam como minerais essenciais, tendo em vista que sua redução ou carência leva à alteração de uma ou mais funções fisiológicas importantes (PACHECO, 2011).

Entre minerais essenciais para o homem, o ferro é importante no transporte de  $O_2$  e  $CO_2$  e na queima rápida de  $O_2$  durante os exercícios físicos. A deficiência em ferro é a causa mais comum de anemia, tendo em vista sua importância na manutenção da produção de hemácias. O zinco tem papel no crescimento, replicação, cicatrização, maturação sexual, fertilidade e reprodução. Atua na regulação do apetite, síntese e liberação de hormônios, atividade antioxidante e na síntese de degradação de proteínas, carboidratos e lipídeos. Essencial para o sistema imune, o cobre atua no metabolismo da glicose e do colesterol, síntese de melanina, componente de diversas enzimas e estimula o processo formação de novos vasos sanguíneos. As gestantes são as que mais necessitam destes minerais, com ingestão diária necessária de

27mg/dia para ferro e 13 mg/dia para zinco e 0,9 mg/dia pra cobre. As leguminosas estão entre as fontes mais importantes desses minerais (FRANCO, 2002).

O cálcio juntamente com o fósforo, são elementos essenciais para saúde dos ossos, importante principalmente na infância durante o pico da produção de massa óssea e na idade adulta para prevenir a osteoporose. Destaca-se as necessidades diárias de crianças e idosos com 1000mg/dia e 1200mg/dia e gestantes e lactantes menores de 18 anos com exigência de 1300 mg/dia. Para fósforo destacam-se as necessidades para jovens entre 14 e 18 anos e grávidas e lactantes menores de 18 anos, as leguminosas estão entre as principais fontes de fósforo (PACHECO, 2011).

O magnésio, desempenha funções importantes a saúde dos ossos, nas contrações musculares e na transmissão de impulsos nervosos. O potássio por sua vez, é fundamental para a função renal, contração do músculo cardíaco, transmissão nervosa e síntese proteica e de carboidratos. Já o manganês, está ligado principalmente ao metabolismo do colesterol, crescimento corpóreo, reprodução e participa da formação do esqueleto. O feijão e as leguminosas em geral estão listados como principais fontes (FRANCO, 2002).

## 2.2 BIOFORTIFICAÇÃO DE PRODUTOS VEGETAIS ATRAVÉS DO MELHORAMENTO GENÉTICO

A insuficiência de micronutrientes como ferro, zinco e vitamina A é um desafio significativo para a saúde pública em nações em desenvolvimento. Dietas deficientes em minerais podem resultar em anemia, diminuição da produtividade, comprometimento do sistema imunológico, atraso no desenvolvimento e até mesmo mortalidade. A anemia por deficiência de ferro é reconhecida como um dos principais problemas nutricionais no Brasil (BIOFORT, 2023).

Para enfrentar esses desafios, programas de biofortificação são implementados para elevar os níveis de ferro, zinco e vitamina A nos alimentos básicos, utilizando métodos que incluem melhoramento genético convencional, manejo agrônomico e engenharia genética (GONÇALVES et al., 2015; PEREIRA et al., 2018).

Muitas culturas têm sido alvo de biofortificação utilizando melhoramento genético convencional, tendo em vista sua aceitabilidade em comparação com outras estratégias. Financeiramente, essa tem sido indicada a alternativa mais viável, sem

necessidade de incentivo adicional para o consumo e sem alteração das características sensoriais dos alimentos (BIOFORT, 2023; JOSH-SAHA et al., 2022).

Quando desenvolvidas, as culturas nutricionalmente melhoradas, podem ser avaliadas e adaptadas a novos ambientes e geografias, multiplicando os benefícios do investimento inicial (BOUIS, 2017).

Culturas biofortificadas contêm maiores concentrações de micronutrientes essenciais, são disseminadas aos consumidores por meio de métodos tradicionais empregados na agricultura e na distribuição de alimentos. Isso oferece estratégia viável para atingir famílias desnutridas e grupos de baixa renda com acesso limitado a diversas dietas, suplementos e alimentos enriquecidos (GARG, 2018).

No Brasil, a Rede BioFORT coordenada pela Embrapa lidera a biofortificação de alimentos. Estudos realizados já possibilitaram o lançamento de várias cultivares biofortificadas como a batata-doce com alto teor de betacaroteno; milho com maiores concentrações de carotenoides precursores da vitamina A; mandioca com polpa amarela e alto teor de betacaroteno; feijão comum com altos teores de ferro e zinco; feijão-caupi com altos teores de ferro, zinco e proteína. Com as culturas do arroz, trigo e abóbora em processo de melhoramento (BIOFORT, 2023).

Além da utilização direta, diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de desenvolver produtos agroindustriais a partir de matérias-primas biofortificadas como é o caso da farinha de feijão-caupi (FIORENTIN et al., 2019).

Os alimentos biofortificados, constituem um progresso significativo na batalha contra a desnutrição. Apesar da importância da biofortificação em promover melhores padrões alimentares, não é capaz de resolver integralmente os desafios nutricionais e deve ser complementada com a diversificação da dieta e suplementação.

### 2.3 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL DO FEIJÃO-CAUPI

Dentre os minerais essenciais para funcionamento metabólico normal que podem ser encontrados nas leguminosas de grão, destacam-se o cálcio, potássio, magnésio, fósforo, ferro, zinco, manganês, cobre, molibdênio e cromo e cobalto. (SANTOS, 2020).

A importância da cultura do caupi para a nutrição e economia é evidente, apesar de seu baixo valor comercial. Trata-se de um produto de alta qualidade, porém carece de reconhecimento de seu valor como um produto nobre, destacando suas características agrônomicas e nutricionais relevantes (SIVIERO et al., 2017; SOUSA et al., 2021).

A maior parte das necessidades nutricionais da população rural ainda é satisfeita pelo consumo de leguminosas, que constituem importante fonte de proteínas (QUIROZ et al., 2015). Entre as leguminosas, a cultura do feijão-caupi é de grande relevância para a agricultura brasileira, levando em consideração sua importância como fonte de renda e de segurança alimentar para agricultores familiares, principalmente nas regiões norte e nordeste (SIVIERO et al., 2017).

A deficiência de proteínas na dieta, leva ao emagrecimento, anemia, letargia, parada do crescimento em crianças, distúrbios mentais, alterações bioquímicas e esteatose hepática. A qualidade da proteína está ligada aos aminoácidos que possui, sendo possível melhorar a qualidade das proteínas vegetais, a partir de dieta diversificada (CAZZOLINO, 2016).

A necessidade por proteínas de origem animal vitaminas e minerais essenciais, tem crescido, assim como seu custo. Leguminosas como o feijão-caupi desempenham um papel vital na melhoria da acessibilidade à alimentação humana com qualidade nutricional. Dada sua capacidade de produção e adaptação a ambientes desfavoráveis possui potencial de cultivo para mitigar a fome em regiões com baixo nível tecnológico (MIQUELONI et al., 2018; DINIZ et al., 2020).

Excelente fonte de proteínas, o feijão-caupi contém todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, bem como quantidade significativa de fibras dietéticas e baixo teor de gordura. Rico em vitaminas do complexo B e antioxidantes, alta concentração de fibras e a moderada densidade calórica conferem a esses alimentos um alto poder de saciedade, reduzindo a probabilidade de consumo excessivo (BRASIL, 2014; BELLO; YUSUF, 2018; ABEBE; ALEMAYEHU et al., 2022).

A avaliação da composição centesimal foi realizada por Sousa et al. (2023), em três variedades tradicionais de feijão-caupi no vale do Juruá, (Manteiguinha Branco, Manteiguinha Roxo e Quarentão). Os teores de proteínas variaram entre (22,28 a 23,97 g.100g<sup>-1</sup>), com a variedade Manteiguinha Branco apresentando maior valor (24,28 g.100g<sup>-1</sup>), para conteúdo mineral, o destaque foi para a variedade Manteiguinha Roxo (3,74 g.100g<sup>-1</sup>).

Diniz et al. (2020), estudando os teores de minerais em três variedades tradicionais de feijão-caupi (Manteiguinha, Branco de Praia e Jaguaribe), observaram que a variedade Manteiguinha apresentou 59,53 mg kg<sup>-1</sup> para teor de ferro e a variedade branco de praia 42,93 mg kg<sup>-1</sup> para teor de zinco. Os valores

encontrados são promissores para a biofortificação dos grãos, visto que se encontram bem próximos dos apresentados por Rocha (2014) avaliando a cultivar biofortificada Tumucumaque que apresentou 60 mg kg<sup>-1</sup> para teor de ferro e 50 mg kg<sup>-1</sup> de zinco.

Novas cultivares de feijão-caupi biofortificadas são veículos potenciais para melhorar o status de ferro e zinco de populações com prevalência de deficiência desses micronutrientes.

## 2.4 VARIABILIDADE GENÉTICA DO FEIJÃO-CAUPI PARA CARACTERES NUTRICIONAIS

A seleção de genótipos é essencial para identificar germoplasmas com potencial nutricional elevado, o que é crucial para o desenvolvimento de cultivares biofortificadas (PESSOA et al., 2023). Para a implementação bem sucedida do programa de melhoramento convencional, é crucial que haja diversidade genotípica adequada para as características nutricionais desejadas. Dessa forma, é possível explorar a variação disponível para aumentar os níveis de minerais.

Estudos de caracterização nutricional dos grãos de feijão-caupi e a divergência genética dos seus acessos ainda são escassos e em diferentes classes/subclasses comerciais são inexistentes na literatura.

Pesquisas apontam grande variabilidade genética para os micronutrientes em plantas que são importantes para a alimentação humana, o que conferem qualidade nutricional e torna possível selecionar germoplasmas com alto valor nutritivo por meio do melhoramento genético (RIBEIRO et al., 2008; GONÇALVES et al., 2015; DIAS BARBOSA et al., 2020; FREITAS et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023), incluindo variedades tradicionais (SOUSA et al., 2023; DINIZ et al., 2023; MIQUELONI et al., 2018). Estudos de biofortificação genética podem se beneficiar da ampla variação de parentes selvagens naturais ou populações tradicionais de espécies cultivadas.

A triagem de diversos acessos, que engloba as variedades cultivadas, o germoplasma disponível e os parentes silvestres, quanto à variação genética existente no conteúdo de minerais, representa o primeiro passo fundamental para a biofortificação genética (JOST-SAHA et al., 2022).

## 2.5 VARIEDADES TRADICIONAIS COMO FONTE DE GENES PARA BIOFORTIFICAÇÃO

Conforme relatado pela FAO, as condições climáticas extremas foram identificadas como um dos principais impulsionadores do recente aumento da fome global. O impacto cumulativo das mudanças climáticas compromete todas as dimensões da segurança alimentar, abrangendo a disponibilidade, o acesso, a utilização e a estabilidade dos alimentos.

A observância contínua dos programas de melhoramento genético de plantas e a preservação da segurança alimentar global, estão cada vez mais dependentes dos recursos genéticos. Isso deve-se às rápidas transformações que a sociedade e o ambiente têm experimentado nos últimos séculos (AMABILE et al., 2018).

A introdução de variedades melhoradas e uniformes, juntamente com o uso de organismos geneticamente modificados, tem contribuído para a redução da variabilidade das espécies. Para contrabalançar esse efeito, a coleta e o acervo de germoplasma representam estratégias fundamentais para o estabelecimento e enriquecimento de coleções destinadas ao uso em programas de melhoramento de culturas (SIVIERO et al., 2017).

A produção e armazenamento de sementes tradicionais tem papel fundamental para a preservação das raízes socioculturais dos povos tradicionais, garantindo segurança alimentar e renda para as famílias produtora (ANDRADE et al., 2020). No Acre, a conservação, o manejo e seleção realizada por vários anos lhes concede variabilidade e permite a adaptação a diferentes formas de manejo, e locais de cultivo do caupi (DINIZ et al., 2020).

De acordo com Sousa et al., 2020, o Acre é rico em diversidade de variedades de feijões. O manejo desse patrimônio genético se deve aos pequenos agricultores, indígenas e populações tradicionais. Os materiais genéticos encontrados no Estado apresentam variabilidade quanto a cor, tamanho, forma, sabores, hábitos de crescimento, ciclos, adaptação em solos de terra firme e várzeas, resistência a pragas, características nutricionais e aspectos tecnológicos relacionados ao seu processamento (DINIZ et al, 2020).

O estudo da divergência genética em variedades tradicionais da região é o primeiro passo a ser analisado antes de se iniciar um programa de melhoramento. Conhecer e quantificar a variabilidade e a divergência genética presente entre os diferentes

genótipos, subsidiam a seleção e cruzamentos de genitores geneticamente divergentes e promissores (CRUZ et al., 2012).

As variedades crioulas de feijão-caupi na Amazônia Ocidental foram avaliadas por Miqueloni et al. (2018), variação quanto a cor de sementes, vagem, folha, flor e porte da planta foram observadas. Sousa et al. (2023), destacam alta variabilidade genética e fenotípica entre as variedades de feijão-caupi avaliadas quanto as tamanho, massa e cor dos grãos e quanto aos constituintes nutricionais (umidade, proteína, lipídio, cinzas, carboidrato, valor energético e fibras e antocianina).

De acordo com Carias et al. (2017), é possível observar aumento nos teores de elementos importantes em genótipos de variedades tradicionais. Esta alta variabilidade oferece oportunidade potencial para os estudos de biofortificação genética, que visam aumentar a concentração de nutrientes essenciais nos alimentos.

## 2.6 APLICAÇÃO DE MODELOS MISTOS

A estimativa dos componentes de variância e a predição dos valores genéticos são procedimentos essenciais em programas de melhoramento genético. O uso do método REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Residual ou restrita/Melhor Predição Linear Imparcial), também conhecido como metodologia de modelo misto é um procedimento ideal de avaliação genotípica (RESENDE, 2016).

Dada a complexidade na seleção de características quantitativas, devido à sua natureza poligênica e à influência significativa do ambiente, é essencial utilizar ferramentas genético-estatísticas que possam isolar os efeitos genotípicos e prever valores genéticos com maior precisão (BARROSO NETO et al., 2017).

Este procedimento lida naturalmente com o desequilíbrio, levando a estimativas e previsões mais precisas de parâmetros genéticos e valores genéticos. As propriedades do método permitem maximização da acurácia, predição não viesada dos valores genotípicos, minimização do erro que aliado à variabilidade presente nas variedades tradicionais/crioulas contribui para aumentar a eficiência e o ganho genético da seleção (RESENDE, 2006).

Estudos recentes consolidam a eficácia do método REML/BLUP como um procedimento padrão para a previsão de parâmetros genéticos e seleção otimizada em diversas situações e espécies no contexto do melhoramento de plantas, como arroz (BERCHEMBROCK et al., 2021), trigo (MEIER et al., 2021), laranja doce

(CAPISTRANO et al., 2020), maracujá (KRAUSE et al., 2021). Trabalhos como os de Barroso Neto et al. (2017) e Lopes et al. (2023) também validam a utilização do método na cultura do feijão-caupi.

## 2.7 CORRELAÇÕES COM BASE EM VALORES GENOTÍPICOS

O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente quando a seleção de um deles apresenta dificuldades pela baixa herdabilidade ou problemas de medição e identificação. Esta correlação tem causas genéticas e ambientais, mas apenas as genéticas envolvem relação de natureza herdável, podendo ser utilizadas na orientação em programas de melhoramento genético (CRUZ et al., 2004).

Essencialmente a utilização valores genotípicos devem ser priorizados no estudo das correlações, visto que apenas elas envolvem associação de natureza herdável possibilitando maior sucesso com a seleção (CRUZ et al., 2012). Para que a seleção seja efetiva para ambas as características é preciso que haja correlação linear positiva (RIBEIRO et al., 2008).

Estudando as associações entre características morfológicas e componentes de produção em feijão-caupi, Abreu et al. (2021) identificaram que os caracteres número de vagem por planta, comprimento da vagem e tipo de planta, apresentaram alta e positiva magnitude, permitindo concluir que selecionar plantas com maior número de vagem por planta, genótipos precoces e com arquitetura adequada para colheita mecanizada aumentam o rendimento de grãos (CRUZ et al., 2004).

A análise de correlação canônica se caracteriza por avaliar relações entre dois complexos de variáveis, influenciáveis por no mínimo dois caracteres. Nos permitem medir o grau de associação entre os dois conjuntos de variáveis, através de combinações lineares dos vários caracteres que os constituem visando agrupar variáveis de interesse, de forma que a determinação das associações entre os grupos possibilite a seleção indireta de caracteres (CRUZ et al., 2012).

A vantagem dessa técnica é a possibilidade de auxiliar o melhorista no estudo que envolva mais de uma variável dependente, permitindo que os esforços sejam voltados para os caracteres de alta herdabilidade e de fácil mensuração (COIMBRA et al., 2000).

As correlações positivas entre características indicam variações na mesma direção, com associação mais forte à medida que a intensidade aumenta. Essas correlações variam de -1 a 1 e são classificadas como fracas (menor que 0,4), moderadas (entre 0,4 e 0,7) e fortes (entre 0,7 e 1), independentemente do sinal associado (CRUZ et al., 2012).

O uso e a eficiência das correlações canônicas são relatados na literatura para diferentes culturas, como feijão comum (COIMBRA et al., 2000), girassol (NOBRE et al., 2018), trigo (SILVA et al., 2023), milho (FERREIRA et al., 2020), arroz (XAVIER et al., 2022), feijão-fava (COSTA et al., 2022), feijão-caupi (ABREU et al., 2021).

## REFERÊNCIAS

- ABREU, H. K.; FACHINELLI, A. R.; CECCON, G. Correlação canônica entre as características morfológicas e componentes de produtividade de feijão-caupi. *Agrarian, Dourados*. v. 14, p. 314-322. 2021.
- AFSHIN, A.; FOROUZANFAR, M.H.; REITSMA, M.B. And the GBD 2015 Obesity Collaborators. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *Engl J Med*. v. 377. p. 13–27. 2017
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas. 108p. 2018.
- ANDRADE, J. G.; SILVA M. G.; OLIVEIRA FILHO, F. S.; FEITOSA, S. S. Diagnóstico das técnicas de produção e armazenamento de sementes crioulas em assentamentos rurais de Aparecida, Paraíba, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9. Março de 2020.
- BARROSO NETO, A. M. et al. Genetic Variability and Selection of Extra-Early Cowpea Progenies. *Revista Caatinga, Mossoró*. v. 30, n. 3, p. 698–707. Setembro de 2017.
- BERCHEMBROCK, Y. V. et al. Parâmetros Genéticos E Seleção Genotípica Em Arroz De Terras Altas / Genetic Parameters and Genotype Selection in Upland Rice. *Brazilian Journal of Development, Curitiba*, v. 7, n. 3, p. 28087–28095. Março de 2021.
- BIOFORT. 2023. Disponível em: <http://biofort.com.br/>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- BOUIS, H. E; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2017. *Glob Food Sec*, v.12, p. 49-58. Janeiro de 2017.
- CAPISTRANO, M. D. C. et al. Use of the REML/BLUP methodology for the selection of sweet orange genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*. v. 56, p. e02032. Março de 2021.
- CARIAS, C. M. de O. M., et al. **Parâmetros genéticos em feijão comum via REM/BLUP**. XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, nov. 2017.
- CAZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 5 ed. Barueri, SP: Manole, 2016. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Biodisponibilidade-nutrientes-Silvia-Franciscato-Cozzolino/dp/852044136X>. Acesso em: 17 jan. 2024.
- COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; CARVALHO, F. I. F.; AZEVEDO, R. Correlações canônicas: II - análise do rendimento de grãos de feijão e seus componentes. **Ciência Rural**, v. 30, p. 31-35, 2000.
- COSTA, A. M.; SPEHAR, C. R., Sereno, J. R. B. **Conservação de recursos genéticos no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa. p. 628. 2012.

COSTA, G.; MEDEIROS, A. M.; SILVA, V. B.; LOPES, Â.; CANDIDO, W. S.; GOMES, R. L. F. Canonical correlations between cycle and grain production traits in lima bean. *Revista Caatinga*, Mossoró. v. 35 p. 877-883. Dezembro de 2022.

CREVELARI, J. et al. Canonical correlation for morphoagronomic and bromatological traits in silage corn genotypes. *Bragantia*. v. 78: 337-349, 2019.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV. 668. 2014. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/237/o/Modelos\\_Biometricos\\_em\\_Genetica\\_e\\_Melhoramento.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/237/o/Modelos_Biometricos_em_Genetica_e_Melhoramento.pdf). Acesso em: 24 abr de 2024.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV. 2012, p. 514. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4942/CARVALHO%2C%20IVAN%20RICA\\_RDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4942/CARVALHO%2C%20IVAN%20RICA_RDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 30 mar. 2024.

DIAS-BARBOSA, C. Z. D. M. C. et al. Seleção de linhagens elite de feijão-caupi de porte semiereto biofortificadas com ferro e zinco. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba. v. 6, n. 4, p. 19807–19814. Abril de 2020.

DINIZ, G. A. S.; SIVIERO A.; BASSINELLO, P. Z.; COSTA, J. G. C.; MATTAR, E. P. L.; SANTOS, R. C.; BORGES, V. D. A. S. Agrobiodiversidade de feijões do Acre. In: Siviero, A., Santos, R.C.; Mattar, E.P.L. (ORG.) Conservação e tecnologias para o desenvolvimento agrícola e Florestal do Acre. Rio Branco, AC: Ifac. 2020.

FERREIRA, L. L.; DALBOSCO, L. E.; CARVALHO, I. R.; CARNEVALE, A. B.; MOURA, N. B.; LAUTENCHLEGER, F. Multivariate and canonical models applied to corn: benefits of green manure with *Vigna unguiculata*. *Holos*. V. 7, p 1-15. Novembro de 2020.

FIORENTIN, S. D.; Desenvolvimento de Formulações Biscoitos Tipo Cookies Com Adição de Farinha de Feijão-Caupi Brs Xiquexique. *FAG Journal of Health*. v.1, n.2, p. 36. 219.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9 ed., São Paulo: Atheneu, 2002. 297 p. Disponível em: <https://www.atheneu.com.br/produto/tabela-de-composicao-quimica-dos-alimentos-1792>. Acesso em: 12 dez. 2023.

FREIRE FILHO, F. R. **Melhoramento genético do feijão-caupi na Embrapa Amazonia Oriental: período de 2013 a 2022** / Francisco Rodrigues Freire Filho [et al.]. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.

FREITAS, T. K. T. et al. Potencial de genótipos de feijão-caupi para biofortificação de nutrientes e qualidade de cozimento. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza – CE. v. 53, n. 1, 2022.

GARG, M. et al. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. *Frontiers in Nutrition*, Índia. v. 5, n. 12, p. 1-33. Fevereiro de 2018.

GONÇALVES, F. V. et al. Protein, Phytate and Minerals in Grains of Commercial Cowpea Genotypes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, n. suppl 1, p. e20180484, 2020.

JOSHI-SAHA, A.; SUNIL, K. S.; MISRA, G.; DIXIT, G. P.; SRIVASTAVA, A. K.; Ashutosh S. Biofortified legumes: Present scenario, possibilities and challenges Archana, *Field Crops Research* v. 279. Fevereiro de 2022.

KRAUSE, D. P. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de maracujazeiro via metodologia REML/BLUP. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, n. 5, p. 42–48, 30 abr. 2021.

LOPES, A. F. D. S. et al. Selection of superior cowpea lines derived from local cultivars for the Brazilian semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v. 58, p. e03391. Setembro de 2023.

MENDONÇA, M. S. D.; MENDONÇA, M. S.; BEBER, P. M.; NASCIMENTO, F. S. S.; SANTOS, V. B.; MARINHO, J. T. Importance and correlations of characters for cowpea diversity in traditional varieties. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza. v. 49, n. 2. Abril de 2018.

MIQUELONI, D. P.; SANTOS, V. B dos; RIBEIRO, S.; MESQUITA, D. N.; FURTADO, S. da S. F. Descrição e discriminação de variedades crioulas de feijão-caupi na Amazônia Ocidental brasileira. *Acta Iguazu*, Cascavel, v. 7, n. 5, p. 49-61, dez. 2018.

NOBRE, D. A. C.; SILVA, F. C. S.; GUIMARÃES, J. F. R.; RESENDE, J. C. F.; MACEDO, W. R. Análise de trilha e correlação canônica nos componentes do desempenho de girassol. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. 4 ed. p. 364-369. 2018.

OLIVEIRA, A. M. C. D. et al. Proximate composition, minerals, tannins, phytates and cooking quality of commercial cowpea cultivars. *Revista Caatinga*, Terezina – PI. v. 36, n. 3, p. 702–710. Setembro de 2023.

PACHECO, M. **Tabela de equivalentes, medidas caseiras e composição química dos alimentos**. 2ed. Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2011. 669 p. Disponível em: [https://issuu.com/editorarubio/docs/issuu\\_tabelas\\_de\\_eq\\_dos\\_alimentos](https://issuu.com/editorarubio/docs/issuu_tabelas_de_eq_dos_alimentos). Acesso em: 15 fev. 2024.

PEREIRA H. S. et al. **Cultivares de Feijão com Maiores Teores de Ferro, Zinco e Proteína nos Grãos**. Comunicado Técnico 243. Santo Antônio de Goiás. Maio de 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177474/1/CNPAF-2018-cot243.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

PESSOA, A. M. D. S. et al. Selection in cowpea genotypes for nutritional traits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande – PB. v. 27, n. 6, p. 496–502. Fevereiro de 2023.

QUIROZ, M. C.; DE-LA-CRUZ, L. E.; OSORIO, O. R.; CHÁVEZ, S., E. **Biofortification of cowpea beans with iron: iron's influence on mineral content and yield**. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 15 p. 839-847, 2015.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: uma ferramenta útil para o melhoramento de plantas. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 16, p. 330-339. Dezembro de 2016.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CERUTTI, T.; MAZIERO, S. M.; POERSCH, N. L. **Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético.** *Bragantia*, Campinas, v.67, n.2, p.267-273, 2008.

RIOS, S. de A.; ALVES, K. R.; COSTA, N. M. B.; MARTINO, H. A. D. Biofortificação: culturas enriquecidas com micronutrientes pelo melhoramento genético. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 56, n.6, p. 713-718. Dezembro de 2009.

ROCHA, M. DE M., et al. Biofortificação feijão-caupi. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SALTZMAN, A. et al. Biofortification Techniques to Improve Food Security. Elsevier Reference Module in Food Science, v. 1, p. 1-9, 2016.

SANTOS, W. C. dos; KORN, M. D. G. A. **Aplicação da análise multivariada de dados no preparo de amostra e na determinação da composição mineral de leguminosas.** 1 ed. 216p. Curitiba: Appris, 2020.

SILVA, C. M.; LIMA, G. W.; MEZZOMO, H. C.; SIGNORINI, V. S.; OLIVEIRA, A. B.; NARDINO, M. Canonical correlations between high and low heritability wheat traits via mixed models. *Ciência Rural*. v.53. p.1-8. 2023.

SIVIERO, A.; Santos, V. B. dos; SANTOS, R. C. dos; Marinho, J. T. de S. Caracterização das principais variedades locais de feijão comum e caupi do Acre. In: Mattar, E. P. L, Oliveira, E. de.; Santos, R. C. dos; Siviero, A. (ORG.). *Feijões do Vale do Juruá*. Rio Branco, AC: Ifac. 38p. 2017.

SOMBIÉ, P. A. E. D.; COMPAORÉ, M; COULIBALY, A. Y.; OUÉDRAOGO, J. T.; TIGNÉGRÉ, J. B. S.; KIENDRÉBÉOGO, M. Antioxidant and Phytochemical Studies of 31 Cowpeas (*Vigna unguiculata* (L. Walp.) Genotypes from Burkina Faso. *Foods*. v. 7, n. 143, p. 1-9. Setembro de 2018.

SOUSA, G. A. et al. Qualidade nutricional e armazenamento de variedades de feijão-caupi cultivados no Juruá, Acre. *Delos: Desarrollo Local Sostenible*, Curitiba. v. 16, n. 43, p. 752–773. Maio de 2023.

SOUSA, G. A., IMADA, K. S., TEIXEIRA-SILVA, M. A.; NUNES, M. S., MATTAR, E. P. L. & SIVIERO, A. **Levantamento de feijões crioulos do Acre.** *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, v. 6. 2020.

SOUSA, G. A.; HERNANDES, E. E.; DAMASCENO, S. S; MATTAR, E. P. L; SIVIERO, A. Qualidade de feijão-caupi crioulo do Alto Juruá armazenado em embalagem a vácuo. *Revista Conexão na Amazônia*, v. 2, Edição especial. Novembro de 2021.

XAVIER, M. C. G.; ARAÚJO, J. C.; MENEZES, B. R. S.; JÚNIOR, P. C. D. Canonical correlations between morphological and production traits in special types of rice. *Revista Caatinga*, Mossoró. V.35, p. 764-771. Dezembro de 2022.

**3 CAPÍTULO I**

**VARIABILIDADE GENÉTICA PARA COMPOSIÇÃO MINERAL E  
TEOR DE PROTEÍNA EM GRÃOS DE FEIJÃO-CAUPI**

## RESUMO

Objetivou-se com este estudo avaliar a variabilidade genética para concentração de minerais e teor de proteínas em grãos de variedades tradicionais de feijão-caupi. A desnutrição persiste entre um terço da população mundial, com crianças, mulheres grávidas, lactantes e idosos sendo particularmente vulneráveis. A biofortificação, através do melhoramento genético, é estratégia promissora para enriquecer alimentos bases, como o feijão-caupi, com nutrientes. Variedades tradicionais dessa leguminosa apresentam ampla variabilidade genética, indicando potencial para programas de melhoria nutricional. A investigação e caracterização dessas variedades são fundamentais para identificar genótipos promissores para futuros programas de biofortificação. Foram avaliadas seis variedades tradicionais de feijão-caupi e duas cultivares BRS Tumucumaque e BRS Novaera como referência. Amostras de grãos foram analisadas quanto aos teores minerais por espectrometria de absorção atômica. Realizaram-se análises de variância e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-knott ( $p < 0,05$ ). A análise de variância revelou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os genótipos para todos os teores minerais e de proteína bruta, indicando variabilidade que permite a seleção de genótipos com melhores atributos nutricionais. As estimativas das variâncias genéticas foram superiores às variações ambientais, sugerindo predominância dos efeitos genéticos nos caracteres avaliados. Os resultados revelam valores superiores às cultivares referências para teores de proteína, ferro, zinco, fósforo, potássio, cálcio, cobre, manganês, boro. As variedades apresentam teores de proteína acima de 20%, considerados altos para leguminosas. Todas as variedades tradicionais examinadas excedem os valores de referência para zinco, destacam-se Manteiguinha Branco, Manteiguinha Vermelho e Corujinha com as maiores médias. Costela de Vaca, Manteiguinha Branco e Preto de Praia demonstram potencial para programas de melhoramento visando a biofortificação do feijão-caupi com ferro.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*; biofortificação; micronutrientes

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the genetic variability for mineral concentration and protein content in grains of traditional cowpea varieties. Malnutrition persists among a third of the world's population, with children, pregnant and breastfeeding women and the elderly being particularly vulnerable. Biofortification, through genetic improvement, is a promising strategy for enriching basic foods, such as cowpea, with nutrients. Traditional varieties of this legume present wide genetic variability, indicating potential for nutritional improvement programs. The investigation and characterization of these varieties are essential to identify promising genotypes for future biofortification programs. Six traditional cowpea varieties and two cultivars BRS Tumucumaque and BRS Novaera were evaluated as references. Grain samples were analyzed for mineral content by atomic absorption spectrometry. Analysis of variance was performed and the means were grouped using the Scott-knott test ( $p < 0.05$ ). Analysis of variance revealed significant differences ( $p < 0.05$ ) between genotypes for all mineral and crude protein contents, indicating variability that allows the selection of genotypes with better nutritional attributes. The estimates of genetic variances were higher than the environmental variations, suggesting a predominance of genetic effects in the evaluated characters. The results reveal higher values than reference cultivars for protein, iron, zinc, phosphorus, potassium, calcium, copper, manganese and boron contents. The varieties have protein levels above 20%, considered high for legumes. All traditional varieties examined exceed the reference values for zinc, with the highest averages being white butter, red butter and owl. Beef rib, white and black beach butter demonstrate potential for breeding programs aimed at biofortifying cowpea with iron.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*; biofortification; micronutrients

### 3.1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes desempenham papéis cruciais e em conjunto ditam nosso desenvolvimento físico e mental. Com exceção da anemia, a deficiência em micronutrientes é difícil de ser detectada e opera de forma silenciosa, não sendo facilmente discernível no indivíduo ou na população estudada, sendo comumente referida de "fome oculta" (RAHMAN et al., 2009), em contraposição à desnutrição (fome), que se apresenta de maneira mais evidente.

Particularmente preocupante é a vulnerabilidade acrescida das crianças, das mulheres grávidas, lactantes e dos adultos idosos. Ademais, o aumento do excesso de peso e da obesidade resulta na coexistência de diferentes formas de desnutrição (BANCO MUNDIAL, 2017). Entre as principais causas, destacam-se a falta de acesso adequado a alimentos nutritivos, a indisponibilidade desses alimentos e escolhas dietéticas inadequadas e de acordo com Singh et al. (2022), o conceito de segurança nutricional emerge como central, exigindo foco e prioridade na agenda dos melhoristas de plantas, com ênfase na qualidade nutricional dos alimentos.

A nova estratégia utilizada nos programas de melhoramento genético de culturas básicas, conhecida como biofortificação ou fortificação biológica, visa o desenvolvimento de variedades produtivas e adaptadas, enriquecidas com níveis adequados de nutrientes. A biofortificação pode se dar pela aplicação de técnicas modernas de biotecnologia, melhoramento convencional de plantas e práticas agrônômicas (GARG et al., 2018).

Dada a sua importância nutricional como alimento essencial e amplamente consumido pela população, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa com potencial significativo para biofortificação dos grãos. Sua elevada concentração de proteínas forma o alicerce alimentar e econômico de comunidades rurais, especialmente aquelas com baixa renda, destacando sua relevância tanto do ponto de vista socioeconômico quanto cultural (PINTO et al., 2021).

Além de ser conhecido por seu teor elevado de proteína com médias de 25%, estudos destacam seus conteúdos de carboidratos (63%), fibras alimentares (16%), alto valor energético (350 kcal), baixo teor de gordura (2%). Contém todos os aminoácidos essenciais, minerais importantes como o zinco, ferro, cobre, potássio, sódio, fósforo, manganês, cálcio, magnésio e vitaminas do complexo B (TACO, 2011; BEZERRA et al., 2019 e OLIVEIRA et al., 2023)

Para biofortificação dos grãos de feijão-caupi, a técnica mais utilizada é o melhoramento genético convencional, favorecido pela alta variabilidade ligada as características nutricionais conforme demonstram os estudos de Dias-Barbosa et al. (2020); Freitas et al. (2022) e Oliveira et al. (2023).

Para Saltman et al. (2016), é necessário que cultivares biofortificadas combinem maior teor de micronutrientes, características agronômicas desejáveis e preferência do mercado consumidor para que se equiparem às cultivares convencionais e alcancem tanto populações rurais quanto urbana. Sendo crucial a investigação das variedades tradicionais que estão adaptadas à região e desempenham papel significativo na produção e no consumo local.

Variedades locais, crioulas e tradicionais possuem variabilidade genética em para ampla gama de características que possibilitam sua adaptação a diferentes agroecossistemas. Ao integrar essas variações nos programas de melhoramento genético, genes fundamentais são disponibilizados, contribuindo para a ampliação da base genética, crucial no desenvolvimento de novas culturas, conforme observado nos estudos de Vivas (2014) e Piori et al. (2023).

As pesquisas com variedades tradicionais de feijão-caupi do Acre, conduzidas por Miqueloni et al. (2018); Sousa et al. (2020); e Sousa et al. (2023) revelam significativa variabilidade genética relacionada às características morfológicas, agronômicas e nutricionais indicando potencial uso em programas de melhoramento.

A caracterização para teor mineral dos grãos e o estudo de sua variabilidade é etapa essencial para identificar genótipos potenciais para compor programas de melhoramento (FERRO BISNETO et al., 2022; PESSOA et al., 2023).

O objetivo deste trabalho foi quantificar o teor de minerais e proteína presentes nos grãos de genótipos de variedades tradicionais de feijão-caupi do Acre e verificar sua variabilidade genética.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Acre (09° 58' 29", 67° 48' 36", a 153 metros de altitude). Entre os meses de julho e novembro de 2023. O clima da região é quente e úmido, do tipo Am segundo a classificação de Köppen (1918), com médias de temperatura mínima de 26,7 °C e máxima de 28 °C, umidade relativa 72,9%. A precipitação média no período do experimento foi de 109 mm (INMET, 2023).

As variedades tradicionais utilizadas foram coletadas inicialmente em propriedades rurais do município de Marechal Taumathurgo - Acre, que abriga a maior diversidade de feijão-caupi do estado do Acre (SOUSA et al., 2020). As sementes utilizadas neste trabalho são oriundas de plantios realizados nos anos de 2020 e 2021 (SOUSA et al., 2023). As cultivares utilizadas como referências foram adquiridas por meio de compra direta de produtor credenciado de sementes.

Visando padronizar as condições de cultivo e reduzir disparidades originadas pelo ambiente, tempo e método de armazenamento, as sementes foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 12 litros em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, englobando seis variedades tradicionais (Preto de praia, Corujinha, Manteiguinha Vermelho, Manteiguinha Branco, Quarentão e Costela de Vaca) e duas cultivares (BRS Tumucumaque e BRS Novaera) utilizadas como referência. Cada unidade experimental consistiu em quatro vasos, contendo duas plantas cada, totalizando oito plantas por parcela.

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi analisado, conforme detalhado na Tabela 1. Foram realizadas irrigações diárias, controle manual de ervas daninhas e aplicação de óleo de neem para o controle de pragas, sempre que necessário.

**Tabela 1 – Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento**

pH (H <sub>2</sub> O)	P mg dm <sup>3</sup>	K	Ca+Mg	Ca	Mn Cmol dm <sup>3</sup>	Al	H	H+Al
5,070	4,510	0,08	1,618	1,324	0,294	0,400	5,247	5,647
M.O g dm <sup>3</sup>	CTC (pH 7) cmol dm <sup>3</sup>	SB	S. Bases	Ca	Mg %	K	Al	H
15,110	7,344	1,7	23,11	18,03	4,00	1,08	5,45	71,44
Areia	Silte g kg	Argila	Zn	Cu	Fe mg dm <sup>3</sup>	Mn	B	S
480	270	250	1,823	0,678	269,76	92,01	0,25	2,39

A colheita foi realizada no estádio R9 (maturação), de acordo com o ciclo de cada genótipo. Dada a desuniformidade na maturação das variedades avaliadas, foi necessário realizar mais de uma colheita.

Para as análises dos teores de minerais e proteínas, cada tratamento foi representado por uma amostra contendo 50 gramas de grãos colhidos de forma aleatória. Os grãos foram submetidos à lavagem com água destilada e posteriormente levados à estufa a 60 °C por 48 horas. Em seguida, os grãos foram triturados em moedor elétrico de café até obtenção de uma farinha fina. As amostras foram armazenadas em sacos de polietileno, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Espectrometria de Absorção Atômica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Em laboratório, as amostras foram submetidas à digestão com ácido nítrico e ácido perclórico, na proporção de 4:1, com 0,5 g das amostras mantida a 200 °C, até que o extrato esteja alcalino. Após o resfriamento, o volume foi completado para 25 ml com água deionizada. Os minerais foram quantificados utilizando espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP- OES). O equipamento utilizado é calibrado com solução multielementar na mesma matriz das amostras em diferentes intervalos de concentrações: K: 3 a 300 mg/L, Ca: 2,4 a 240 mg/L, Mg: 2,0 a 200 mg/L, S e P: 0,8 a 80 mg/L, Fe: 0,4 a 40 mg/L, Mn: 0,2 a 20 mg/L, Cu, Zn e B: 0,02 a 2 mg/L.

As análises foram conduzidas em triplicata e os valores médios apresentados com base na matéria seca. O teor de proteína bruta foi calculado multiplicando o nitrogênio total quantificado ao fator de conversão nitrogênio em proteína de 6,25 segundo o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

Os dados foram submetidos a análise de variância. A variabilidade entre as progênies avaliadas foi verificada através do teste F ao nível de 5% de significância e as médias foram comparadas pelo teste Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade, utilizando-se o Software Genes (CRUZ, 2013).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância dos teores minerais e de proteína bruta estão detalhados na Tabela 2. Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas entre si ( $p < 0,05$ ) para todas as características avaliadas.

Resultados corroborados por Bezerra et al. (2019); Aludi et al. (2020); Muranaka et al. (2016) Freitas et al. (2022); Oliveira et al. (2023).

Tabela 2 - Análise de variância dos teores de proteína bruta e minerais em grãos de genótipos de feijão-caupi

FV <sup>1</sup>	GL <sup>2</sup>	Quadrados médios					
		Manganês	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Genótipo	7	371,572*	0,399*	3,089*	0,536*	0,042*	0,078*
Resíduo	16	0,588	0,008	0,144	0,002	0,002	0,001
CV <sub>e</sub> (%)		1,901	2,216	2,777	4,875	2,232	1,819
CV <sub>g</sub> (%)		27,560	8,664	7,262	15,172	6,476	8,172
CV <sub>g</sub> /CV <sub>e</sub>		14,500	3,909	2,616	3,112	2,901	4,493
		Boro	Cobre	Ferro	Zinco	Proteína Bruta	
Genótipo	7	16,943*	2,905*	108,632*	14,153*	9,258*	
Resíduo	16	0,088	0,013	3,765	1,735	0,1683	
CV <sub>e</sub> (%)		2,441	1,944	3,929	2,594	1,787	
CV <sub>g</sub> (%)		19,451	16,760	11,972	4,008	7,583	
Valor b		7,967	8,623	3,047	1,545	4,243	

<sup>1</sup>FV - Fonte de variação; <sup>2</sup>GL - Graus de liberdade; \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

Os resultados obtidos revelam baixo efeito do ambiente sobre os teores de minerais e de proteína em feijão-caupi. Os coeficientes de variação ambiental (CV<sub>e</sub>) variaram de 1,787 para proteína bruta a 4,875 para cálcio, considerado baixo para todas as variáveis, indicando boa precisão experimental e conferindo confiabilidade aos resultados.

Os coeficientes de variação genética (CV<sub>g</sub>) apresentaram valores acima de 5% que indica a existência de variabilidade para os caracteres avaliados. Assim como trabalhos desenvolvidos por Miqueloni et al. (2018); Sousa et al. (2020); Gomes et al. (2020); Sousa et al. (2023) com variedades tradicionais.

As estimativas das variâncias genéticas foram superiores às variâncias de ambiente para os todos os caracteres avaliados. O valor b dado por Venkovsky (1978), refere-se à relação entre o CV<sub>g</sub>%/CV<sub>e</sub>%. Alta relação indica alta variabilidade genética para o caráter reflete a predominância de efeitos genéticos para os caracteres avaliados. Valores iguais ou acima de uma unidade somados a valores altos de CV<sub>g</sub> indicam que há variabilidade entre os genótipos para todos os caracteres avaliados sendo, portanto, possível o progresso com a seleção.

De acordo com Silva et al. (2017), essa ampla variabilidade é crucial ao considerar a fonte de alelos de interesse, para desenvolver variedades de feijão mais produtivas, resistentes e adaptadas por meio do melhoramento genético de plantas.

Por meio da utilização do teste de Scott-Knott, observamos a estratificação dos teores minerais em grupos distintos. A quantidade de grupos formados variou de acordo com a característica avaliada o que demonstra variação nas concentrações de nutrientes para os genótipos avaliados (Tabela 3, 4 e 5).

Para os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre foram formados quatro grupos. A variedade Manteiguinha Branco revelou maiores médias para os teores de cálcio, magnésio e fósforo com valores de 1,117 g kg<sup>-1</sup>, 1,980 g kg<sup>-1</sup> e 4,613 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Agrupando-se com a cultivar referência BRS Tumucumaque para magnésio e com a variedade Costela de vaca para concentração de fósforo.

A variedade Costela de Vaca se destacou ainda para os teores de fósforo, potássio e enxofre alocada no primeiro grupo para estes minerais. Destaque também para variedade Manteiguinha Vermelho para concentração de potássio e para as variedades Quarentão e as cultivares BRS Tumucumaque e BRS Novaera para o teor de enxofre. A cultivar referência BRS Novaera apresentou as menores médias para os teores de potássio, cálcio e magnésio (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias das concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e enxofre (S) em grãos de genótipos de feijão-caupi

Genótipos	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>				
Preto de praia	4,120 b	13,970 b	0,910 b	1,770 c	1,887 c
Corujinha	4,220 b	13,070 c	0,777 c	1,700 d	1,977 b
M. Vermelho	3,627 d	14,977 a	0,820 c	1,793 c	1,620 d
M. Branco	4,613 a	14,087 b	1,117 a	1,980 a	1,887 c
Quarentão	4,080 b	12,363 d	0,893 b	1,720 d	2,093 a
Costela de Vaca	4,727 a	14,623 a	0,960 b	1,850 b	2,060 a
BRS Tumucumaque <sup>1</sup>	3,840 c	13,883 b	0,757 c	1,960 a	2,087 a
BRS Novaera <sup>1</sup>	4,083 b	12,180 d	0,697 d	1,653 d	2,070 a

<sup>1</sup>Cultivar referência; \*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p>0,05)

A concentração da maioria dos minerais propiciou a formação de quatro grupos. Contudo, para os teores de manganês e boro, registrou-se quantidade maior de

grupos, com cinco e sete grupos formados, respectivamente, o que demonstra a maior variabilidade entre os genótipos avaliados para estes minerais (Tabela 4).

A variedade Manteiguinha Branco, destacou-se com as maiores médias para ambos os minerais, com 62,26 mg kg<sup>-1</sup> para manganês e 17,122 mg kg<sup>-1</sup> para o teor de boro, mantendo-se isolada no primeiro grupo. Em seguida, as variedades Manteiguinha Vermelho e Corujinha foram classificadas no segundo e terceiro grupos, respectivamente para ambos os minerais. Quanto ao teor de manganês, a variedade Corujinha foi agrupada juntamente com as cultivares referências BRS Tumucumaque e Novaera no terceiro grupo conforme Tabela 4.

Esses resultados sugerem possível vantagem genética das variedades Manteiguinha Branco, Manteiguinha Vermelho e Corujinha em acumular esses nutrientes, essa variabilidade entre os genótipos pode ser explorada em programas de melhoramento genético, visando o desenvolvimento de cultivares com perfis nutricionais mais favoráveis para estes minerais.

Tabela 4 - Médias das concentrações de cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) em grãos de genótipos de feijão-caupi

Genótipos	Cu	Mn	B
	mg kg <sup>-1</sup>		
Preto de praia	5,770 b	32,360 d	11,710 d
Corujinha	5,023 d	39,998 c	12,264 c
M. Vermelho	5,468 c	48,364 b	13,044 b
M. Branco	5,962 b	62,260 a	17,122 a
Quarentão	7,324 a	31,190 d	10,325 f
Costela de Vaca	5,034 d	27,151 e	9,150 g
BRS Tumucumaque <sup>1</sup>	4,934 d	41,141 c	12,772 b
BRS Novaera <sup>1</sup>	7,350 a	40,328 c	11,102 e

<sup>1</sup>Cultivar referência; \*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p>0,05)

Para o teor de cobre, a variedade Quarentão (7,32 mg kg<sup>-1</sup>) alocou-se no primeiro grupo, juntamente com a cultivar BRS Novaera (7,35 mg kg<sup>-1</sup>), com as maiores médias. Por outro lado, a cultivar BRS Tumucumaque ficou isolada no último grupo, com a menor média (4,93 mg kg<sup>-1</sup>), conforme Tabela 4.

Os dados médios relativos aos teores de proteína bruta, ferro e zinco nos grãos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teores de proteína, ferro e zinco em grãos de genótipos de feijão-caupi

Genótipos	Proteína bruta	Ferro	Zinco
	%	mg kg <sup>-1</sup>	
Preto de praia	22,87 c	52.530 b	47.436 c
Corujinha	23,16 c	46.723 c	51.417 b
M. Vermelho	20,73 e	41.498 c	51.807 b
M. Branco	25,53 a	56.913 a	54.399 a
Quarentão	22,26 d	44.442 c	50.228 c
Costela de Vaca	23,74 c	57.160 a	48.624 c
BRS Tumucumaque <sup>1</sup>	24,77 b	51.677 b	50.077 c
BRS Novaera <sup>1</sup>	20,59 e	44.142 c	52.135 b

<sup>1</sup>Cultivar referência; \*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p>0,05$ )

Para os teores de proteína bruta, foram identificados cinco grupos, revelando variação significativa, com menor média (20,59%) em grãos da BRS Novaera e o maior média (25,53%) para variedade Manteiguinha Branco. Estes valores superam os da cultivar referência BRS Tumucumaque, que se encontrou no segundo grupo com média de 24,77%, assim como os da BRS Novaera, que compartilhou o último grupo com a variedade Manteiguinha Vermelho (20,73%).

De acordo com Çakir et al. (2019), teores de proteína superiores a 20% são considerados elevados para leguminosas, o que indica que os níveis de proteína nos grãos das variedades tradicionais já são consideráveis para consumo e apresentam potencial para a biofortificação da cultura.

A ingestão diária recomendada (IDR) para adultos é de 50 g dia<sup>-1</sup>, considerando que as médias para as variedades foi 23%, o consumo de 100 gramas supriria 46% da necessidade diária de proteína na idade adulta (BRASIL, 2005).

Três grupos foram estabelecidos para os teores de ferro e zinco. Quanto a concentração de ferro, a variedade Manteiguinha Branco registrou média de 56,913 mg kg<sup>-1</sup>, compartilhando o primeiro grupo com a variedade Costela de Vaca, que apresentou média de 57,160 mg kg<sup>-1</sup>. Ambos os valores são superiores aos observados para a cultivar BRS Tumucumaque, que registrou 51,677 mg kg<sup>-1</sup> e foi classificada no segundo grupo, junto com a variedade Preto de praia com média de 52,530 mg kg<sup>-1</sup> de ferro. A cultivar Novaera, também incluída como referência neste estudo, foi agrupada com as demais variedades no último grupo, com médias variando de 46,723 a 41,498 mg kg<sup>-1</sup>.

A BRS Tumucumaque foi selecionada como referência neste estudo devido ao seu status de cultivar biofortificada alcançado por meio de melhoramento convencional, para altos teores de ferro e zinco nos grãos. A cultivar apresenta teores médios de 60 mg kg<sup>-1</sup> para ferro, 50 mg kg<sup>-1</sup> para zinco e 23% para proteína (ROCHA et al., 2014). Valores encontrados neste estudo foram inferiores ao relatado para o teor de ferro (51,677 mg kg<sup>-1</sup>) e em concordância para os teores de zinco (50,077 mg kg<sup>-1</sup>) e proteína (24,77%).

Em relação ao teor de zinco, a variedade Manteiguinha Branco registrou média de 54,399 mg kg<sup>-1</sup>, posicionando-se isoladamente no primeiro grupo. A cultivar de referência BRS Novaera (52,135 mg kg<sup>-1</sup>) foi agrupada no segundo grupo, juntamente com as variedades Manteiguinha Vermelho (51,81 mg kg<sup>-1</sup>) e Corujinha (51,42 mg kg<sup>-1</sup>). Por outro lado, a cultivar referência BRS Tumucumaque apresentou das menores médias, sendo classificada no último grupo.

A cultivar BRS Novaera foi desenvolvida através de métodos tradicionais de melhoramento, visando porte ereto e alta qualidade comercial dos grãos (FREIRE FILHO et al., 2008). Embora não seja cultivar biofortificada, neste estudo, seus níveis de zinco demonstraram-se mais elevados em comparação com a cultivar BRS Tumucumaque, que apresentou valor médio mais baixo (50,077 mg kg<sup>-1</sup>) para este mineral mantendo-se no último grupo.

A ingestão diária recomendada (IDR) de ferro na idade adulta é de 14 mg dia<sup>-1</sup>. O alimento é considerado fonte quando contém 2,1 mg 100 g<sup>-1</sup> (21 mg kg<sup>-1</sup>) e é classificado como alto teor quando possui 4,2 mg 100 g<sup>-1</sup> (42 mg kg<sup>-1</sup>). Para o zinco, a IDR é de 15 mg por dia<sup>-1</sup>, considerado fonte quando apresenta 2,25 mg 100 g<sup>-1</sup> (22,5 mg kg<sup>-1</sup>) e alto teor quando contém 4,5 mg 100 g<sup>-1</sup> (45 mg kg<sup>-1</sup>). Esses valores indicam que as variedades avaliadas neste estudo atendem à demanda diária, apresentando-se como alto teor para ambos os minerais (BRASIL, 2005; BRASIL, 1998).

Em estudos sobre a qualidade nutricional de diversas cultivares de feijão-caupi, Oliveira et al. (2023), não observaram diferenças significativas nos teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio. No entanto, identificaram variações nos teores de ferro, zinco, manganês e selênio. As cultivares biofortificadas apresentaram médias de 64,4 mg kg<sup>-1</sup> para ferro, e 39,2 mg kg<sup>-1</sup> para zinco.

Em colaboração, Dias-Barbosa et al. (2020), avaliando linhagens elite de feijão-caupi quanto a teores de ferro e zinco, obtiveram valores médios de 55,9 mg kg<sup>-1</sup> e 41,5 mg kg<sup>-1</sup> para ferro e zinco, incluindo a BRS Tumucumaque também utilizada

como referência em seu estudo, valores superiores para ferro e inferiores para zinco em comparação aos encontrados no presente estudo.

Ao analisar a composição química de oito cultivares de feijão-caupi, Bezerra et al. (2019) descreveram teores de proteína variando entre 20,66% e 26,06%. A cultivar BRS Novaera também foi incluída na avaliação e apresentou teor de proteína de 20,67%. Por outro lado, Gonçalves et al. (2020) investigando genótipos comerciais de feijão-caupi em relação ao conteúdo de proteínas e minerais nos grãos, reportaram valores mais elevados de proteína, chegando a 22,49% para a cultivar BRS Novaera. No mesmo estudo os autores também identificaram valores mais elevados para teores de ferro e zinco, e valores inferiores para fósforo, potássio, cálcio, enxofre, cobre e manganês em comparação aos encontrados nesta pesquisa.

Estudando a influência do ambiente e dos componentes de produção no teor de proteínas em grãos de feijão-caupi verde, Araújo et al. (2021), concluíram que o teor pode variar em função do local de cultivo, do efeito da interação entre genótipo e ambiente e da variabilidade genética das cultivares. Ribeiro et al. (2011), propõe que a seleção de cultivares de feijão com melhor qualidade nutricional deva ser conduzida após avaliação em vários ambientes.

A composição das leguminosas varia consideravelmente em termos de macro e microelementos e é dependente de fatores inter-relacionais como características genéticas, condições de plantio relacionado ao tipo de solo e composição mineral, estágio de maturação e fatores ambientais (SANTOS; KORN, 2020).

As variedades analisadas neste estudo foram investigadas por Sousa et al. (2023) ao longo de dois anos de cultivo e apresentaram diferenças significativas para os teores de proteína entre os anos, variando de 24,58 a 27,82% no primeiro ano e de 22,36 a 27,42% no segundo ano. Com a variedade Manteiguinha Branco apresentando média superior (26,45%) de proteína, em conformidade com os resultados obtidos neste estudo.

De acordo com Silva et al. (2018), embora o feijão-caupi esteja bem adaptado às condições ambientais estressantes como altas temperaturas, salinidade, e estresse hídrico, esses fatores, combinados à fertilidade do solo, também podem influenciar seu desempenho. A análise dos resultados indica que as diferenças observadas no desempenho das cultivares referência neste trabalho podem ser atribuídas a fatores como variações no solo, clima e práticas de cultivo.

Esses aspectos podem não ter exercido impacto significativo sobre o desempenho das variedades tradicionais, dado seu histórico de adaptação às condições de cultivo mais rústicas prevalentes em nossa região. Ponto relevante a ser considerado ao selecionar genótipos para programas de melhoramento genético, com o objetivo de desenvolver cultivares biofortificadas e adaptadas às especificidades ambientais e agrícolas da região. Estudos adicionais em diferentes ambientes poderão proporcionar a compreensão mais abrangente do desempenho desses genótipos.

### 3.4 CONCLUSÕES

Há alta variabilidade para teor de proteína e minerais nos grãos de variedades tradicionais de feijão-caupi.

As variedades apresentam valores superiores para o teor de proteína bruta e para os minerais ferro, zinco, fósforo, potássio, cálcio, manganês e boro as cultivares referência.

## REFERÊNCIAS

- ALUDI, M. S.; ASANTE, I. K.; MENSAH, H. K. Evaluation of nutritional and phytochemical variability of cowpea recombinant inbred lines under contrasting soil moisture conditions in the Guinea and Sudan savanna agro-ecologies. *Helyion*. v. 6: p. 1-10. Fevereiro de 2020.
- ARAÚJO, L. B. R. et al. Influence of the environment and production components on the protein content of green cowpea grain. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 52, n. 2. Agosto de 2021.
- BANCO MUNDIAL. An overview of links between obesity and food systems: implications for the food and agriculture. The World Bank. Washington. v.1, p.1-65. Junho de 2017.
- BEZERRA, J. M. et al. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 1, p. 41-47. Pombal, PB. Janeiro de 2019.
- BISNETO, J. A. F. et al. Caracterização e divergência genética de variedades crioulas de feijão. *Diversitas Journal*, Alagoas. v. 7, n. 3, p. 1171–1181. Junho de 2022.
- BRASIL, Ministério da Saúde. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais**. Brasília: D.O.U. 22 set. 2005. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269\\_22\\_09\\_2005.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269_22_09_2005.html). Acesso em: 14 abr. 2024.
- BRASIL. **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego**. Diário Oficial União, Brasília, DF, 28 out. 1997. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1997/prt0540\\_27\\_10\\_1997.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1997/prt0540_27_10_1997.html). Acesso em: 27 abr. 2024.
- ÇAKIR, Ö. et al. Nutritional and health benefits of legumes and their distinctive genomic properties. *Food Science and Technology*, Campinas. v. 39, n. 1, p. 1-12. Março de 2019.
- CRUZ, C. D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá. v. 35. 2013, p. 271-276. Setembro de 2013.
- DIAS-BARBOSA, C. Z. D. M. C. et al. Seleção de linhagens elite de feijão-caupi de porte semiereto biofortificadas com ferro e zinco. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba. v. 6, n. 4, p. 19807–19814. Abril de 2020.
- FAO and WHO. **Codex Alimentarius Commission Procedural Manual**. Twenty-eighth edition, revised. Rome, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc5042en>. Acesso em: 23 mar. 2024.
- FAO and WHO. **Fao Statistical Yearbook**. Organização de alimentação e agricultura das nações unidas. Rome, 2013. Disponível em: <https://www.fao.org/4/i3107e/i3107e00.htm>. Acesso em: 14 abr. 2024.
- FAO. **How To Feed The World 2050**. Food and Agriculture Organization. Rome, 2009.

Disponível em: [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf). Acesso em: 06 fev. 2024.

FREIRE FILHO, F. R. et al. BRS Novaera: Cultivar de Feijão- Caupi de Porte Semi-Ereto. Comunicado Técnico 215. Belém, PA: Embrapa, 4 p. Setembro de 2008.

FREITAS, T. K. T. et al. Potential of cowpea genotypes for nutrient biofortification and cooking quality. REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA, Fortaleza, v. 53, n. 1, 2022.

GARG, M. et al. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. *Frontiers in Nutrition*, Índia. v. 5, n. 12, p. 1-33. Fevereiro de 2018.

GOMES, S. B. D. S. et al. Caracterização agrônômica de variedades crioulas de feijões caupi no Município de Senador Guiomard, Acre, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. e841986243, 31 jul. 2020.

GONÇALVES, F. V. et al. Protein, Phytate and Minerals in Grains of Commercial Cowpea Genotypes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, n.1, 2020.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais (Ano 2022)**. Brasília, 2023. Disponível em: [https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2022-2023-bras%C3%ADlia-df-teve-chuvas-abaixo-da-m%C3%A9dia-nestever%C3%A3o#:~:text=Bras%C3%ADlia%20\(DF\)%20registrou%2049%20dias,d%C3%A9ficit%20de%20132%2C2%20mm](https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2022-2023-bras%C3%ADlia-df-teve-chuvas-abaixo-da-m%C3%A9dia-nestever%C3%A3o#:~:text=Bras%C3%ADlia%20(DF)%20registrou%2049%20dias,d%C3%A9ficit%20de%20132%2C2%20mm). Acesso em: 21 mar. 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo. 4ª ed. (1ª Edição digital) p. 1020. Outubro de 2008.

MEDEIROS, A. G. de. et al. Variabilidade para o teor de minerais em linhagens F6 de feijão-caupi no Semiárido Pernambucano. *Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido*, 5. p. 80-85. 2010, Petrolina. Anais. Embrapa Semiárido, 2010.

MIQUELONI, D. P.; SANTOS, V. B dos; RIBEIRO, S.; MESQUITA, D. N.; FURTADO, S. da S. F. Descrição e discriminação de variedades crioulas de feijão-caupi na Amazônia Ocidental brasileira. *Acta Iguazu*, Cascavel, v. 7, n. 5, p. 49-61, dez. 2018.

MURANAKA, S. et al. Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. *Plant Genetic Resources*, v. 14, n. 1, p. 67–76. Março de 2016.

OLIVEIRA, A. M. C. D. et al. Proximate composition, minerals, tannins, phytates and cooking quality of commercial cowpea cultivars. *Revista Caatinga*, Terezina – PI. v. 36, n. 3, p. 702–710. Setembro de 2023.

PESSOA, A. M. D. S. et al. Selection in cowpea genotypes for nutritional traits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande – PB. v. 27, n. 6, p. 496–502. Fevereiro de 2023.

PRIORI, D. et al. Caracterização morfológica de variedades crioulas de abóboras (Cucurbita máxima) do sul do Brasil. Revista Ceres, Viçosa. v. 65, n. 4, p. 337-345. Agosto de 2018.

RAHMAN, M. Micronutrient profile of children and women in rural Bangladesh: study on available data for iron and vitamin A supplementation. East african journal of public health. v. 6, n. 1, p. 102-7. Abril de 2009.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. Semina: Ciências Agrárias, Londrina. v. 31, n. 4Sup1, p. 1367. Setembro de 2010.

ROCHA, M. DE M. et al. Biofortificação feijão-caupi. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SALTZMAN, A. et al. Biofortification Techniques to Improve Food Security. In: Reference Module in Food Science. Washington, DC, USA: Elsevier, 2016.

SANTOS, W. C. dos; KORN, M. D. G. A. **Aplicação da análise multivariada de dados no preparo de amostra e na determinação da composição mineral de leguminosas.** 1 ed. 216p. Curitiba: Appris, 2020.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. Biometrics, Vol. 30, No. 3, pp. 507-512. Setembro de 1974.

SILVA, J. D. L. et al. Selection for the development of black eye cowpea lines. Revista Caatinga, Terezina – PI. v. 31, n. 1, p. 72-79. Março de 2018.

SILVA, R. N. S.; BURLE, M. L.; PÁDUA, J. G.; LOPES, A. C. de A.; GOMES, R. L.; CASTILLO, J. M. Diversidade fenotípica em variedades crioulas de feijão-fava cultivadas no Brasil, utilizando a estratégia Ward-WLM. Revista Chilena de Pesquisa, Dourados - MS. v. 77 n. 1. Março de 2017.

SINGH, R. K. et al. Nutritional improvement of cereal crops to combat hidden hunger during the COVID-19 pandemic: Progress and prospects. Advances in Food Security and Sustainability. [s.l.] Elsevier. v. 7p. 61–82. Março de 2022.

SOUSA, G. A. et al. Qualidade nutricional e armazenamento de variedades de feijão-caupi cultivados no Juruá, Acre. Delos: desarrollo local sostenible, Curitiba. v. 16, n. 43, p. 752–773, maio 2023.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – Taco.** 4ª Edição. Campinas – SP, 2011. Disponível em: [https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf). Acesso em: 16 mar. 2024.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Ed.). Melhoramento e produção do milho no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1978. Cap.5, p.122-201.

**4 CAPÍTULO II****ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS E PREDIÇÃO DE  
VALORES GENOTÍPICOS ATRAVÉS DE MODELOS MISTOS  
PARA COMPOSIÇÃO MINERAL E TEOR DE PROTEÍNA EM  
GRÃS DE FEIJÃO-CAUPI**

## RESUMO

A capacidade de adaptação a ambientes pouco favoráveis e suas características nutricionais, torna o feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) cultura valiosa para combater a fome em regiões com pouca tecnologia agrícola disponível. O melhoramento genético da cultura visa além de aumentar sua produtividade, melhorar a qualidade nutricional dos grãos, adaptando-se às necessidades específicas de cada região. A avaliação dos componentes de variância e a previsão dos valores genotípicos são etapas cruciais nos programas de melhoramento genético na busca de genótipos potenciais. Este estudo teve como objetivo aplicar o procedimento REML/BLUP na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos de caracteres nutricionais e de produção em genótipos de variedades tradicionais de feijão-caupi. Para isso foram avaliadas seis variedades tradicionais de feijão-caupi em delineamento inteiramente casualizado, avaliados os caracteres de produtividade massa de cem grãos, comprimento de vagens e número de grãos por vagem e os minerais fósforo, potássio, enxofre, cálcio, cobre, boro, ferro, zinco, manganês, magnésio e teor de proteína. Os componentes de variância obtidos via REML foram posteriormente utilizados para estimar os parâmetros genéticos, e prever os valores genotípicos via BLUP. As variedades tradicionais de feijão-caupi apresentaram variabilidade genética quanto a concentração de minerais nos grãos e componentes de produção. Todas as características avaliadas apresentaram maior expressão genética na constituição dos seus valores fenotípicos. A metodologia REML/BLUP mostrou-se efetiva na predição dos valores genotípicos das variedades tradicionais de feijão-caupi. As variedades Manteiguinha Branco, Quarentão, Preto de Praia e Corujinha apresentaram valores genotípicos elevados para teores de ferro, zinco, proteína e características de produção, destacando-se como potenciais candidatas para programas de melhoramento visando o desenvolvimento de cultivares biofortificadas.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*; REML/BLUP; minerais

## ABSTRACT

The ability to adapt to unfavorable environments and its nutritional characteristics makes cowpea (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) a valuable crop to combat hunger in regions with little available agricultural technology. The genetic improvement of the crop aims, in addition to increasing its productivity, to improve the nutritional quality of the grains, adapting to the specific needs of each region. The assessment of variance components and the prediction of genotypic values are crucial steps in genetic improvement programs in the search for potential genotypes. This study aimed to apply the REML/BLUP procedure to estimate genetic parameters and predict genotypic values of nutritional and production traits in genotypes of traditional cowpea varieties. For this purpose, six traditional varieties of cowpea were evaluated in a completely randomized design, evaluating the productivity traits, mass of one hundred grains, pod length and number of grains per pod, and the minerals phosphorus, potassium, sulfur, calcium, copper, boron, iron, zinc, manganese, magnesium and protein content. The variance components obtained via REML were subsequently used to estimate genetic parameters, and predict genotypic values via BLUP. Traditional varieties of cowpea showed genetic variability in terms of the concentration of minerals in the grains and production components. All characteristics evaluated showed greater genetic expression in the constitution of their phenotypic values. The REML/BLUP methodology proved to be effective in predicting the genotypic values of traditional cowpea varieties. The varieties Manteiginha Branco, Quarentão, Preto de Praia and Corujinha showed high genotypic values for iron, zinc, protein and production characteristics, standing out as potential candidates for breeding programs aimed at developing biofortified cultivars.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*; REML/BLUP; minerals

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) desempenha papel fundamental na alimentação de muitas comunidades, especialmente aquelas de baixa renda no campo e cidades. Sua capacidade de adaptação a ambientes pouco favoráveis a torna cultura valiosa no combate a fome em regiões com pouca tecnologia agrícola disponível (MIQUELONI et al., 2018).

O melhoramento genético do caupi visa não apenas aumentar sua produtividade, mas também melhorar a qualidade nutricional dos grãos, adaptando-se às necessidades específicas de cada região. Segundo Pessoa et al. (2023), a seleção é essencial identificar germoplasmas com potencial nutricional elevado, para o desenvolvimento de cultivares biofortificadas.

Há ampla variabilidade relatada para as concentrações de minerais em grãos de feijão-caupi, destacado nos estudos de Aludi et al. (2020); Dias Barbosa et al. (2020); Freitas et al. (2022) e Oliveira et al. (2023), incluindo variedades tradicionais do Acre Mendonça et al. (2018); Miqueloni et al. (2018); Diniz et al. (2020); Sousa et al. (2023).

De acordo com Carias et al. (2017), é possível observar aumento nos teores de elementos importantes em genótipos de variedades tradicionais/crioulas. Esta alta variabilidade oferece oportunidade potencial para os estudos de biofortificação genética, que visam aumentar a concentração de nutrientes essenciais nos alimentos.

A avaliação dos componentes de variância e a previsão dos valores genéticos são etapas cruciais nos programas de melhoramento genético. Dada a complexidade na seleção de características quantitativas, devido à sua natureza poligênica e à influência significativa do ambiente, é essencial utilizar ferramentas genético-estatísticas que possam isolar os efeitos genotípicos e prever valores genéticos com maior precisão (BARROSO NETO et al., 2017).

O método REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Residual ou restrita/Melhor Predição Linear Imparcial), também conhecido como metodologia de modelo misto é um procedimento ideal de avaliação genotípica (RESENDE, 2016). Este procedimento lida naturalmente com o desequilíbrio, levando a estimativas e previsões mais precisas de parâmetros genéticos e valores genéticos. As propriedades do método permitem maximização da acurácia, predição não viesada dos valores genotípicos, minimização do erro que aliado à

variabilidade presente nas variedades tradicionais/crioulas contribui para aumentar a eficiência e o ganho genético da seleção (RESENDE, 2016).

Estudos recentes consolidam a eficácia do método REML/BLUP como procedimento padrão para a previsão de parâmetros genéticos e seleção otimizada em diversas situações e espécies no contexto do melhoramento de plantas como arroz (BERCHEMBROCK et al., 2021), trigo (MEIER et al., 2021), berinjela (SILVA et al., 2022), laranja doce (CAPISTRANO et al., 2020), maracujá (KRAUSE et al., 2021) e feijão fava (CARVALHO et al., 2022).

Trabalhos como os de Barroso Neto et al. (2017), e Lopes et al. (2023) também validam a utilização do método na cultura do feijão-caupi para caracteres morfológicos e de produção, porém a utilização dos modelos mistos para estimação dos componentes de variância e previsão de valores genéticos em características nutricionais ainda é escasso.

Assim, este estudo teve como objetivo aplicar o procedimento REML/BLUP na estimação de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos de caracteres nutricionais e de produção em grãos de genótipos de variedades tradicionais de feijão-caupi.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na unidade experimental da Universidade Federal do Acre (09° 58' 29", 67° 48' 36", a 153 metros de altitude). Entre os meses de julho e novembro de 2023. O clima da região é quente e úmido, do tipo Am segundo a classificação de Köppen (1918). As médias de temperatura foram mínima de 26,7 °C e máxima de 28 °C, umidade relativa 72,9% e precipitação de 109 mm (INMET, 2023) no período de avaliação do experimento.

As sementes das variedades tradicionais utilizadas neste trabalho são oriundas de experimentos realizados por Sousa et al. (2023), nas safras dos anos de 2020/2021.

As sementes foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 12 litros em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e seis tratamentos, englobando seis variedades tradicionais (Preto de Praia, Corujinha, Manteiguinha Vermelho, Manteiguinha Branco, Quarentão e Costela de Vaca). Foi composta por quatro vasos, contendo duas plantas cada, totalizando oito plantas em cada parcela.

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi analisado, e apresentou pH = 5,1; P = 3,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 31,1 mg dm<sup>-3</sup>; MO = 15, 1 g dm<sup>-3</sup>; Al = 0,40 cmol dm<sup>-3</sup>; Ca+Mg = 1,62 cmol dm<sup>-3</sup>; Fe = 269,8 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 1,8 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 92,0 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,68 mg dm<sup>-3</sup>; B = 0,25 mg dm<sup>-3</sup>; S = 2,39 mg dm<sup>-3</sup>. Foram realizadas irrigações diárias, controle manual de ervas daninhas e aplicação de óleo de neem para o controle de pragas, sempre que necessário.

Todas as vagens das parcelas foram colhidas manualmente por ocasião da sua maturação, entre 60 e 90 dias do plantio a depender do ciclo de cada genótipo. Foram avaliados os caracteres de vagens e grãos: comprimento médio de vagem (CMV, mm), determinado pela média de dez vagens por planta, medido com régua graduada em centímetros; número de grãos por vagem (NGV), determinado pela contagem do número de grãos comerciais em cada vagem, com base em 10 vagens; massa de cem grãos (MCG, g), determinada pela obtenção da massa de 100 grãos com uso de balança analítica.

Para a avaliação mineral dos grãos, amostra contendo 50 gramas de grãos foi coletada de forma aleatória de cada tratamento, submetidos à lavagem com água destilada e posteriormente levados à estufa a 60 °C por 48 horas. Em seguida, os

grãos foram triturados em moedor elétrico de café até obtenção de uma farinha fina. As amostras foram armazenadas em sacos de polietileno, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Espectrometria de Absorção Atômica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Em laboratório, as amostras foram submetidas à digestão com ácido nítrico e ácido perclórico, na proporção de 4:1, com 0,5 g das amostras mantida a 200 °C, até que o extrato esteja alcalino. Após o resfriamento, o volume foi completado para 25 ml com água deionizada. Os minerais foram quantificados utilizando espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP- OES). O equipamento utilizado é calibrado com solução multielementar na mesma matriz das amostras em diferentes intervalos de concentrações: K: 3 a 300 mg/L, Ca: 2,4 a 240 mg/L, Mg: 2,0 a 200 mg/L, S e P: 0,8 a 80 mg/L, Fe: 0,4 a 40 mg/L, Mn: 0,2 a 20 mg/L, Cu, Zn e B: 0,02 a 2 mg/L.

As análises foram conduzidas em triplicata e os valores médios apresentados com base na matéria seca em mg kg<sup>-1</sup> e g kg<sup>-1</sup> a depender do mineral. O teor de proteína bruta foi calculado multiplicando o nitrogênio total quantificado ao fator de conversão nitrogênio em proteína de 6,25 segundo o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

Os componentes de variância estimados por esse modelo levaram em consideração a análise individual da população dado por  $y = Xu + Zg + e$ , em que  $y$  é o vetor de dados,  $u$  é o escalar referente à média geral (efeito fixo),  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios),  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas ( $X$ ,  $Z$ ) representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Os componentes de variância obtidos via REML foram posteriormente utilizados para estimar os seguintes parâmetros genéticos:  $V_g$ : variância genotípica.  $V_e$ : variância residual.  $V_f$ : variância fenotípica individual.  $h^2_g = h^2$ : herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais.  $CV_g\%$ : coeficiente de variação genotípica. coeficiente de variação relativo  $CV_e\%$ : coeficiente de variação residual;  $CV_r$ : coeficiente de variação experimental, obtido pela razão entre o coeficiente genotípico de variação e coeficiente de variação ambiental; acurácia de seleção obtida pela fórmula:  $r_{gg} = \sqrt{\frac{1-PEV}{\sigma_g^2}}$ , sendo PEV a variância do erro

dos valores genotípicos e  $\sigma_g^2$  a variância genotípica média geral do experimento (RESENDE, 2007).

Para avaliar a significância dos efeitos aleatórios no modelo linear misto, foi realizado o teste da razão de verossimilhança (LRT), estabelecido pela diferença entre os deviances do modelo com e sem os efeitos testados, onde a significância foi comparada com o teste qui-quadrado, com um grau de liberdade. Os valores genéticos foram estimados utilizando os BLUPs gerados para cada indivíduo e característica avaliada.

Para estimar os componentes de variância e prever os valores genotípicos foi utilizado o software SELEGEN - REML/BLUP (RESENDE, 2016).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de deviance (LTR) revelou efeito significativo dos tratamentos em todas as características avaliadas pelo teste qui-quadrado a 1% de significância (Tabela 6). Esta análise representa a generalização da análise de variância clássica, para casos balanceados e desbalanceados e indica a qualidade do ajuste do modelo (RESENDE, 2007).

Esses resultados destacam a presença de variabilidade genética significativa entre as variedades tradicionais em relação aos caracteres agronômicos associados à produção, bem como a concentração de minerais e proteínas nos grãos. Os resultados obtidos, sugerem a possibilidade de identificar genótipos superiores, permitindo a seleção entre eles para o desenvolvimento de futuras cultivares, conforme mencionado por Oliveira et al. (2017).

Estudando caracteres ligados a produção, Barroso Neto et al. (2017) e Lopes et al. (2023), também obtiveram resultados semelhantes para os caracteres número de grãos por vagens, comprimento de vagens e massa de cem grãos, detectando diferenças significativas pelo teste de razão de verossimilhança (LRT) em genótipos de feijão-caupi para estas características.

É possível observar na Tabela 6, que entre os componentes de variância, a influência genotípica é mais pronunciada do que a ambiental tanto para os concentração de minerais quanto para os caracteres agronômicos, revelando valores de variâncias genotípicas maiores que as ambientais no estudo dessas características. Isso nos leva à conclusão de que os genótipos avaliados demonstram que grande proporção da variância total das características avaliadas está associada a fatores genéticos.

Ao estudar a correlação entre componentes de produção em feijão-caupi, Santana et al. (2022), também relatam predominância do componente genético na expressão fenotípica. A predominância da variância genética é crucial para o processo de melhoramento, pois destaca a capacidade de selecionar genótipos nos quais os traços fenotípicos são predominantemente determinados pela composição genética dos indivíduos, proporcionando cenário altamente favorável (BORÉM et al., 2017).

As estimativas de herdabilidade ( $h^2_g$ ) foram consideradas elevadas para todas as características analisadas (Tabela 6). Neste estudo as taxas de herdabilidade variaram de 0,74 a 0,99 para os teores de zinco e manganês, respectivamente, o que

significa que grande proporção da variância total no rendimento de grãos é hereditária. Para as características agrônômicas os valores variaram de 0,84 para NGV a 0,98 para MCG.

Tabela 6 - Estimativas dos componentes de variância e dos parâmetros genéticos para os caracteres comprimento médio de vagem (CMV), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG), proteína bruta (PB) fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn), boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) em grãos de variedades tradicionais de feijão-caupi

Caráter	Parâmetros							MED	LRT
	V <sub>f</sub>	V <sub>g</sub>	V <sub>e</sub>	h <sup>2</sup> <sub>g</sub>	CV <sub>g</sub>	CV <sub>e</sub>	CV <sub>r</sub>		
P	0.166	0.155	0.011	0.93	9.301	2.454	3.789	4.23	25.53**
K	1.065	0.894	0.171	0.84	6.828	2.988	2.285	13.85	15.24**
Ca	0.015	0.014	0.001	0.94	12.946	3.287	3.939	0.91	26.37**
Mg	0.011	0.010	0.001	0.89	5.553	1.979	2.806	1.80	19.22**
S	0.030	0.028	0.002	0.95	8.793	1.998	4.402	1.92	28.83**
Cu	0.734	0.738	0.014	0.98	14.761	2.079	7.098	5.76	39.76**
Mn	173.629	172.996	0.632	0.99	32.701	1.978	16.539	40.22	59.78**
B	7.661	7.560	0.102	0.98	22.410	2.599	8.622	12.27	44.32**
PB	2.651	2.461	0.189	0.93	6.808	1.889	3.603	23.03	24.44**
Fe	45.409	43.075	2.333	0.95	13.159	3.066	4.296	49.88	28.29**
Zn	7.389	5.484	1.905	0.74	4.623	2.724	1.697	50.65	10.17**
CMV	6.725	6.136	0.588	0.91	16.391	5.075	3.229	15.11	29.27**
NGV	6.613	5.559	1.054	0.84	20.706	9.017	2.296	11.39	19.94**
MCG	63.576	62.726	0.849	0.98	49.986	5.818	8.591	15.84	59.15**

V<sub>g</sub>: variância genotípica; V<sub>a</sub>: ambiental; V<sub>f</sub>: variância fenotípica; h<sup>2</sup><sub>g</sub>: herdabilidade das parcelas individuais em sentido amplo; CV<sub>g</sub>%: coeficiente de variação genotípico; CV<sub>e</sub>%: coeficiente de variação residual; CV<sub>r</sub>: coeficiente de variação relativa; MED: média; LRT: teste de razão de verossimilhança; \*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste Qui-quadrado.

Altas herdabilidades também foram observadas por Barroso Neto et al. (2017), para massa de cem grãos (0,90), comprimento de vagem (0,80) e número de grãos por vagem (0,78) em cultivares locais no semi-árido. Bem como Owsusu et al. (2021) para massa de cem grãos (0,91), o número de grãos por vagens apresentou valor de herdabilidade inferior aos observados neste estudo (0,55). Valores de herdabilidades baixos para comprimento de vagem (0,32), número de grãos por vagem (0,33), peso de cem grãos (0,69) também foram observaram por Lopes et al. (2023).

Em colaboração com esta pesquisa, Miqueloni et al. (2018), utilizando a metodologia REML/BLUP para caracterizar e discriminar variedades tradicionais por meio de descritores morfológicos, obtiveram valores de herdabilidade média entre 0,63 e 0,76 e acurácia de 79 a 95%. Assim como neste trabalho os autores descrevem que o componente genético teve maior influência que no descritor que o ambiental, sugerindo superioridade das variedades.

As estimativas elevadas de herdabilidade encontradas neste estudo indicam que grande parcela da variabilidade observada pode ser atribuída à variação genotípica. Indicando que as variedades tradicionais podem ser fonte promissora para a seleção e obtenção de genótipos superiores, com potencial para ganhos genéticos em todas as características avaliadas.

No que diz respeito ao coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ), com exceção do teor de zinco (4,62), observa-se valores acima de 5% para todas as características analisadas, variando de 5,55 para o teor de magnésio a 49,986 para massa de cem grãos, conforme descritos na Tabela 6. O  $CV_g$ , quantifica a magnitude da variação genética disponível para seleção, os valores observados foram considerados elevados de acordo com Cruz et al. (2014), característica desejável para processo de seleção.

O coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ), foi considerado baixo, demonstrando boa precisão do experimento (Tabela 6). A razão entre o  $CV_g$  e  $CV_e$  permite obter o coeficiente de variação relativa ( $CV_r$ ), estimativas iguais ou superior a 1 (um) indicam superioridade da variância genética em relação à ambiental na expressão do fenótipo, situação favorável para a condução em programa de melhoramento, segundo Meira et al. (2020); Gomes et al. (2022) e Lopes et al. (2023).

Conforme Tabela 6, todos os caracteres apresentaram  $CV_r$  acima de 1 (um), indicando possibilidade de seleção tanto para concentração mineral quanto para os caracteres agrônômicos ligados a produção avaliados nesse estudo.

Para os caracteres massa de cem grãos, comprimento de vagens e número de grãos por vagem, Lopes et al. (2023) relatam valores de  $CV_e$  maiores que  $CV_g$  apresentando  $CV_r$  abaixo de 1 para estes caracteres avaliando linhagens de feijão-caupi, o que reforça a importância da variabilidade contida nas variedades tradicionais para uso em programas de melhoramento da cultura.

Através das predições de BLUP, foi obtido o ordenamento decrescente dos genótipos avaliados, através dos valores genotípicos preditos, conforme Tabelas 7 e 8. Observamos valores genotípicos acima da média geral, com possibilidade de ganho com a seleção e elevação da média para todas as características avaliadas.

Tabela 7 - Valores genotípicos preditos  $\hat{\mu} + \hat{g}$  e ordenação (Or.) para teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, manganês e boro nas variedades tradicionais de feijão-caupi Preto de Praia (V1), Corujinha (V2), Manteiguinha Vermelho (V3), Manteiguinha Branco (V4), Quarentão (V5) e Costela de Vaca (V6)

Or.	Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var.						
1	4.715	<b>V6</b>	14.909	<b>V3</b>	1.112	<b>V4</b>	1.973	<b>V4</b>
2	4.605	V4	14.577	V6	0.959	V6	1.848	V6
3	4.220	V2	14.072	V4	0.910	V1	1.794	V3
4	4.122	V1	13.963	V1	0.894	V5	1.771	V1
5	4.083	V5	13.117	V2	0.822	V3	1.723	V5
6	3.640	V3	12.452	V5	0.779	V2	1.704	V2
$\mu$	4.23		13.85		0.91		1.80	
$r_{gg}$	0.90		0.88		0.90		0.89	
Or.	Enxofre		Cobre		Manganês		Boro	
	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var.						
1	2.090	<b>V5</b>	7.314	<b>V5</b>	62.233	<b>V4</b>	17.100	<b>V4</b>
2	2.058	V6	5.960	V4	48.354	V3	13.041	V3
3	1.976	V2	5.770	V1	39.998	V2	12.264	V2
4	1.887	V1	5.470	V3	32.201	V1	11.712	V1
5	1.887	V4	5.038	V6	31.201	V5	10.334	V5
6	1.625	V3	5.028	V2	27.167	V6	9.164	V6
$\mu$	1.92		5.76		40.22		12.27	
$r_{gg}$	0.90		0.90		0.91		0.91	

$\mu$ : média geral;  $r_{gg}$ : acurácia seletiva

A variedade Manteiguinha Branco apresentou valores genotípicos preditos acima da média para os sete dos oito minerais apresentados na Tabela 6. Mostrando-se promissora para seleção visando aumento dos teores dos minerais fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês e boro nos grãos da cultura. As outras variedades com valores genotípicos promissores para pelo menos três minerais são Costela de vaca, Manteiguinha Vermelho e Preto de Praia.

Através do procedimento REML/BLUP, Nascimento et al. (2023) avaliaram componentes de variância e estimaram valores genotípicos em famílias de meio irmãos de milho tradicional e conclui que o procedimento foi eficiente na predição dos valores genotípicos, sendo possível a seleção de famílias potenciais para uso em

programas de melhoramento e a observação de características com maior expressão genética na composição de seu fenótipo.

Tabela 8 - Valores genotípicos preditos  $\hat{\mu} + \hat{g}$  e ordenação (Or.) para teores de proteína, ferro, zinco, comprimento médio de vagem (CMV), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (MCG) nas variedades tradicionais de feijão-caupi Preto de Praia (V1), Corujinha (V2), Manteiguinha Vermelho (V3), Manteiguinha Branco (V4), Quarentão (V5), Costela de Vaca (V6)

Or.	Proteína		Ferro		Zinco		COMP		NGV		MCG	
	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Or	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var	$\hat{\mu} + \hat{g}$	Var
1	25.46	<b>V4</b>	57.03	<b>V6</b>	54.01	<b>V4</b>	17.84	<b>V2</b>	14.98	<b>V3</b>	29.53	<b>V5</b>
2	23.72	V6	56.79	V4	51.69	V3	16.91	V6	12.05	V1	17.84	V6
3	23.15	V2	52.48	V1	51.34	V2	16.48	V1	11.73	V2	17.66	V2
4	22.87	V1	46.78	V2	50.27	V5	14.87	V5	11.05	V6	13.02	V1
5	22.28	V5	44.54	V5	48.83	V6	13.12	V3	10.64	V4	13.02	V3
6	20.79	V3	41.65	V3	47.77	V1	11.45	V4	7.87	V5	7.37	V4
$\mu$	23.04		49.88		50.65		15.11		11.39		15.84	
$r_{gg}$	0.90		0.90		0.86		0.90		0.89		0.91	

$\mu$ : média geral;  $r_{gg}$ : acurácia seletiva

Além de fonte promissora de proteína, estudos voltados a biofortificação dos grãos de feijão-caupi têm focado nos minerais ferro e zinco como forma viável de reduzir o problema da desnutrição de maneira mais econômica, através do desenvolvimento de cultivares com qualidade nutricional superior (KUMAR et al., 2020).

Segundo os valores genotípicos obtidos para teores de ferro, zinco e proteína (Tabela 8), a variedade Manteiguinha Branco esteve entre as três variedades com valores genotípicos acima da média com possibilidade de seleção para essas características. Somadas a ela, em termos de teores de proteína, as variedades Costela de Vaca e Corujinha também se destacaram indicando relevância na obtenção de cultivares com altos teores de proteína nos grãos.

No que diz respeito aos teores de ferro, as variedades Costela de Vaca e Preto de Praia também apresentaram médias superiores à média geral, o que as torna candidatas interessantes para a produção de grãos com teores elevados desse mineral. As variedades Manteiguinha Vermelho e Corujinha, para teor de zinco nos grãos, demonstraram desempenho notável, sugerindo sua utilidade em programas de melhoramento genético focados nesse atributo.

Esses resultados sugerem que as variedades destacadas podem ser opção promissora para a seleção voltada à obtenção de cultivares biofortificadas, visando aumentar os níveis de ferro, zinco e proteínas nos grãos.

Para os componentes de produção as variedades Costela de Vaca, Corujinha e Preto de Praia apresentaram valores genotípicos elevados para massa de cem grãos, comprimento de vagem e número de grãos por vagem. O que evidencia a possibilidade encontrar alelos favoráveis nas variedades tradicionais avaliadas para os caracteres de produção somados a concentração de minerais nos grãos.

Avaliando a divergência entre variedades tradicionais por meio de caracteres morfológicos, Miqueloni et al. (2018) destacam as variedades Manteiguinha e Quarentão como as mais divergentes em relação as demais variedades, sugerindo maior probabilidade de recombinação e alcance de resultados positivos em futuros trabalhos de melhoramento da cultura.

A acurácia seletiva ( $r_{gg}$ ) visa prever se os valores genotípicos estimados ou preditos a partir dos dados coletados durante o experimento refletem o valor genotípico verdadeiro, através da correlação entre eles, indicando assim a qualidade dos resultados. Varia de 0 a 1, sendo classificada como muito alta ( $Ac \geq 0,90$ ), alta ( $0,70 \leq Ac < 0,90$ ), moderada ( $0,50 \leq Ac < 0,70$ ) e baixa ( $Ac < 0,50$ ). (RESENDE; DUARTE, 2007; PIMENTEL et al., 2014).

De acordo Resende e Duarte (2007), a acurácia acima de 90% só é possível para caracteres com alta herdabilidade. Os teores de fósforo, cálcio, manganês, enxofre, cobre, boro, proteína, ferro, massa de cem grãos e comprimento de vagem apresentaram acurácias muito altas (Tabela 8) somados a altas herdabilidades (Tabela 6). Os demais valores de acurácia apresentaram-se entre de 0,86 e 0,89 demonstrando alta magnitude, permitindo inferir que o procedimento foi preciso na previsão dos valores genotípicos, refletindo confiabilidade na seleção com base nos valores observados.

Acurácias acima de 0,5 foram observadas para todas as características avaliadas, com destaque para comprimento de vagem, número de grãos por vagem e massa de cem grãos que apresentam acurácia próxima a 1 (um), indicando eficiência no processo de seleção dessas características foram relatados por Barroso Neto et al. (2017).

#### 4.4 CONCLUSÕES

A metodologia REML/BLUP mostra-se eficiente na predição dos valores genotípicos das variedades tradicionais de feijão-caupi.

Os caracteres agronômicos e os componentes nutricionais avaliados apresentam predominância do componente genético em sua expressão fenotípica.

Há variabilidade genética entre as variedades tradicionais de feijão-caupi para concentração de minerais nos grãos e componentes de produção.

## REFERÊNCIAS

- BARROSO NETO, A. M. et al. Genetic Variability and Selection of Extra-Early Cowpea Progenies. *Revista Caatinga, Mossoró*. v. 30, n. 3, p. 698–707. Setembro de 2017.
- BERCHEMBROCK, Y. V. et al. Parâmetros Genéticos E Seleção Genotípica Em Arroz De Terras Altas / Genetic Parameters and Genotype Selection in Upland Rice. *Brazilian Journal of Development, Curitiba*, v. 7, n. 3, p. 28087–28095. Março de 2021.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas**. 7. ed. Viçosa: EDUFV. 543 p. 2017.
- CAPISTRANO, M. D. C. et al. Use of the REML/BLUP methodology for the selection of sweet orange genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*. v. 56, p. e02032. Março de 2021.
- CARIAS, C. M. DE O. M., et al. **Parâmetros genéticos em feijão comum via REM/BLUP**. XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, nov. 2017.
- CARVALHO, J. L. R. D. et al. Lima Bean Populations Assessments Via Reml/Blup Methodology. *Revista Caatinga, Mossoró*. v. 35, n. 4, p. 783–790. Outubro de 2022.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV. 668. 2014. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/237/o/Modelos\\_Biometricos\\_em\\_Genetica\\_e\\_Melhoramento.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/237/o/Modelos_Biometricos_em_Genetica_e_Melhoramento.pdf). Acesso em: 24 abr de 2024.
- DIAS-BARBOSA, C. Z. D. M. C. et al. Seleção de linhagens elite de feijão-caupi de porte semiereto biofortificadas com ferro e zinco. *Brazilian Journal of Development, Curitiba*. v. 6, n. 4, p. 19807–19814. Abril de 2020.
- DINIZ, G. A. S.; SIVIERO A.; BASSINELLO, P. Z.; COSTA, J. G. C.; MATTAR, E. P. L.; SANTOS, R. C.; BORGES, V. D. A. S. Agrobiodiversidade de feijões do Acre. In: Siviero, A., Santos, R.C.; Mattar, E.P.L. (ORG.) *Conservação e tecnologias para o desenvolvimento agrícola e Florestal do Acre*. Rio Branco, AC: Ifac. 2020.
- FREITAS, T. K. T. et al. Potencial de genótipos de feijão-caupi para biofortificação de nutrientes e qualidade de cozimento. *Revista Ciência Agronômica, Fortaleza – CE*. v. 53, n. 1, 2022.
- INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais (Ano 2022)**. Brasília, 2023. Disponível em: [https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2022-2023-bras%C3%ADlia-df-teve-chuvas-abaixo-da-m%C3%A9dia-neste-ver%C3%A3o#:~:text=Bras%C3%ADlia%20\(DF\)%20registrou%2049%20dias,d%C3%A9ficit%20de%20132%2C2%20mm](https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2022-2023-bras%C3%ADlia-df-teve-chuvas-abaixo-da-m%C3%A9dia-neste-ver%C3%A3o#:~:text=Bras%C3%ADlia%20(DF)%20registrou%2049%20dias,d%C3%A9ficit%20de%20132%2C2%20mm). Acesso em: 21 mar. 2024.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo. 4ª ed. (1ª Edição digital) p. 1020. Outubro de 2008.

- KRAUSE, D. P. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de maracujazeiro via metodologia REML/BLUP. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, n. 5, p. 42–48, 30 abr. 2021.
- KUMAR, S.; PANDEY, G. Biofortification of pulses and legumes to enhance nutrition. *Heliyon*, Índia. v. 6. Março de 2020.
- LOPES, A. F. D. S. et al. Selection of superior cowpea lines derived from local cultivars for the Brazilian semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v. 58, p. e03391. Setembro de 2023.
- MEIER, C. et al. Genetic parameters and multiple-trait selection in wheat genotypes. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia. v. 51, p. e67996. Julho de 2021.
- MENDONÇA, M. S. D.; MENDONÇA, M. S.; BEBER, P. M.; NASCIMENTO, F. S. S.; SANTOS, V. B.; MARINHO, J. T. Importance and correlations of characters for cowpea diversity in traditional varieties. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza. v. 49, n. 2. Abril de 2018.
- MIQUELONI, D. P. et al. Descrição e discriminação de variedades crioulas de feijão-caupi na Amazônia Ocidental brasileira. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.7, n.5 (Suplemento), p. 49-61. Dezembro de 2018.
- NASCIMENTO, L. D. O. et al. Parâmetros genéticos e predição dos valores genotípicos via REML/BLUP em famílias de meios-irmãos de milho tradicional. *Scientia Naturalis*, Rio Branco – AC. v. 5, n. 2. Dezembro de 2023.
- OLIVEIRA, A. M. C. D. et al. Proximate composition, minerals, tannins, phytates and cooking quality of commercial cowpea cultivars. *Revista Caatinga*, Terezina – PI. v. 36, n. 3, p. 702–710. Setembro de 2023.
- OWUSU, E. Y. et al. 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, p. e07890. Setembro de 2021.
- PESSOA, A. M. D. S. et al. Selection in cowpea genotypes for nutritional traits. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande – PB. v. 27, n. 6, p. 496–502. Fevereiro de 2023.
- PIMENTEL, A. J. B. et al. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v. 49, n. 11, p. 882–890. Novembro de 2014.
- RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: uma ferramenta útil para o melhoramento de plantas. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 16, p. 330-339. Dezembro de 2016.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia – GO. v. 37, n. 3, p. 182-194. Setembro de 2007.

SANTANA, S. R. A. de; SANTANA, J. T. da S.; MEDEIROS, J. E.; COSTA, K. D. da S.; COSTA, K. D. da S.; SILVA, J. W da. Correlações em componentes de produção de feijão-caupi cultivado em ambiente de sequeiro na Zona da Mata Norte de Pernambuco: Correlations in production components of cowpea cultivated in rainfed environment in Zona da Mata Norte of Pernambuco. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba. v. 8, n. 11, p. 73414–73425. Novembro de 2022.

SILVA, J. A. D. S. et al. Adaptability and stability of eggplant submitted to different levels of shading via REML/BLUP. *Horticultura Brasileira*, v. 40, n. 1, p. 99–106. Janeiro de 2022.

SOUSA, G. A. et al. Qualidade nutricional e armazenamento de variedades de feijão-caupi cultivados no Juruá, Acre. *Delos: Desarrollo Local Sostenible*, Curitiba. v. 16, n. 43, p. 752–773. Maio de 2023.

**5 CAPÍTULO III****INTER-RELAÇÕES E CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE  
COMPONENTES DE PRODUÇÃO E NUTRICIONAIS BASEADAS  
EM VALORES GENOTÍPICOS EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI**

## RESUMO

A obtenção de informações sobre as relações entre os principais componentes de produção e caracteres nutricionais assim como suas inter-relações são de suma importância nos programas de melhoramento do feijão-caupi, visando a seleção de genótipos superiores. A análise de correlações canônicas nos permite prever e descrever a relação entre grupos de caracteres permitindo a seleção indireta de genótipos superiores. O objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre componentes de produção e caracteres nutricionais através da correlação linear de Pearson e da análise de correlação canônica utilizando valores genotípicos obtidos via REML/BLUP em variedades tradicionais de feijão-caupi. Foram avaliadas seis variedades em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, avaliados os caracteres de produtividade massa de cem grãos, comprimento de vagens e número de grãos por vagem e análise da concentração de minerais fósforo, potássio, enxofre, cálcio, cobre, boro, ferro, zinco, manganês, magnésio e teor de proteína. Os valores genotípicos foram previstos via BLUP. Com uso da matriz, a correlação de Pearson e as correlações canônicas foram avaliadas. Para a análise de correlação canônica dois conjuntos de características foram estabelecidos, o Grupo I, formado por componentes de produção e Grupo II, formado por caracteres nutricionais. Foram detectadas correlações positivas e altas entre os minerais avaliados. A seleção de genótipos para a biofortificação de ferro e zinco também resultará em aumentos significativos de outros minerais essenciais e na obtenção de cultivares com teores mais elevados de proteínas nos grãos. As análises de correlações canônicas evidenciam dependência entre os grupos de componentes de produção e os caracteres nutricionais, permitindo a investigação de relações de causa e efeito, além de viabilizar a seleção indireta em variedades tradicionais de feijão-caupi para a biofortificação dos grãos. As variáveis número de grão por vagem, proteína, comprimento médio de vagem e zinco foram consideradas as mais importantes para explicar a associação entre as características nutricionais e de produção.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*; minerais; associação

## ABSTRACT

Providing information on the relationships between the main production components and nutritional traits as well as their interrelationships are of paramount importance in cowpea breeding programs, involving a selection of superior genotypes. The analysis of canonical correlations allows us to predict and describe the relationship between groups of characters, allowing the indirect selection of superior genotypes. The objective of this work was to evaluate the relationship between production components and nutritional traits through Pearson's linear exploration and canonical brightness analysis using genotypic values obtained via REML/BLUP in traditional cowpea varieties. Six varieties were evaluated in a randomized design with four replications, evaluating the productivity traits, weight of one hundred grains, pod length and number of grains per pod and analysis of the concentration of minerals phosphorus, potassium, sulfur, calcium, copper, boron, iron, zinc, manganese, magnesium and protein content. Genotypic values were predicted via BLUP. Using the matrix, Pearson transparency and canonical correlations were evaluated. For the analysis of canonical splendor two sets of characteristics were defined, Group I, formed by production components and Group II, formed by nutritional characteristics. Positive and high correlations were detected between the minerals evaluated. Selection of genotypes for iron and zinc biofortification will also result in significant increases in other essential minerals and in obtaining cultivars with higher grain protein contents. Canonical correlation analyzes highlight the dependence between groups of production components and nutritional characters, allowing the investigation of cause and effect relationships, in addition to enabling indirect selection in traditional cowpea varieties for grain biofortification. The variables number of grains per pod, protein, average pod length and zinc were considered the most important to explain the association between nutritional and production characteristics.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*; minerals; association

## 5.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa de alto valor econômico e social, destacando-se como importante fonte de proteína de baixo custo. Dada sua capacidade produtiva e de adaptação a ambientes pouco favoráveis, apresenta-se com grande potencial para sanar a fome em regiões de baixo uso tecnológico (MIQUELONI et al., 2018).

Variedades melhoradas tendem a ser geneticamente muito semelhantes entre si, o que leva a perda da diversidade genética. Nesse contexto, as variedades tradicionais cultivadas em pequenas propriedades agrícolas, constituem importante fonte de variabilidade para enriquecimento das coleções de germoplasma e uso em programas de melhoramento da cultura (COSTA et al., 2012; AMABILE et al., 2018).

Para Wang et al, (2003), a identificação de genótipos com variações significativas nos teores de minerais presentes nos grãos é de relevância fundamental, podendo ser empregada em estudos comparativos para elucidar os mecanismos genéticos e fisiológicos responsáveis pelo transporte mineral durante o desenvolvimento dos grãos. Além disso, permite avaliar se o aumento na concentração de determinado mineral influencia o desenvolvimento de outros.

Além do aprimoramento da característica principal, os melhoristas buscam o incremento de outras características da planta e compreender a associação entre seus principais componentes. É de grande importância principalmente quando se trata de caracteres de difícil medição ou baixa herdabilidade, o conhecimento das correlações e suas magnitudes pode auxiliar na seleção indireta (CRUZ et al., 2012; COSTA et al., 2022).

O desenvolvimento de cultivares de feijão com melhor qualidade nutricional e de elevado rendimento de grãos é objeto recente dos programas de melhoramento. Para que a seleção seja efetiva para ambas as características é preciso que haja correlação linear positiva (RIBEIRO et al., 2008). A correlação entre o conteúdo de minerais e as características que contribuem para o rendimento ainda precisam ser mais estudadas (JOSHI SAHA et al., 2022).

Essencialmente a utilização de valores genotípicos deve ser priorizada no estudo das correlações, visto que apenas elas envolvem associação de natureza herdável possibilitando maior sucesso com a seleção (CRUZ et al., 2012). A utilização dos procedimentos de modelos mistos REML/BLUP, permite obter maior precisão na obtenção de valores genotípicos e na estimativa componentes de variância (RESENDE et al., 2016).

O uso de correlações canônicas nos permite medir o grau de associação entre dois conjuntos de variáveis, através de combinações lineares dos vários caracteres que os constituem permitindo agrupar variáveis de interesse, de forma que a determinação das associações entre os grupos possibilite a seleção indireta de caracteres (CRUZ et al., 2012).

Embora o uso e a eficiência das correlações canônicas sejam relatados na literatura, com estudos em diferentes, girassol (NOBRE et al., 2018), trigo (SILVA et al., 2023), milho (CREVELARI et al., 2019; FERREIRA et al., 2020), arroz (XAVIER et al., 2022), feijão-fava (COSTA et al., 2022); feijão-caupi (ABREU et al., 2021). Estudos com uso de valores genotípicos na investigação das associações entre caracteres nutricionais e grupos canônicos ainda são escassos na cultura do caupi.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a relação entre componentes de produção e caracteres nutricionais através da correlação linear de Pearson e da análise de correlação canônica utilizando valores genotípicos obtidos via REML/BLUP em variedades tradicionais de feijão-caupi.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na unidade experimental da Universidade Federal do Acre (09° 58' 29", 67° 48' 36", a 153 metros de altitude). Entre os meses de julho e novembro de 2023. O clima da região é quente e úmido, do tipo Am segundo a classificação de Köppen (1918), com médias de temperatura mínima de 26,7 °C e máxima de 28 °C, umidade relativa 72,9% e precipitação de 109 mm (INMET, 2023) no período de avaliação do experimento.

As sementes das variedades tradicionais utilizadas neste trabalho são oriundas de experimentos realizados por Sousa et al. (2023), nos anos agrícolas de 2020/2021.

As sementes foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade para 12 litros em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições e oito tratamentos, englobando seis variedades tradicionais (Preto de Praia, Corujinha, Manteiguinha Vermelho, Manteiguinha Branco, Quarentão e Costela de Vaca). Cada parcela, foi composta por quatro vasos, contendo duas plantas, totalizando oito plantas em cada parcela.

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi analisado, e apresentou pH = 5,1; P = 3,0 mg dm<sup>-3</sup>; K = 31,1 mg dm<sup>-3</sup>; MO = 15, 1 g dm<sup>-3</sup>; Al = 0,40 cmol dm<sup>-3</sup>; Ca+Mg = 1,62 cmol dm<sup>-3</sup>; Fe = 269,8 mg dm<sup>-3</sup>; Zn = 1,8 mg dm<sup>-3</sup>; Mn = 92,0 mg dm<sup>-3</sup>; Cu = 0,68 mg dm<sup>-3</sup>; B = 0,25 mg dm<sup>-3</sup>; S = 2,39 mg dm<sup>-3</sup>. Foram realizadas irrigações diárias, controle manual de ervas daninhas e aplicação de óleo de neem para o controle de pragas, sempre que necessário.

Na fase de maturação, as vagens das parcelas foram colhidas manualmente. Dado a desuniformidade da maturação e as diferenças de ciclos dos genótipos foram realizadas várias colheitas até que todas as vagens fossem colhidas. Foram avaliados os componentes de produção: comprimento médio de vagem (CMV, mm), determinado pela média de dez vagens por planta, medido com régua graduada em centímetros; número de grãos por vagem (NGV), determinado pela contagem do número de grãos comerciais em cada vagem, com base em 10 vagens; massa de cem grãos (MCG, g), determinada pela obtenção da massa de 100 grãos selecionados ao acaso com uso de balança analítica.

Os grãos foram avaliados quanto a sua composição mineral para os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre, manganês, enxofre, magnésio e boro. Quantificados utilizando espectrômetro de emissão ótica com plasma

indutivamente acoplado (ICP- OES). O equipamento utilizado é calibrado com solução multielementar na mesma matriz das amostras em diferentes intervalos de concentrações: K: 3 a 300 mg/L, Ca: 2,4 a 240 mg/L, Mg: 2,0 a 200 mg/L, S e P: 0,8 a 80 mg/L, Fe: 0,4 a 40 mg/L, Mn: 0,2 a 20 mg/L, Cu, Zn e B: 0,02 a 2 mg/L.

As análises foram realizadas no Laboratório de Espectrometria de Absorção Atômica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, conduzidas em triplicata e os valores médios apresentados com base na matéria seca. O teor de proteína bruta foi calculado através da multiplicação do nitrogênio total quantificado pelo fator de conversão nitrogênio em proteína de 6,25 segundo o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

Os dados foram submetidos ao REML/BLUP e os valores genotípicos preditos (BLUP) foram utilizados para estimar os coeficientes de correlação genotípica, conforme Resende et al. (2012). Realizou-se a análise de correlação genotípica entre as concentrações de minerais e as características agronômicas, estimados através dos coeficientes de correlação linear de Pearson (CRUZ et al., 2012). Para avaliar a significância das correlações utilizou-se o Teste t e o Teste de Mantel com base em 5000 simulações.

Para a análise de correlação canônica, com uso da matriz de correlação genotípica, dois conjuntos de características foram estabelecidos, o Grupo I formado por componentes de produção (comprimento de vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos) e Grupo II formado por caracteres nutricionais (proteína, ferro, zinco).

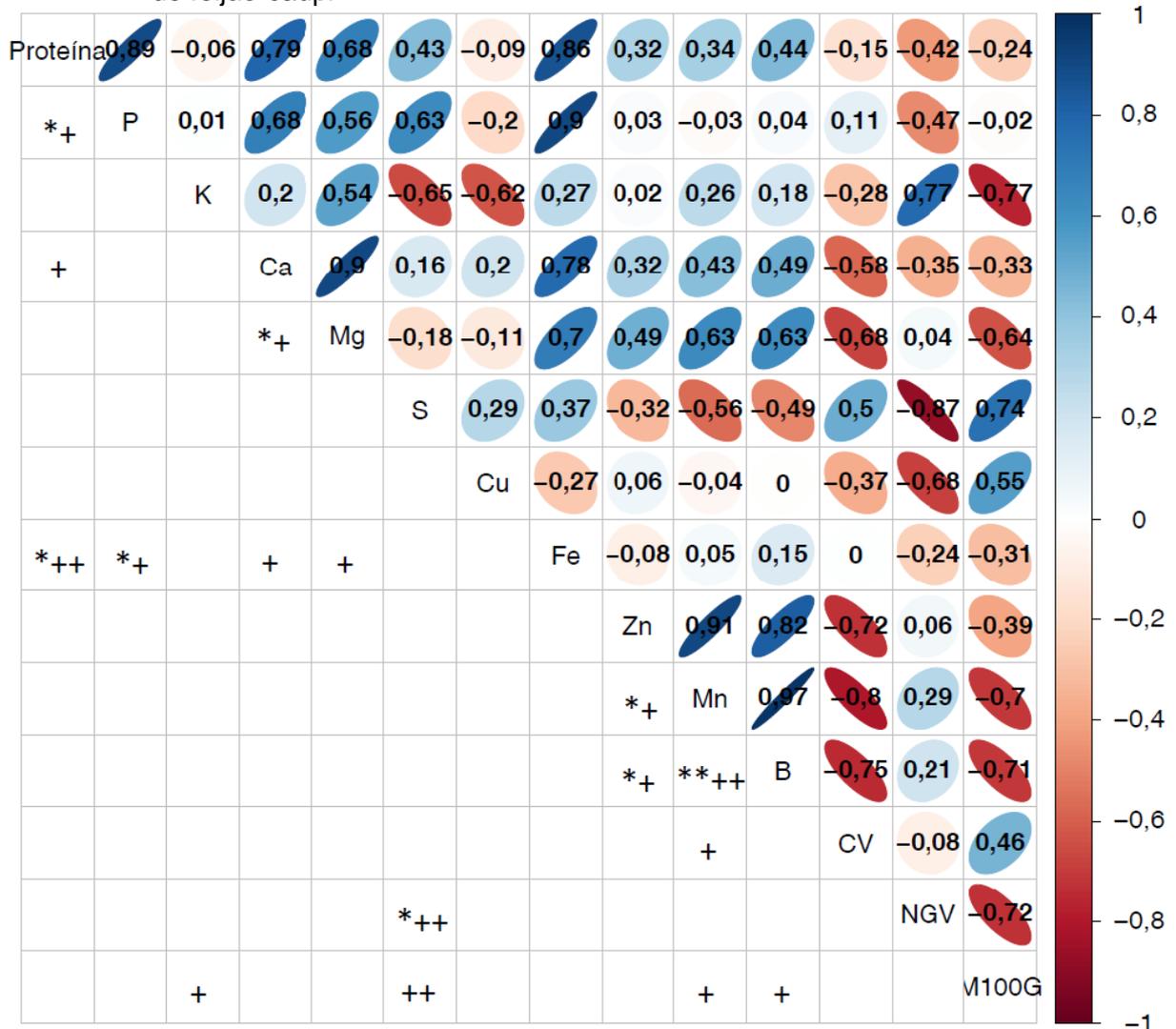
Os grupos foram submetidos ao diagnóstico de multicolinearidade utilizando o número de condição (CN) e o fator de inflação de variância (VIF) como indicadores dos níveis de gravidade de acordo com Montgomery e Peck et al. (2012). A verificação da significância entre os grupos de caracteres foi avaliada com base na estatística qui-quadrado (CRUZ et al., 2014).

Para as análises genético-estatísticas foram utilizados os programas Selegen - REML/BLUP (Resende, 2016), Genes (Cruz, 2013) e software R versão 4.0.2 (R Core Team, 2020).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas de correlação de Pearson baseadas em valores genotípicos entre os componentes de produção e caracteres nutricionais estão representadas na

Figura 1 – Estimativa de correlação de Pearson baseada em valores genotípicos entre componentes de produção massa de cem grãos (MCG), comprimento médio de vagem (CMV) e número de grãos por vagem (NGV) e caracteres nutricionais proteína, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), Zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) em variedades tradicionais de feijão-caupi



\*\*, \*significativo a 1 e 5% pelo teste t; \*\*+, \*\*\*significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste de Mantel baseado em 5000 simulações.

Os dados obtidos oferecem informações relevantes sobre a associação entre elementos minerais e fatores de produção, evidenciando a capacidade de acumulação conjunta em certos minerais essenciais e a possibilidade de aumento na produção de grãos. Correlações positivas entre características indicam variações na mesma

direção, com associação mais forte à medida que a intensidade aumenta. Essas correlações variam de -1 a 1 e são classificadas como fracas (menor que 0,4), moderadas (entre 0,4 e 0,7) e fortes (entre 0,7 e 1), independentemente do sinal associado (CRUZ et al., 2012). O conhecimento das correlações entre as variáveis facilita as decisões a serem tomadas na seleção de genótipos de interesse (MENDONÇA et al., 2018).

Na análise das correlações fenotípicas e genotípicas em variedades de feijão-caupi conduzida por Meira et al. (2020), foram identificadas correlações significativas positivas entre a produtividade e o número de grãos por vagem (0,52).

As correlações significativas entre os componentes de produção e os caracteres nutricionais em sua maioria foram fortes e negativas como a observada entre o número de grãos por vagem e a concentração de enxofre (-0,87) e para o comprimento médio de vagem e teor de manganês (-0,80).

O rendimento de grãos em leguminosas é influenciado por diversos fatores, incluindo a massa dos grãos (OWUSU et al., 2021; SILVA et al., 2014; MURANAKA et al., 2016), apontam em seus estudos que a massa de cem grãos e a produtividade se correlacionadas de forma positiva, sugerindo que a massa dos grãos pode ser considerada na seleção para aumento da produção.

A massa de cem grãos foi o componente que mais apresentou correlações com os minerais. No contexto deste estudo, demonstrou correlação alta e positiva com a concentração de enxofre (0,74), enquanto correlações negativas foram observadas para boro (-0,71), potássio (-0,77) e manganês (-0,91). O aumento da massa de grãos levaria ao aumento nos teores de enxofre e redução para boro, potássio e manganês nos grãos.

Ao caracterizar as cultivares quanto ao tamanho dos grãos, cor e biofortificação, Martins et al. (2023) não identificaram correlação entre tamanho de grão e teores de ferro, zinco e proteína em grãos de cultivares de feijão-caupi, indicando possibilidade de cultivares biofortificadas independentemente do tamanho do grão. Resultados de Muranaka et al. (2016) indicam correlações entre massa de cem grãos e ferro (-0,39), massa de cem grãos e zinco (-0,25) e massa de cem grãos e proteína (-0,28).

Os resultados obtidos neste estudo, indicam que a seleção para aumentar a produção através dessas características resultaria na redução nos teores de enxofre, manganês, boro e potássio nos grãos. Adicionalmente, a ausência de correlações significativas e positivas com outros minerais indica que a maior produção através

Tabela 9. Correlações canônicas (r), pares canônicos ( $U_1, V_1; U_2, V_2$ ) estimados entre componentes de produção (grupo I) e caracteres nutricionais (grupo II) em variedades tradicionais de feijão-caupi

Características	Pares canônicos		
	$U_1$	$U_2$	$U_3$
	Grupo I		
CMV	-0.2884	0.8434	0.4533
NGV	0.6323	-0.2704	0.7260
MCG	-0.1415	0.8072	-0.5731
	$V_1$	$V_2$	$V_3$
Proteína	-0.8469	-0.5305	-0.0366
Ferro	-0.7707	-0.4246	0.4552
Zinco	0.1293	-0.7574	-0.6400
r	1.00**	0.87**	0.44 <sup>ns</sup>

\*\*significativo a 1% pelo teste qui-quadrado; <sup>ns</sup>não significativo

Avaliando a correlação canônica entre características morfológicas e de produção em feijão-caupi, Abreu et al. (2021), obtiveram significância para o primeiro par canônico, com o comprimento da vagem entre os caracteres que mais contribuíram para a associação entre os grupos. Costa et al. (2022), também observaram a significância apenas para o primeiro par canônico, com comprimento de vagem e floração inicial entre as características mais importantes no estudo realizado entre caracteres relacionados ao ciclo e produção em feijão-fava.

O primeiro par canônico revelou correlação negativa entre o número de grãos por vagem e os teores de ferro e proteína. Essa análise sugere que a seleção de plantas com menor número de grãos por vagens, grãos mais pesados e vagens mais compridas resulta em grãos com maiores teores de ferro e proteína nos grãos.

No segundo par canônico, o comprimento médio da vagem e a massa dos grãos mostraram correlações opostas com os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos. Observou-se que plantas com vagens menores, com maior número de grãos e que apresentem menor massa, apresentam maior concentração de ferro, zinco e proteínas em seus grãos. Entre as variáveis avaliadas, número de grão por vagem, proteína, comprimento médio de vagem e zinco foram consideradas as mais importantes para explicar a associação entre as características nutricionais e de produção.

dessas vias não influenciaria de maneira significativa a qualidade nutricional dos grãos. Informação importante para orientar as estratégias de melhoramento da cultura voltados para elevar o teor de minerais somados ao aumento da produção de grãos.

Vale ressaltar que entre as variedades avaliadas temos variedades do tipo tradicionais e variedades do tipo Manteiguinha (Branco e Vermelho), que são conduzidas e avaliadas em programas de melhoramento diferentes conforme Freire Filho et al. (2023), sendo importante que em estudos posteriores voltados a seleção para compor programas de melhoramento para produtividade e biofortificação as variedades sejam selecionadas conforme sua classificação, tendo em vista as características particulares quanto aos caracteres ligados a produção, tamanho do grãos, massa de grãos e comprimento de vagem avaliados neste estudo.

Estudando a relevância e as interações entre as características em variedades tradicionais de feijão-caupi, Mendonça et al. (2018), concluíram que o comprimento da vagem figura entre os atributos que contribuem significativamente para a variabilidade genética. Além disso, destaca-se como um dos principais alvos de seleção visando aumentar a produtividade, melhorar a arquitetura das plantas e promover a precocidade no ciclo de cultivo.

Os estudos direcionados à biofortificação dos grãos de feijão-caupi são voltados ao aumento dos teores de ferro e zinco nos grãos, além de destacarem a importância dos teores de proteína nesta cultura.

Correlações importantes relacionadas a esses caracteres foram observadas neste estudo. O ferro apresentou correlação positiva com magnésio (0,70), cálcio (0,78), fósforo (0,90) e proteína (0,87). Por sua vez, a proteína correlacionou-se positivamente com cálcio (0,79) e fósforo (0,89), enquanto o zinco apresentou alta correlação com boro (0,82) e manganês (0,91).

Em estudos relacionados com a cultura do caupi. Moura et al. (2012) e Muranaka et al. (2016), relatam fortes correlações entre os teores de proteína bruta, Fe e Zn o que sugere a possibilidade de melhorar as concentrações desses nutrientes simultaneamente. Contrariamente, Martins et al. (2023) não observaram correlações significativas entre as concentrações de ferro, zinco e proteína nos grãos de cultivares de feijão-caupi.

Pode-se inferir que a seleção de genótipos para a biofortificação de ferro e zinco também resultará em aumentos significativos de outros minerais e na obtenção de cultivares com teores mais elevados de proteínas nos grãos. A falta de correlações

negativas entre os minerais sugere que não há redução no teor de um nutriente em detrimento de outro durante a seleção de genótipos superiores visando grãos mais nutritivos. Estudos adicionais realizados em diferentes locais são necessários para avaliar o efeito ambiental sobre os elementos minerais.

A análise de correlações canônicas nos permite o agrupamento de características e a observação da dependência linear, maximizando as relações entre os grupos (COSTA et al., 2022). Para a análise de correlação canônica, o Grupo I foi formado por caracteres ligados a produção (massa de cem grãos, número de grãos por vagem e comprimento médio de vagem) e o Grupo II por caracteres nutricionais (proteína, ferro e zinco).

Para conduzir a análise de correlação canônica, foi realizado inicialmente o diagnóstico de multicolinearidade para o Grupo I: comprimento médio de vagem (CMV), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (MCG) para o Grupo II: proteína, ferro e zinco. Essa etapa se faz necessária tendo em vista que quando presente em níveis moderados a graves, a multicolinearidade pode causar variâncias elevadas em certos estimadores (CRUZ et al., 2014). Os resultados dos diagnósticos revelaram número de condição (NC) de 10,37 e 6,64 para o Grupo I e II respectivamente. Indicando a presença de multicolinearidade fraca, conforme descrito por Montgomery; Peck et al. (2012).

As correlações canônicas foram elevadas e significativas a nível de 1% pelo teste de qui-quadrado, para os dois primeiros pares canônicos com coeficientes de correlação ( $r$ ) igual a 1,00 e 0,87, respectivamente. Esses resultados revelam dependência entre os grupos de caracteres produtivos e nutricionais possibilitando a prática da seleção indireta em variedades tradicionais de feijão-caupi (Tabela 9).

Em razão de existir mais de um par canônico estatisticamente relevante, pode-se considerar ambos os pares na discussão da análise. Para interpretar os resultados utilizou-se as cargas canônicas que representam a correlação entre as variáveis originais e as canônicas de acordo com Abreu e Vetter (1978).

As correlações canônicas, os pares canônicos estimados e os valores das cargas canônicas são apresentados na Tabela 9. As características que mais contribuíram para a associação foram número de grão por vagem para a variável canônica  $U_1$  e proteína para  $V_2$ . Para as variáveis canônicas  $U_1$  e  $V_1$ , as características comprimento médio de vagem e zinco se destacam com maior contribuição nas variáveis canônicas  $U_2$  e  $V_2$  respectivamente (Tabela 9).

#### 5.4 CONCLUSÕES

Há correlações genótípicas positivas e altas entre os minerais presentes nos grãos de genótipos de feijão-caupi avaliados.

A seleção de genótipos para a biofortificação de ferro e zinco também resulta em aumentos significativos de outros minerais essenciais e na obtenção de cultivares com teores mais elevados de proteínas nos grãos.

Há dependência entre os grupos de componentes de produção e os caracteres nutricionais pelo estudo das correlações canônicas.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, H. K.; FACHINELLI, A. R.; CECCON, G. Correlação canônica entre as características morfológicas e componentes de produtividade de feijão-caupi. *Agrarian, Dourados*. v. 14, p. 314-322. 2021.
- ABREU, M. A.; VETTER, D. A. Análise de relação entre conjuntos de variáveis na matriz geográfica: correlação Canônica. *Revista Agrarian, Dourados* p.133-144. Fevereiro de 2020.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas. 108p. 2018.
- ARCHANA, J. S.; SUNIL, K. S.; MISRA, G.; DIXIT, G. P.; SRIVASTAVA, A. K. Biofortified legumes: Present scenario, possibilities and challenges. *Ashutosh Sarker Field Crops Research*. n. 279, p.108-467. Fevereiro de 2022.
- COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; CARVALHO, F. I. F.; AZEVEDO, R. **Correlações canônicas: II - análise do rendimento de grãos de feijão e seus componentes**. *Ciência Rural*, v. 30, p. 31-35, 2000.
- COSTA, A. M.; SPEHAR, C. R., Sereno, J. R. B. **Conservação de recursos genéticos no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa. p. 628. 2012.
- COSTA, G.; MEDEIROS, A. M.; SILVA, V. B.; LOPES, Â.; CANDIDO, W. S.; GOMES, R. L. F. Canonical correlations between cycle and grain production traits in lima bean. *Revista Caatinga, Mossoró*. v. 35 p. 877-883. Dezembro de 2022.
- CREVELARI, J.; DURÃES, N. N. L.; SANTOS, P. R.; AZEVEDO, F. H. V.; BENDIA, L. C. R.; PREISIGKE, S. C.; GONÇALVES, G. M. B.; FERREIRA, J. J. A.; PEREIRA, M. G. Canonical correlation for morphoagronomic and bromatological traits in silage corn genotypes. *Bragantia, Campinas*. v. 78: 337-349. Dezembro de 2019.
- CRUZ, C. D. **Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics**. *Acta Scientiarum Agronomy, Maringá*. v. 35. 2013, p. 271-276. Setembro de 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV. 668. 2014. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/237/o/Modelos\\_Biometricos\\_em\\_Genetica\\_e\\_Melhoramento.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/237/o/Modelos_Biometricos_em_Genetica_e_Melhoramento.pdf). Acesso em: 24 abr de 2024.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa: Editora UFV. 2012, p. 514. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4942/CARVALHO%2C%20IVAN%20RICA\\_RDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/4942/CARVALHO%2C%20IVAN%20RICA_RDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 30 mar. 2024.

FERREIRA, L. L.; DALBOSCO, L. E.; CARVALHO, I. R.; CARNEVALE, A. B.; MOURA, N. B.; LAUTENCHLEGER, F. Multivariate and canonical models applied to corn: benefits of green manure with *Vigna unguiculata*. *Holos*. V. 7, p 1-15. Novembro de 2020.

FREIRE FILHO, F. R. **Melhoramento genético do feijão-caupi na Embrapa Amazonia Oriental: período de 2013 a 2022** / Francisco Rodrigues Freire Filho [et al.]. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais (Ano 2022)**. Brasília, 2023. Disponível em: [https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2022-2023-bras%C3%ADlia-df-teve-chuvas-abaixo-da-m%C3%A9dia-neste-ver%C3%A3o#:~:text=Bras%C3%ADlia%20\(DF\)%20registrou%2049%20dias,d%C3%A9ficit%20de%20132%2C%20mm](https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2022-2023-bras%C3%ADlia-df-teve-chuvas-abaixo-da-m%C3%A9dia-neste-ver%C3%A3o#:~:text=Bras%C3%ADlia%20(DF)%20registrou%2049%20dias,d%C3%A9ficit%20de%20132%2C%20mm). Acesso em: 21 mar. 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. São Paulo. 4ª ed. (1ª Edição digital) p. 1020. Outubro de 2008.

JOSHI-SAHA, A.; SUNIL, K. S.; MISRA, G; DIXIT, G. P.; SRIVASTAVA, A. K.; Ashutosh S. Biofortified legumes: Present scenario, possibilities and challenges *Archana*, *Field Crops Research* v. 279. Fevereiro de 2022.

MARINHO, J. T. de S.; LESSA, L. S.; COSTA, C. R. Agronomic performance of cowpea genotypes in southwestern Brazilian Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v. 56. Dezembro de 2021.

MARTINS; M. P. S. C.; LOPES A. F. S.; ABDIAS, J.; SILVA, K. J. D.; MARTINS, M. C. de C.; ROCHA, M. de M. **Caracterização de cultivares de feijão-caupi para tamanho, cor e biofortificação de grão** *Rev. Caatinga*, Mossoró, v. 36, n. 1, p. 207 – 214. Março de 2023.

MEIRA, A. L.; SANTANA, T. M.; AMORIN, Y. F.; SILVA, J. O. da S.; DIVINO, L. M.; AMARAL, C. L. F. Parâmetros genéticos na seleção de feijão-caupi sob estresse hídrico em cultivo protegido. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.9, n.2, p. 81-98, 2020.

MENDONÇA, M. S. D. MENDONÇA, M. S.; BEBER, P. M.; NASCIMENTO, F. S. S.; SANTOS, V. B.; MARINHO, J. T. Importance and correlations of characters for cowpea diversity in traditional varieties. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza. v. 49, n. 2. Abril de 2018.

MIQUELONI, D. P. et al. Descrição e discriminação de variedades crioulas de feijão-caupi na Amazônia Ocidental brasileira. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.7, n.5 (Suplemento), p. 49-61. Dezembro de 2018.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINIGIN, G. G. **Introdução à análise de regressão linear**. 5 ed. Nova York: John Wiley & Sons, 2012. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Introduction-Regression-Analysis-Douglas-Montgomery/dp/0470542810>. Acesso em: 13 abr. 2024.

MOURA, J. de O.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FILHO, F. R. F.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q. Path analysis of iron and zinc contents and others traits in cowpea Crop Breeding and Applied Biotechnology v.12, p. 245-252. Outubro de 2012.

MÜLLER, L.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; RIGÃO, M. H.; BANDEIRA, A. H.; TONETTO, C. J.; DOURADO-NETO, D. Correlações de Pearson e canônica entre componentes da matéria seca da forragem e sementes de Azevém. Revista Brasileira de Sementes. 34 ed. 2012, p. 86-93.

MURANAKA, S. et al. Genetic diversity of physical, nutritional and functional properties of cowpea grain and relationships among the traits. Plant Genetic Resources, v. 14, n. 1, p. 67–76. Março de 2016.

NOBRE, D. A. C.; SILVA, F. C. S.; GUIMARÃES, J. F. R.; RESENDE, J. C. F.; MACEDO, W. R. Análise de trilha e correlação canônica nos componentes do desempenho de girassol. The Journal of Engineering and Exact Sciences. 4 ed. p. 364-369. 2018.

OWUSU, E. Y. et al. 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, p. e07890. Setembro de 2021.

R Core Team. **Uma linguagem e ambiente para computação estatística (versão 4.0.2) [Software]**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria, 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 22 fev. 2024.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: uma ferramenta útil para o melhoramento de plantas. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 16, p. 330-339. Dezembro de 2016.

RESENDE, M. D. V. **O software Selegen-REML/BLUP**. Campo Grande: EMBRAPA. p. 305, 2007.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CERUTTI, T.; MAZIERO, S. M.; POERSCH, N. L. **Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético**. Bragantia, Campinas, v.67, n.2, p.267-273, 2008.

SILVA, A. C.; MORAIS, O. M.; SANTOS, J. L.; D'ARÊDE, L. O.; SILVA, P. B.; SILVA, A. C. et al. Componentes de produção, produtividade e qualidade de sementes de feijão-caupi em Vitória da Conquista, Bahia. Revista Agroambiente, Boa visra – RR. v. 8, n. 3, p. 327-335. Dezembro de 2014.

SILVA, C. M.; LIMA, G. W.; MEZZOMO, H. C.; SIGNORINI, V. S.; OLIVEIRA, A. B.; NARDINO, M. Canonical correlations between high and low heritability wheat traits via mixed models. Ciência Rural. v.53. p.1-8. 2023.

SOUSA, G. A. et al. Qualidade nutricional e armazenamento de variedades de feijão-caupi cultivados no Juruá, Acre. *Delos: Desarrollo Local Sostenible, Curitiba*. v. 16, n. 43, p. 752–773. Maio de 2023.

WANG, T. L.; DOMONEY, C.; HEDLEY, C. L.; CASEY, R. & GRUSAK, M. A. Can we improve the nutritional quality of legume seeds? *Plant Physiol*. v.131, p. 886-891. Março de 2003.

XAVIER, M. C. G.; ARAÚJO, J. C.; MENEZES, B. R. S.; JÚNIOR, P. C. D. Canonical correlations between morphological and production traits in special types of rice. *Revista Caatinga, Mossoró*. V.35, p. 764-771. Dezembro de 2022.