

Universidade Federal do Piauí

**Potencial de populações segregantes de feijão-caupi para
biofortificação e produção de grãos**

Jeane de Oliveira Moura

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, área de concentração em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Mestre”.

**Teresina
2011**

**Jeane de Oliveira Moura
Bióloga**

**Potencial de populações segregantes de feijão-caupi
para biofortificação e produção de grãos**

Orientador:
Dr. Maurisrael de Moura Rocha

Co-orientadora:
Dra. Regina Lúcia Ferreira Gomes

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, área de concentração em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de “Mestre”.

**Teresina
2011**

M929p

Moura, Jeane de Oliveira
Potencial de populações segregantes e feijão-caupi
para biofortificação e produção de grãos. / Jeane de Oli -
veira Moura – 2011.
81 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do
Piauí, Teresina, 2011.
Orientação: Prof. Dr.Maurisrael de Moura Rocha.

1. Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) 2. Produtividade
3. Qualidade nutricional 4. Segurança alimentar. I.Título

CDD 635.659 2

**Potencial de populações segregantes de feijão-caupi
para biofortificação e produção de grãos**

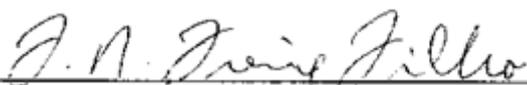
Jeane de Oliveira Moura

Aprovada em 20/10/2023

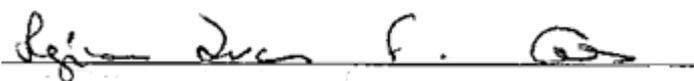
Comissão julgadora:



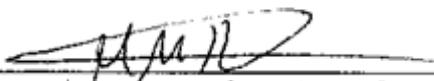
**Prof. Dra. Cândia Hermínia Campos de Magalhães Bertini
CCA/ UFC**



**Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho
Embrapa Meio-Norte**



**Prof. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes – CCA/UFPI
(Co-orientadora)**



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

Aos meus pais, José Afonso Lima de Moura e Juliêta Alvares de Oliveira Moura, exemplos de trabalho e honestidade e às minhas tias, Maria do Socorro Lima de Moura e Maria José de Moura Melo, que me apoiaram e estão sempre ao meu lado.

DEDICO

A meus filhos, Jean Francisco Moura de Carvalho e José Francisco Macêdo de Carvalho Júnior (in memória), razão maior da minha existência.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo existir;

À Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade concedida na obtenção de novos conhecimentos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, pela realização do curso e ensinamentos;

À Embrapa Meio-Norte, pela disponibilidade da estrutura física para condução do trabalho;

Ao Pesquisador Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pelo incentivo, paciência e disponibilidade na orientação;

À Prof^a. Dr^a. Regina Lucia Ferreira Gomes, pela co-orientação e ajuda na elaboração da dissertação;

Ao Prof. Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, por quem tenho profundo respeito e admiração, que muito ajudou na execução desse trabalho;

Ao Prof. Dr. Valdomiro Aurélio Barbosa de Souza (in memoriam) por sua contribuição na minha formação durante o Mestrado em Genética e Melhoramento;

Aos laboratoristas da Embrapa Meio-Norte, Antônio Carlos dos Santos e Luis José Duarte Franco, pelo auxílio nas análises químicas dos grãos de feijão-caupi;

Ao Senhor Agripino Ferreira do Nascimento, pelo apoio nos serviços de campo;

À professora do IFPI, Maria Evangelina Ferreira de Sousa, pelo incentivo;

À Mestra em Ciências e Tecnologia de Alimentos Izabel Cristina Veras Silva, por sua colaboração nesse trabalho;

Aos colegas de mestrado, de forma especial a Raimundo Nonato Oliveira Silva e a Leonardo Castelo Branco, pelos momentos de estudo e trocas de conhecimento;

À todos da minha família, que acompanharam e torceram pela conquista dessa etapa na minha formação;

Aos bolsistas e funcionários da Embrapa Meio-Norte, por toda ajuda que me deram na realização de minha pesquisa;

À todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

"Os pequenos atos que se executam são melhores que todos aqueles grandes que se planejam."

(George C. Marshall)

"No caráter, na conduta, no estilo, em todas as coisas, a simplicidade é a suprema virtude."

(Henry Wadsworth).

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Origem e classificação do feijão-caupi.....	15
2.2 Importância sócio-econômica do feijão-caupi.....	15
2.3 Qualidade nutricional e culinária do feijão-caupi.....	16
2.4 Genética da qualidade nutricional e culinária em graníferas.....	18
2.5 Importância do ferro e do zinco na alimentação.....	20
2.6 Estratégias de combate à desnutrição.....	21
2.7 Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Material genético.....	30
3.2 Metodologia Experimental.....	33
3.3 Caracteres avaliados.....	35
3.4 Análises estatístico-genéticas.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 Caracteres nutricionais e culinário.....	43
4.2. Caracteres agronômicos.....	53
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	64
6 CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
ANEXOS.....	80

RESUMO

MOURA, J. de O. **Potencial de populações segregantes de feijão-caupi para biofortificação e produção de grãos.** 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma excelente fonte nutricional e representa o alimento básico da população carente do nordeste brasileiro. A biofortificação do feijão-caupi representa uma das estratégias de combate à desnutrição em populações carentes, por meio do aumento dos teores de nutrientes nos grãos, via melhoramento genético. Objetivou-se com esse trabalho avaliar populações segregantes para a biofortificação quanto aos teores de proteína, ferro e zinco e produção de grãos em feijão-caupi. Foram realizados cruzamentos entre genótipos parentais BRS Xiquexique (P_1), IT-98K-205-8 (P_2) e IT-97K-1042-3 (P_3), incluindo os seus recíprocos ($P_1 \times P_2$, $P_2 \times P_1$, $P_1 \times P_3$ e $P_3 \times P_1$) e retrocruzamentos das gerações F_1 com o parental BRS Xiquexique. As gerações F_1 , resultantes dos cruzamentos e dos retrocruzamentos, foram avançadas para a geração F_2 . A geração F_2 foi avaliada no primeiro semestre de 2010, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em condições de telado. Os genótipos parentais e populações F_2 (geração da planta)/ F_3 (geração da semente) foram avaliados no segundo semestre de 2010, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em condições de campo. Ambos os experimentos foram conduzidos na área experimental da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI. Foram mensurados os seguintes caracteres: número de dias para o início da floração (NDIF), porte de planta (PP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G), produção de grãos (PG), tempo de cocção (TC), teor de proteína (TP), teor de ferro (TFe) e teor de zinco (TZn). Os caracteres TFe, TZn e TP apresentam efeito materno na expressão do genótipo nas populações avaliadas. É possível a obtenção de ganhos genéticos nos caracteres PP, NGV, VC e PG, por meio da seleção fenotípica. Os caracteres agrônômicos e culinário apresentaram alto componente genético na expressão do fenótipo, exceto o NDIF, no qual a seleção fenotípica será mais difícil. Os caracteres nutricionais apresentam baixo componente genético na expressão do fenótipo, exceto o TP, no qual a seleção fenotípica será eficiente. A seleção indireta por meio dos caracteres NGV e COMPV proporciona ganhos para a produção de grãos, sendo que o NGV é o caráter que mais influencia a produção de grãos. É possível a obtenção de ganhos simultâneos via seleção para P100G, TP, TFe, TZn e TC nas populações segregantes avaliadas. Contudo a seleção para aumento de TFe e TZn pode levar a decréscimos na PG. As populações segregantes F_2C_2 e F_2RC_2 apresentam potencial para seleção visando aumentos na PG. Já a população segregante F_3C_3 apresenta potencial para seleção visando à redução do TC, enquanto a população segregante F_3RC_4 apresenta maior potencial para seleção visando a biofortificação de TFe e TZn nos grãos.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; Produção; Qualidade nutricional; Segurança alimentar.

ABSTRACT

MOURA, J. de O. **Potential of cowpea segregating populations for biofortification and yield of grains.** 2011. 81 f. Dissertation (Master Science in Genetic and Breeding) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is an excellent nutritional source and represents the staple food of the poor population in northeastern Brazil. The biofortification of cowpea is one of the strategies to combat malnutrition among poor populations, by increasing the amounts of nutrients in the grains through breeding. This work aimed to evaluate cowpea segregating populations for biofortification of iron, zinc and protein contents and yield in grains. Crossings between BRS Xiquexique (P_1), IT-98K-205-8 (P_2) and IT-97K-1042-3 (P_3) parents genotypes, including its reciprocal ($P_1 \times P_2$, $P_2 \times P_1$, $P_1 \times P_3$ and $P_3 \times P_1$) and backcrossings of the F_1 generations with BRS Xiquexique parent were implemented. F_1 generation resulting from crossings and backcrosses were advanced to F_2 generation. F_2 generation was evaluated during 2009 in a completely randomized design with four replications, under protected conditions. Parent's genotypes and F_2 (plant)/ F_3 (seed) generation were evaluated during 2010 in a randomized block design with four replications. Both experiments were carried out at Embrapa Mid-North, in Teresina, PI, Brazil. The following traits were measured: number of days to initiate flowering (NDIF), plant type (PP), cultivation value (VC), lodging (ACAM), pod length (COMPV), number of seeds per pod (NGV), one hundred grain weight (P100G), production grain (PG), cooking time (TC), crude protein content (TP), iron content (TFe) and zinc content (TZn). TFe, TZn and TP present maternal effects in the expression of the genotype in populations evaluated. It is possible to obtain genetic gains for PP, NGV, VC and PG, through phenotypic selection. Culinary and agronomic traits present high genetic component in the expression of the phenotype, except NDIF where the phenotypic selection is difficult. Nutritional traits present low genetic component in the expression of the phenotype, except for TP, where phenotypic selection is efficient. Indirect selection through NGV and COMPV provides gains for grain yield. NGV is the trait that most influences the yield. It is possible to obtain genetic gain by indirect selection for P100G, TP, TFe, TZn and TC in segregating populations evaluated. Selection for improvement of TFe and TZn can lead to decreases in PG. F_2C_2 and F_2RC_2 population's present potential for selection aiming increases in PG. F_3C_3 population presents potential for selection aiming the reduction of TC. F_3RC_4 population presents potential for selection aiming biofortification of the TFe and TZn in grains.

Key Words: *Vigna unguiculata*; Production; Nutritional quality; Food security.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Genótipos parentais utilizados nos cruzamentos: BRS Xiquexique (à esquerda), IT-98K-205-8 (ao centro) e IT-97K-1042-3 (à direita). Teresina, PI, 2009.....	30
Figura 2 - Realização dos cruzamentos em condições de telado. Teresina, PI, 2009.....	32
Figura 3 – Experimento conduzido em condições de telado. Teresina, PI, 2009.....	33
Figura 4 - Experimento de campo. Teresina, PI, 2010.....	34
Figura 5 - Populações F ₃ resultantes dos cruzamentos. Teresina, PI, 2010.....	36
Figura 6 - Populações F ₃ resultantes dos retrocruzamentos. Teresina, PI, 2010.....	36
Figura 7 - Lavagem das amostras de grãos de populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.....	37
Figura 8 - Secagem das amostras de grãos de populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.....	37
Figura 9 - Moinho com bolas de zircônio. Teresina, PI, 2010.....	37
Figura 10 – Avaliação do tempo de cocção por meio do cozedor de Mattson. Teresina, PI, 2010.....	38
Figura 11 – Diagrama ilustrativo mostrando os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas 1, 2, 3, 4 e 5 sobre a variável básica Y. P _{yi} : efeito direto de cada um dos cinco caracteres explicativos sobre a variável básica Y. r _{ij} : coeficiente de correlação fenotípica entre os caracteres explicativos.....	42

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Características dos genótipos parentais utilizados. Teresina, PI, 2009/2010. **30**
- Tabela 2 – Identificação dos cruzamentos e retrocruzamentos, populações F_1 e F_2/F_3 de feijão-caupi obtidos na geração da semente (caracteres nutricionais e culinário) e da planta (caracteres agrônômicos). Teresina, PI, 2009/2010. **31**
- Tabela 3 – Resumo da análise de variância para os caracteres nutricionais, obtidas a partir da avaliação das populações F_2 de feijão-caupi, resultantes de cruzamentos e de retrocruzamentos entre parentais ricos em ferro e zinco. Teresina, PI, 2010. **43**
- Tabela 4 – Estimativas de contrastes entre médias de cruzamentos/retrocruzamentos e seus recíprocos para os caracteres nutricionais. Teresina, PI, 2010. **44**
- Tabela 5 – Estimativas de médias de populações F_2 de feijão-caupi para os caracteres nutricionais. Teresina, PI, 2010. **45**
- Tabela 6 – Resumo da análise de variância para os caracteres nutricionais e culinário avaliados em 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **46**
- Tabela 7 - Estimativas de médias e parâmetros genéticos dos caracteres nutricionais e culinário, obtidas a partir da avaliação de 11 populações F_3 de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **47**
- Tabela 8 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica teor de ferro (TFe), obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **50**
- Tabela 9 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica teor de zinco (TZn), obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **52**

- Tabela 10 - Resumo da análise de variância de nove caracteres agronômicos avaliados em 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **54**
- Tabela 11 - Estimativas de médias para os caracteres agronômicos, obtidos a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **56**
- Tabela 12 -. Estimativas do coeficiente de variação genética (CV_g) e herdabilidade (h^2) relativos aos caracteres agronômicos, obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **60**
- Tabela 13 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (componentes de produção) sobre a variável básica (produção de grãos), obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010. **61**

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma excelente fonte de proteínas (23-25%, em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não conter colesterol. Representa alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro (RIBEIRO, 2002).

Desnutrição ou deficiências nutricionais são doenças decorrentes de um aporte alimentar insuficiente em nutrientes e energia ou, ainda, do inadequado aproveitamento biológico dos alimentos ingeridos, freqüentemente motivado pela presença de doenças (MONTEIRO, 2003).

O problema da fome e da baixa qualidade alimentar é bastante acentuado nas populações das regiões Norte e Nordeste do Brasil. O estado do Maranhão, por exemplo, apresenta alto índice de desnutrição, apesar de seu grande potencial agrícola para produção de alimentos. Além disso, é um estado que possui baixa cobertura pelos programas de suplementação de ferro e vitamina A. De acordo com dados da Organização Panamericana da Saúde, no estado de Sergipe, 32% das crianças menores de cinco anos apresentam hipovitaminose A e a anemia ferropriva atinge até 50% deste grupo (PESQUISADORA..., 2007). Segundo os dados do Sistema Nacional de Vigilância Alimentar e Nutricional, a prevalência de desnutrição em crianças de 0 a 10 anos pode chegar a 42% no Maranhão e 9% em Sergipe (BIOFORTIFICAÇÃO..., 2008, 2009). Uma maneira de amenizar essa situação seria fornecer alimentos naturais, biofortificados, acessíveis e de tradição.

A introdução de produtos agrícolas biofortificados, variedades melhoradas que apresentam maiores conteúdos de minerais e vitaminas, complementar as intervenções em nutrição existentes, tais como a suplementação e a fortificação. A biofortificação é uma tecnologia aplicada na agricultura para melhorar a saúde da população carente. Representa uma ferramenta adicional para combater a deficiência de micronutrientes, utilizando os alimentos como mecanismo de promover a saúde (NUTTI et al., 2009).

Os estudos na área de qualidade nutricional dos grãos em feijão-caupi têm se concentrado mais na avaliação de genótipos para o teor de proteínas e carboidratos (CASTELLÓN et al., 2003; SILVA et al., 2002) e, em menor escala, para os teores

de fibra e minerais (ANDRADE et al., 2004; FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008). Alguns estudos têm investigado a qualidade da proteína, carboidratos e lipídeos e dos fatores antinutricionais (SHOSHIMA; TAVANO; NEVES, 2005). Formulações de alimentos à base de farinha de feijão-caupi também têm sido propostas (FROTA et al., 2010; MOREIRA-ARAÚJO et al., 2006), assim como o consumo do feijão processado em conserva (LIMA et al., 2003), resfriado ou congelado (LIMA et al., 2000) e na forma de salgadinhos (MOREIRA et al., 2006).

A biofortificação do feijão-caupi terá grande impacto no futuro, pois representa uma rica fonte de alimento, principalmente de proteínas, ferro e zinco, para o suprimento da dieta de populações carentes de nutrientes, mas com grande tradição de consumo, como é o caso de muitos países africanos, asiáticos e do nordeste da América do Sul (FREIRE FILHO et al., 2008).

No Brasil, a biofortificação do feijão-caupi tem sido implementada por meio de alguns programas, destacando-se o HarvestPlus e o BioFORT, sob a coordenação da Embrapa. Esses programas têm concentrado esforços inicialmente no *screening* do germoplasma existente na coleção de trabalho e depois em acessos do Banco de Germoplasma de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, com ênfase nos teores de ferro e zinco nos grãos, aliado à produtividade e adaptabilidade às regiões de cultivo. Cerca de 200 genótipos já foram avaliados (NUTTI et al., 2009). No entanto, torna-se necessário um trabalho de melhoramento via hibridações entre genótipos ricos em ferro e zinco e altamente produtivos, objetivando a seleção de genótipos biofortificados e adaptados às regiões de cultivo.

Este trabalho teve os seguintes objetivos: a) avaliar a influência do efeito materno na expressão dos teores de ferro, zinco e proteína; b) estimar parâmetros genéticos para caracteres agronômicos, nutricionais e culinário nas populações segregantes; c) avaliar o potencial de populações de feijão-caupi segregantes para biofortificação dos teores de ferro, zinco e proteína e produção de grãos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem e classificação do feijão-caupi

A origem do feijão-caupi, acredita-se que tenha ocorrido, provavelmente, na África, e a região de Transvaal, na República da África do Sul, como sendo seu local de especiação (PADULOSI e NG, 1997). Foi introduzido na América Latina no século XVI, pelos colonizadores europeus, inicialmente nas colônias espanholas e em seguida no Brasil, provavelmente pelo estado da Bahia, disseminando-se pela região Nordeste, sobretudo no Semi-Árido (FREIRE FILHO, 1988).

O feijão-caupi é uma *Dicotiledônea* pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabacea*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna*, secção *Catiang* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (PADULOSI e NG, 1997). É uma espécie autógama, herbácea e anual (SINGH et al., 2002), considerada rústica, possuidora de ampla capacidade de adaptação e de alto potencial produtivo, características estas, que conferem à cultura grande valor (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

2.2 Importância sócio-econômica do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma leguminosa importante na alimentação humana e componente essencial no sistema de cultivo das regiões mais secas dos trópicos, que compreende Oriente, Oriente Médio, Sul da Europa, África, Sul dos Estados Unidos, América Central e América do Sul. Na África Ocidental e Central, é importante para subsistência de milhões de pessoas, fornecendo alimento e gerando renda. É uma excelente fonte de proteína, minerais e vitaminas na dieta diária, que impacta positivamente na saúde de mulheres e crianças (SINGH et al., 2002). Além disso, contém os dez aminoácidos essenciais ao ser humano e apresenta excelente valor calórico (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005). É considerado, na região centro-ocidental da África, a leguminosa alimentar mais importante e representa mais de 66% dos 12,5 milhões de hectares cultivados no mundo (SINGH; CHAMBLISS; SHARMA, 1997).

De acordo com Singh et al. (2002), o feijão-caupi pode ser utilizado como uma hortaliça, na forma de vagens e grãos verdes e folhas jovens; suas hastes são usadas na alimentação do gado, como suplemento de cereais em forragens; e os grãos secos, utilizados na preparação de alimentos.

A produção mundial de feijão-caupi atingiu 3,6 milhões de toneladas, destacando-se entre maiores produtores a Nigéria, o Níger e o Brasil, respectivamente (FAO, 2009). O Brasil ocupa o terceiro lugar com 1.409.417 ha de área plantada e uma produção anual de 495.313 toneladas (IBGE, 2008).

No Brasil, conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar (FREIRE FILHO et al., 2002), o feijão-caupi é considerado uma das espécies alimentares mais cultivadas no semi-árido do nordeste (CASTELLÓN et al., 2003; FREIRE FILHO et al., 2002), constituindo-se um dos mais importantes componentes da dieta alimentar das populações rurais desta região (FREIRE FILHO et al., 2002).

A importância do feijão-caupi foi bem demonstrada por Freire Filho (2009), quando estimou vários parâmetros sócio-econômicos relacionados com a cultura. Considerando-se os dados médios de produção e área colhida no período de 2004 a 2008, e com base na geração de 0,8 empregos/ha/ano e no consumo per capita de 18,21 kg/pessoa/ano, o feijão-caupi tem o potencial de suprimento alimentar para 26,5 milhões de pessoas. Com o preço histórico de R\$ 80,00 para a saca de 60 kg de feijão, a cultura tem um valor de produção da ordem de R\$ 643 milhões.

2.3 Qualidade nutricional e culinária do feijão-caupi

Os alimentos variam naturalmente em sua composição. Com relação às cultivares, a composição química varia de acordo com o genótipo, estágio de maturação na colheita, condições climáticas da região, composição do solo, técnicas de produção entre outros fatores (PADOVANI et al., 2007).

Dentre os alimentos consumidos pelo homem, aproximadamente 70%, são provenientes diretamente de sementes (a maioria delas de leguminosas e gramíneas) e grande proporção do restante é originada de animais que são alimentados com sementes. Estas apresentam substâncias estocadas como fonte de alimento para suprir os estádios iniciais de crescimento da plântula, que compreendem principalmente carboidratos, lipídios e proteínas. Outras substâncias, apesar de constituírem reservas igualmente importantes, são armazenadas em menor quantidade. Várias dessas substâncias são indesejáveis do ponto de vista nutricional ou são tóxicas, como lectinas, alcalóides, inibidores de proteases, fitina e alguns oligossacarídeos (rafinose, por exemplo) (GRANGEIRO, 2005). Entretanto, o cozimento inativa tais fatores tóxicos endógenos, que limitam a eficiência nutricional do produto (ONYENEKWE; NJOKU; AMEH, 2000).

O amido é o principal carboidrato encontrado nas sementes do feijão-caupi (MOREIRA, et. al., 2008) e a maior fonte de glicose da dieta humana (SALGADO et. al., 2005). O feijão-caupi é considerado uma importante fonte de fibras alimentares, vitaminas, incluindo tiamina, ácido fólico e riboflavina, e minerais, apresenta uma digestão mais lenta que o amido encontrado nos cereais e tubérculos, portanto, produz mudanças menos bruscas de glicemia após sua ingestão (PHILLIPS et al., 2003).

O feijão-caupi é uma valiosa fonte de proteína (CARBONARO et al., 2000; MAIA et al., 2000; MOREIRA et al., 2008), com uma média de 25%, apresentando padrão de aminoácidos típico das leguminosas, com baixas concentrações em aminoácidos sulfurados e altas concentrações em lisina (MOREIRA et al., 2008). Portanto, há necessidade de combinar o feijão-caupi com outros alimentos para compensar a deficiência em aminoácidos sulfurados (MAIA et al., 2000). A soja apresenta teor de proteína, em torno de 40% com base na matéria seca (MORAES et al., 2006), bem maior que o feijão-caupi, no entanto, este é um alimento mais disponível e acessível à população das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Oluwatosin (1998) avaliou 15 cultivares de feijão-caupi em três ambientes diferentes e evidenciou diferenças entre genótipos para os teores de ferro e zinco. Okwu e Orgi (2007), avaliando três cultivares de feijão-caupi, encontrou uma variação de 19 a 27% de proteína bruta; 1,7 a 3,6% de fibra bruta; 2,7 a 4,9% de lipídeos; 62,1 a 67,2 % de carboidratos; e 363,1 a 415,7 kcal de energia alimentar.

Um grupo de germoplasma indígena compreendendo 363 linhagens foi avaliado por Boukar et al. (2010), por meio de um método de agrupamento, visando a seleção de parentais com bons teores de nutrientes. Os autores encontraram um grupo com maiores médias para os teores de proteína (24,7%), ferro (58,9 mg kg⁻¹) e zinco (41,5 mg kg⁻¹). Maziya-Dixon e Fatokun (2010), também na Nigéria, avaliaram variedades de feijão-caupi e encontraram uma variação de 44,5 a 64,8 mg kg⁻¹ para o teor de ferro e de 30,8 a 43,7 mg kg⁻¹ para o teor de zinco. Esses trabalhos demonstram a existência de variabilidade genética e possibilidade de seleção e ganhos para qualidade nutricional em feijão-caupi.

O tempo de cocção é um caráter tecnológico que tem sido utilizado como um parâmetro importante quando da seleção e lançamento de cultivares em feijão-caupi. Em avaliações realizadas em 2000 genótipos pelo International Institute of Tropical Agriculture-IITA, na Nigéria, África, o tempo de cocção apresentou uma

variação de 27,5 minutos a 57,5 minutos (SINGH, 2006, 2007; SINGH, B.B.; AJEIGBE; SING, Y.V., 2009). Mashi (2006), avaliando oito genótipos africanos de feijão-caupi encontrou uma variação para o tempo de cocção de 28 a 46 minutos.

No Brasil, linhagens e cultivares desenvolvidas pelo programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte têm sido avaliadas quanto ao o tempo de cocção, após embebição dos grãos em água por cinco horas. O tempo de cocção variou de 13 minutos (BRS Tumucumaque..., 2009) a 22 minutos (BRS Xiquexique..., 2008). Outros caracteres tecnológicos têm sido estudados em feijão-caupi, tais como o percentual de embebição de água antes do cozimento (HENSHAW, 2008; SANTOS et al., 2008), o percentual de embebição de água após o cozimento, a porcentagem de grãos inteiros após o cozimento e a determinação da taxa de expansão volumétrica dos grãos após o cozimento (SANTOS et al., 2008). Esses estudos mostraram a existência de variabilidade genética e possibilidade de seleção e ganhos no que se refere à redução do tempo de cocção em feijão-caupi.

2.4 Genética da qualidade nutricional e culinária em graníferas

Como a acumulação dos minerais ocorre de maneira diferenciada no tegumento e nos cotilédones, a investigação de efeito materno na expressão dos teores de minerais em grãos de feijão se faz necessária. Isso porque tegumento é tecido materno e os cotilédones são produtos da fecundação, ou seja, são tecidos que estão em gerações diferentes (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

Zhang, Guo e Peng. (2004), por meio de cruzamentos dialélicos entre seis genitores de arroz, avaliaram o padrão de herança dos teores de ferro, zinco, manganês e fósforo. De acordo com os resultados obtidos, a herança de ferro, zinco e manganês sofre forte influência de efeito materno. Estes autores também encontraram efeitos aditivos e de dominância significativos.

Em feijão-comum, efeito materno foi constatado na expressão do teor de proteína e de ferro por Jost et al. (2009). Ribeiro (2010), investigando o potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão via melhoramento genético, também observou efeito materno na expressão do teor de ferro e de proteína nos grãos de feijão e, segundo este autor, isso tem implicação direta na seleção e na condução das populações segregantes obtidas por programas de melhoramento. No caso de efeito materno, a expressão do genótipo na geração F_1 somente será observada em

F₂, onde os cotilédones se comportam como se estivessem em F₁ e a seleção não é recomendada, pois será totalmente ineficaz. Assim, a seleção deverá ser postergada para a geração F₃ (cotilédones se comportando como se estivessem em geração F₂), quando segregação máxima será constatada.

A genética do teor de zinco em feijão comum foi estudada por Rosa (2009), que encontrou efeito materno não significativo. Ausência de efeito materno no controle dos teores de fibras insolúvel e solúvel, metionina e cisteína, em feijão comum, também foi observada por Londero et al. (2009). Jost et al. (2009), estudando a genética do teor de cálcio em feijão, constatou a existência de variabilidade genética em diferentes cruzamentos, com maior influência dos efeitos gênicos aditivos, além de expressão de efeito materno.

Em feijão-caupi, a herança do teor de proteína nos grãos de dois cruzamentos foi investigada por Emebiri (1991); este concluiu que em ambos os cruzamentos, a comparação do teor de proteína nos grãos de gerações de segregação recíproca indicou a influência de fatores citoplasmáticos. Esses resultados são de fundamental importância para o melhorista no momento de determinar em qual geração fazer a seleção.

Genótipos de feijão-caupi com altos teores de ferro e zinco nos grãos estão sendo usados em estudos genéticos para elucidar o modo de herança de diferentes caracteres relacionados à qualidade e também para o melhoramento e seleção de novas variedades biofortificadas e com alta produtividade (SINGH e AWIKA, 2010).

O potencial de cruzamentos dialélicos em feijão-caupi visando a biofortificação dos teores de ferro, zinco e proteína foi avaliado por Carvalho (2011). Esse autor encontrou que os efeitos aditivos foram mais importantes que os não-aditivos no controle desses caracteres. Sendo esse um bom resultado, visto que, efeitos aditivos são fixados pela seleção.

A herança do tempo de cocção foi avaliada por Mashii (2006), que encontrou dois alelos em diferentes locos controlando este caráter em feijão-caupi; a ação gênica foi predominantemente de dominância, mas efeitos gênicos aditivos e epistáticos também foram significantes; rápido tempo de cocção foi dominante sobre longo tempo de cocção; os genes que controlavam o tempo de cocção eram todos nucleares e não foram observados genes citoplasmáticos controlando o caráter.

2.5 Importância do ferro e do zinco na alimentação

A desnutrição é definida em saúde pública como um estado antropométrico que demonstra baixo desenvolvimento humano, consequência de uma dieta inadequada (WHO/REPORTS, 2002). A população mundial compreende aproximadamente 6,5 bilhões de pessoas, sendo que destes cerca de um bilhão é desnutrida (GRANGEIRO et al., 2005; SILVA; CORREA, 2009).

A deficiência de micronutrientes ocorre em mais da metade da população mundial (PFEIFFER; McCLAFFERTY, 2007), afetando, especialmente, crianças, adolescentes, gestantes e mulheres em idade fértil (ZANCUL, 2004). Conforme dados da Organização Mundial de Saúde, este não é um problema apenas dos países em desenvolvimento, mas também de países desenvolvidos (MORAES et al., 2009; NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005).

No Brasil, a ingestão de micronutrientes encontra-se abaixo do recomendado ou estes, mesmo quando ingeridos, apresentam baixa biodisponibilidade (MORAES et al., 2009; NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005). Entende-se biodisponibilidade como a fração de nutrientes ingeridos que é utilizada para funções fisiológicas normais ou armazenamento (KING, 2002).

As deficiências de minerais e vitaminas nos diferentes grupos etários compõem fatores de riscos para o desenvolvimento de várias enfermidades. Nesse contexto, a elaboração de estratégias que visem solucionar tal situação sem interferir na biodisponibilidade de outros nutrientes de importância para manutenção dos indivíduos torna-se imprescindível (SILVA, 2008).

O ferro é necessário em todos os tecidos corporais para as funções celulares básicas, e é especialmente importante no cérebro, músculo e células vermelhas do sangue (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002), sendo que feijão e carnes são as fontes mais importantes de ferro para a população brasileira (NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005). Deficiência desse mineral é um distúrbio nutricional de grande prevalência em todo mundo. Assim, entre 4 e 5 milhões de pessoas, cerca de 66% a 80% da população mundial pode apresentar deficiência em ferro, e 2 bilhões de pessoas, mais de 30% da população mundial, são anêmicos. Tal deficiência constitui um problema de saúde pública de proporções epidêmicas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001). Tanto que, no total, 0,8 milhões (1,5%) das mortes no mundo são atribuíveis à deficiência de ferro (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002).

As crianças e gestantes são mais comumente e gravemente afetadas pela carência de ferro, por conta da demanda do nutriente nestas fases. No entanto, pode ocorrer durante todo o ciclo de vida (WHITTAKER, 1998; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002). No Brasil, segundo Nutti, Carvalho e Watanabe (2005), a anemia ferropriva prevalece entre grupos de crianças menores de cinco anos, independentemente da classe social ou da posição geográfica. De acordo com Zancul (2004), a deficiência de ferro e a anemia ferropriva prevalecem no país, afetando mais de 50% das crianças com idade de seis a vinte e quatro meses, especialmente em regiões pobres.

O zinco é um dos mais importantes componentes da dieta humana, sendo indispensável para o desenvolvimento normal e funcionamento das células do sistema imune (SILVA, 2008). Estando envolvido em todos os pontos do metabolismo, sua deficiência pode conduzir a estados patológicos de graus variados (PERSON; BOTTI; FÉRES, 2006).

A deficiência de zinco afeta cerca de um terço da população mundial. Isso ocorre, principalmente, devido à ingestão ou à absorção inadequada de zinco na dieta, apesar de que perdas excessivas do micronutriente devido à diarreias também podem ocorrer. As melhores fontes de zinco são os produtos de origem animal, pois as fontes vegetais são ricas em fitatos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001).

2.6 Estratégias de combate à desnutrição

Para solucionar o problema da deficiência em micronutrientes, os países vêm adotando políticas públicas como programas de fortificação dos alimentos e/ou suplementação medicamentosa (MORAES et al., 2009; NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005).

A suplementação é uma estratégia na qual os nutrientes são distribuídos diretamente na forma de xaropes ou pílulas; na fortificação, esses nutrientes são adicionados aos alimentos através de processamento pós-colheita (NUTTI et al., 2007). Pela fortificação são adicionados certos micronutrientes, como minerais e vitaminas a alimentos de uso massivo, visando garantir a sua ingestão adequada (ZANCUL, 2004).

No Brasil, medidas nesse sentido, iniciaram-se pela fortificação do sal de cozinha com o iodo, a floração da água de abastecimento e, recentemente, com a

obrigatoriedade da fortificação da farinha de milho e trigo com o ferro e ácido fólico, visando diminuir o defeito do tubo neural e os altos índices de anemia, sendo já alcançados resultados importantes com estas estratégias (MORAES et al., 2009; NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005).

A fortificação apresenta vantagens, mas também encontra dificuldades. Entre as vantagens estão: a alta cobertura populacional, o fato de não modificar os hábitos alimentares e de apresentar baixo risco de toxicidade. As dificuldades estão relacionadas ao preço dos produtos fortificados e a sua distribuição (ZANCUL, 2004), visto que os alimentos fortificados podem não chegar à grande parte da população carente devido à deficiência de infra-estrutura de distribuição. Da mesma forma, a suplementação depende de um sistema de saúde com infra-estrutura, raramente encontrada em países em desenvolvimento (NUTTI; CARVALHO; WATANABE, 2005). Para que um programa de fortificação de alimentos dê bons resultados, deve-se determinar a prevalência da deficiência do micronutriente, conseguir o suporte da indústria de alimentos e usar compostos de alta biodisponibilidade (ZANCUL, 2004). Muitos problemas de deficiência de ferro já foram reduzidos com a fortificação. No entanto, para as populações de países em desenvolvimento deve-se considerar as limitações ao acesso a alimentos fortificados industrializados. Em certas regiões, a comercialização desses produtos é pequena e, muitas vezes, não existem supermercados ou postos de saúde, onde os alimentos fortificados possam ser comprados (ZANCUL, 2004).

Vários estudos têm sido conduzidos utilizando o feijão-caupi como uma espécie fortificante de alimentos, seja na elaboração de farinhas mistas com cereais como milho (MODU; LAMINU; SANDA, 2010) e arroz (HONFO et al., 2010), bem como na elaboração de produtos de panificação, tais como pães (CARVALHO et al., 2010), biscoitos (FROTA et al., 2010; MOREIRA-ARAÚJO et al., 2009) e rocamboles (FROTA et al., 2010), e outros, como o macarrão enriquecido com feijão-caupi (HERKEN et al., 2007) e leite vegetal a base de feijão-caupi + amendoim (AIDOO et al., 2010).

Para complementar as intervenções em andamento (suplementação e fortificação), surge como proposta a biofortificação, que consiste no desenvolvimento de cultivares que apresentem maiores teores de minerais e vitaminas (EMBRAPA, 2008). Nessa abordagem, além de características agrônômicas favoráveis, procura-se desenvolver alimentos básicos, que serão consumidos no dia a dia, com altos

teores em micronutrientes. É uma maneira eficiente de melhorar a qualidade dos alimentos usando o melhoramento convencional de plantas ou as técnicas de engenharia genética (KING, 2002).

A biofortificação apresenta como principais vantagens: 1) ser sustentável por promover alimentos básicos melhorados nutricionalmente para as populações carentes, diminuindo o estado de desnutrição dessas populações; 2) ter produtos que poderão ser significativamente efetivos no combate a deficiência de micronutrientes em áreas rurais; 3) apresentar baixos custos comparados aos tradicionais programas de suplementação e fortificação de alimentos realizados no mundo, visto que, o custo da produção agrícola com cultivares tradicionais é o mesmo com o uso de cultivares biofortificados (CARVALHO, 2009).

Atualmente, no mundo, encontram-se em andamento três programas de biofortificação, sendo dois internacionais, os programas desafios de biofortificação HarvestPlus e Agrosalud, e o programa brasileiro BioFORT, liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Esses programas são focados em espécies consideradas alimentos básicos em vários países, como é o caso do arroz, feijão comum, mandioca, milho, batata e feijão-caupi. A meta desses programas, no caso dos feijões, é desenvolver cultivares com teor de ferro e zinco, respectivamente, em torno de 100 ou 50 mg kg⁻¹ (NUTTI et al., 2009).

No Brasil, a biofortificação iniciou-se em 2004, com as atividades sendo coordenadas pela Embrapa (MORAES et al., 2009). A Embrapa Agroindústria de Alimentos lidera o programa de biofortificação e conta com a participação de outras unidades da Embrapa, de Universidades, do Centro de Tecnologia de Embalagem e Acondicionamento e das secretarias estaduais e municipais dos estados de Sergipe e Maranhão (CARVALHO, 2009).

2.6.1 Biofortificação do feijão-caupi

Um programa sistemático de melhoramento com o objetivo de desenvolver cultivares de feijão-caupi melhoradas com níveis enriquecidos de proteína e micronutrientes foi iniciado em 2003 pelo International Institute of Tropical Agriculture-IITA, com apoio do programa internacional de biofortificação HarvestPlus. Desde sua origem, consideráveis progressos têm sido obtidos e aproximadamente 2.000 genótipos (cultivares e linhagens) têm sido avaliados revelando significativa variabilidade genética em teor de proteína (21% a 30,7%),

teor de ferro (48 a 79 mg kg⁻¹) e teor de zinco (23 a 48 mg kg⁻¹) (TIMKO; SINGH, 2008). Com base na produtividade, resistência a pragas e atributos nutricionais, variedades de feijão-caupi promissoras têm sido identificadas com altos níveis de proteína, ferro e zinco (SINGH; AWIKA, 2010).

A Embrapa Meio-Norte iniciou suas atividades de biofortificação do feijão-caupi em 2006, com a seleção de gemoplasma elite rico em ferro e zinco. Em 2007, foram analisados 44 genótipos, compreendendo linhagens e cultivares adaptadas às regiões Norte e Nordeste do Brasil, desenvolvidos pelo programa de melhoramento de feijão-caupi (ROCHA, 2008). Como resultado dessa avaliação, foram selecionadas as linhagens TE96-290-12G e MNC99-537F-4, ricas em ferro e zinco (ROCHA et al., 2008), que foram lançadas como cultivares comerciais com os nomes de BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque (FREIRE FILHO et al., 2008). Numa segunda etapa, genótipos dos grupos comerciais verde e fradinho foram avaliados em 2009, com destaque para as linhagens MNC05-820B-240, do grupo fradinho, que apresentou teores de ferro e zinco, respectivamente, de 74,44 mg kg⁻¹ e 50,74 mg kg⁻¹; e MNC05-843B-88, do grupo verde, com 73,40 mg kg⁻¹ e 55,19 mg kg⁻¹, respectivamente. A cultivar BRS Aracê, do grupo comercial verde, foi lançada como sendo rica em ferro (61,7 mg kg⁻¹) e zinco (48,6 mg kg⁻¹) (FREIRE FILHO et al., 2009).

A BRS Xiquexique foi a primeira cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco desenvolvida pela Embrapa (EMBRAPA, 2008), que apresenta, em média, 77 mg kg⁻¹ de teor de ferro e 53 mg kg⁻¹ de teor de zinco, produtividade de grãos de 750 Kg/ha, em condição de sequeiro, e quase 2.000 Kg/ha em sistema irrigado, cozimento rápido e atende ao padrão de preferência de grande parte dos consumidores das regiões Norte e Nordeste (ALENCAR, 2009).

2.7 Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi

Estimativas de parâmetros genéticos como herdabilidade, coeficiente de variação genético e correlações entre caracteres são de grande importância, pois permitem que se conheça a variabilidade genética, o grau de transmissão do componente genético na expressão dos caracteres e se existe uma relação entre eles (ROCHA et al., 2003).

2.7.1 Coeficiente de variação genética

O coeficiente de variação genético (CV_g), parâmetro que tem por objetivo fornecer informação sobre a variabilidade da população, tendo a média como referência, possibilita a comparação da variabilidade existente em diferentes populações, ou dentro da mesma população para diversos caracteres. É estimado pela razão do desvio-padrão (s) em relação à média (m) (RAMALHO; PEREIRA; OLIVEIRA, 2005).

Em estudo sobre a variabilidade e o potencial genético de 28 linhagens de feijão-caupi, selecionadas para cor, tamanho de grãos e resistência a virose, Lopes et al. (2001), obtiveram coeficiente de variação genética de 23,90% para a produtividade de grãos e para valor agrônômico de 3,56%.

Rocha et al. (2003), estudando um grupo de genótipos de feijão-caupi de tegumento branco, constataram que os caracteres que apresentaram maior variabilidade genética foram: valor agrônômico (20,74%), peso de cem grãos (16,87%) e número de grãos por vagem (16,02%).

Andrade et al. (2010), analisando genótipos de feijão-caupi de vagem roxa e grãos brancos, observaram que o coeficiente de variação genética variou de 6,58%, para o índice de grãos verdes, a 31,62%, para a produtividade de grãos verdes, destacando-se também a produtividade de vagens verdes (30,16%).

2.7.2 Herdabilidade

A busca de quantificar a influência dos genes sobre determinada característica levou à determinação da herdabilidade (h^2) (GRIFFITHS et al., 2001), parâmetro de grande utilidade para os melhoristas, pois permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

Podem-se estimar dois tipos de herdabilidade: no sentido amplo, que envolve toda a variância genética, ou seja, variância aditiva e variância dominante; e no sentido restrito, que considera apenas a variância genética aditiva, aquela que é fixada pela seleção, sendo, na maioria dos casos, a mais importante para os melhoristas. A estimativa da herdabilidade no sentido amplo tem importância em casos de plantas que apresentam propagação vegetativa, isso porque, nessa situação o genótipo é inteiramente herdado (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

Em geral, a herdabilidade de certa característica é diferente em cada população e em cada ambiente (GRIFFITHS et al. 2001). Ela pode ser aumentada

pela introdução de mais variação genética na população e pela melhora das condições experimentais, de modo a reduzir a variação ambiental (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

Lopes et al. (2001), avaliando linhagens de feijão-caupi selecionadas para cor, tamanho de grãos e resistência a viroses, encontraram maior coeficiente de determinação genética para a produtividade (34,15%) e menor estimativa do coeficiente de determinação genético (4,51%) para número de vagens por pedúnculo.

Rocha et al. (2003), avaliando um grupo de feijão-caupi de tegumento branco, estimaram os coeficientes de herdabilidade; os maiores valores do parâmetro foram obtidos para peso de cem grãos (96,25%), número de grãos por vagem (89,90%), comprimento de vagem (82,95%) e número de dias para o início de floração (75,70%).

Mashi (2006), estudando a herança do tempo de cocção em feijão-caupi, estimou herdabilidades no sentido amplo de 89 a 95% e restrito de 58 a 85%,

Machado et al. (2008), avaliaram 22 genótipos de feijão-caupi, objetivando identificar genótipos de porte ereto, com hábito de crescimento determinado e de alta produtividade de grãos, constataram altas herdabilidades no sentido amplo, principalmente para as características número de dias para o início da floração (94,94%), número de dias para a maturidade (93,79%) e acamamento (91,93%).

Rocha et al. (2009), estudando o efeito da interação sobre os teores de ferro e zinco em feijão-caupi, obtiveram estimativas para o coeficiente de determinação genotípica de 91% e 90,7%, respectivamente. Já em um estudo com feijão-verde, Andrade (2010), obteve estimativas do coeficiente de determinação genotípica para os teores de proteína, ferro e zinco, respectivamente, de 50,59%, 70,47% e 83,57%.

Os resultados têm demonstrado que os caracteres: peso de cem grãos, número de grãos por vagem, comprimento de vagem, número de dias para o início de floração, tempo de cocção, número de dias para maturidade, acamamento, teor de proteína, teor de ferro e teor de zinco apresentaram estimativa de herdabilidade superior a 50%, indicado a presença de elevado componente genético na expressão desses caracteres. .

Em estimativas de parâmetros genéticos de características associada com a produção de feijão verde, Andrade (2010) e Andrade et al. (2010) observaram que a maioria dos caracteres estudados exibiram maiores valores para o componente

genético na expressão do caráter, destacando-se o comprimento de vagens verdes (91,49% e 98,72%). A presença de alto componente genético na expressão fenotípica, sugere que a obtenção de ganhos pode ser conseguida via seleção visual.

2.7.3 Correlação entre caracteres

A relação entre variáveis diferentes é medida por sua correlação, que é o produto médio dos desvios de duas variáveis de suas próprias médias (GRIFFITHS et al., 2001). No melhoramento, podem ser estimadas as correlações fenotípica, genética e de ambiente, entre dois caracteres. A correlação genética é a mais importante e pode ser devido à pleiotropia ou a ligação gênica (FALCONER; MACKAY, 1996).

Quando dois caracteres apresentam correlação genética, pode-se obter ganho para um deles através da seleção indireta. Em alguns casos, a seleção indireta, baseada na resposta correlacionada, pode levar a progressos mais rápidos do que a seleção direta do caráter desejado (SOUZA, 2005). Segundo Kurek et al. (2001), a correlação de um caráter pode assumir um valor positivo, negativo ou nulo.

Em feijão-caupi, a maioria dos trabalhos têm evidenciado a superioridade das correlações genéticas sobre as fenotípicas, e estas, sobre as ambientais (ANDRADE et al., 2010; APTE; CHAVAN; JADHAV, 1991; LOPES et al., 2001; MANO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2003; ROCHA et al., 2003) e que a produtividade de grãos tem correlação positiva com o comprimento de vagem, o número de grãos por vagem, o peso de cem grãos e o número de vagens por planta (BEZERRA et al., 2001; DIAS, 2009; LOPES et al., 2001; MANO et al., 2009; MATOS FILHO et al., 2009; PADI; EHLERS, 2008; ROCHA et al., 2003; UMAHARAN; ARIYANAGAM; HAQUE, 1997).

As estimativas de correlação entre a produtividade de grãos e o número de dias para o início da floração (NDIF) tem mostrado resultados contraditórios, sendo em alguns casos positiva (BEZERRA et al., 2001) e, em outros, negativa (MATOS FILHO et al., 2009), o que indica neste último caso a possibilidade de ganhos simultâneos por meio da seleção para produtividade e precocidade. Há resultados que evidenciaram ausência de correlação entre NDIF e a produtividade de grãos (PADI; EHLERS, 2008).

Em relação às correlações entre os constituintes químicos da semente e estes com a produtividade de grãos, os resultados em feijão-caupi têm evidenciado correlação positiva, entre o teor de ferro e o teor de zinco (ROCHA et al., 2009).

2.7.4 Análise de trilha

A interpretação e a quantificação da magnitude de uma correlação podem resultar em equívocos na estratégia de seleção, já que correlação elevada pode ser resultado do efeito de outros caracteres (CRUZ; REGAZZI, 1997). Nesse contexto, surge a análise de trilha como um artifício que o melhorista dispõe para entender as causas envolvidas nas associações entre caracteres e para decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal e variáveis explicativas (KUREK et al., 2001).

A análise de trilha vem sendo utilizada com o objetivo de investigar os efeitos diretos e indiretos dos componentes primários e secundários do rendimento sobre o rendimento em várias leguminosas de importância econômica (FURTADO et al., 2002).

Vários estudos de análise de trilha em feijão-caupi têm mostrado que maior efeito direto sobre a produtividade de grãos têm sido proporcionado pelo caráter peso de cem grãos (BEZERRA et al., 2001; DIAS, 2009; HAMID et al., 1996; LESLY, 2005; OLIVEIRA et al., 2003; PEKSEN; ARTIK, 2004; SOUZA, 2005) e uma influência indireta deste via comprimento de vagem (HAMID et al., 1996). Kumari et al. (2010) observou efeito direto negativo do peso de cem grãos sobre a produtividade de grãos. Dias (2009) verificou que maior efeito direto negativo sobre a produtividade de grãos foi proporcionado pelo comprimento de vagem.

Efeito direto positivo do caráter número de dias para o início da floração sobre a produtividade de grãos também tem sido observado em alguns estudos em feijão-caupi (BEZERRA et al., 2001; KUMARI et al., 2010; LESLY, 2005). Efeito direto negativo do número de dias para maturidade foi estimado por Kumari et al. (2010).

Outros estudos mostraram que o número de vagens por planta foi o caráter mais influente na seleção para produtividade de grãos em feijão-caupi (KURER, 2007; NAKAWUKA; ADIPALA, 1999; OLIVEIRA et al., 2003; PEKSEN; ARTIK, 2004; SOUZA, 2005; UDOM et al., 2006).

Em análises de trilha conduzidas por Nakawuka e Adipala (1999), Udom et al. (2006) e Dias (2009), encontrou-se contribuição direta positiva do número de grãos

por vagem na produtividade de grãos, enquanto Kumari et al. (2010) encontraram efeitos diretos negativos.

Estudando um grupo de genótipos de feijão-caupi de tegumento verde, Andrade (2010) observou que a produtividade de vagens verdes e o teor de proteína foram, respectivamente, os componentes agronômicos e nutricionais que mais influenciaram a produtividade de grãos verdes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Foram utilizados nesse estudo, como parentais, os genótipos: BRS Xiquexique (P_1), cultivar rica em ferro e zinco, procedente do Programa de Melhoramento da Embrapa Meio-Norte; IT-98K-205-8 (P_2), linhagem rica em ferro; e IT-97K-1042-3 (P_3), linhagem rica em zinco, ambas provenientes do International Institute of Tropical Agriculture (IITA), em Ibadan, Nigéria (Tabela 1) (Figura 1).

Tabela 1 - Características dos genótipos parentais utilizados. Teresina, PI, 2009/2010.

Símbolo	Parental	Genealogia	Origem	Cor do grão
P_1	BRS Xiquexique	TE87-108-6G x TE87-98-8G	Brasil	Branco
P_2	IT-98K-205-8	-	Nigéria	Branco
P_3	IT-97K-1042-3	-	Nigéria	Vermelho

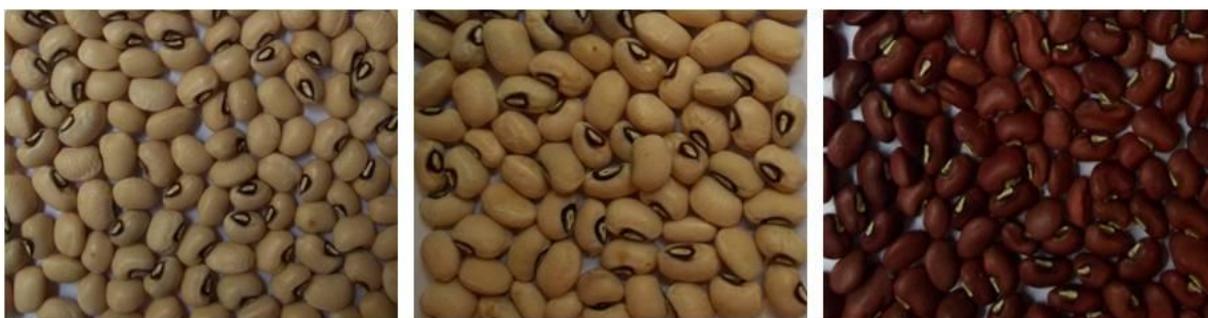


Figura 1 – Genótipos parentais utilizados nos cruzamentos: BRS Xiquexique (à esquerda), IT-98K-205-8 (ao centro) e IT-97K-1042-3 (à direita). Teresina, PI, 2009.

Os quatro cruzamentos entre os genótipos parentais (P_1 , P_2 e P_3), incluindo os recíprocos, foram realizados em condições de telado na Embrapa Meio-Norte, durante o ano de 2009: C_1 - BRS Xiquexique x IT-98K-205-8, C_2 - IT-98K-205-8 x BRS Xiquexique, C_3 - BRS Xiquexique x IT-97K-1042-3, e C_4 - IT-97K-1042-3 x BRS Xiquexique. No ano de 2010 foram realizados quatro retrocruzamentos, tendo a BRS Xiquexique como parental feminino. Foram obtidas as gerações F_1 , F_2 e F_3 , sendo essa última em nível de semente, resultantes dos cruzamentos e dos retrocruzamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Identificação dos cruzamentos e retrocruzamentos, populações F₁ e F₂/F₃ de feijão-caupi obtidos na geração da semente (caracteres nutricionais e culinário) e da planta (caracteres agrônômicos). Teresina, PI, 2009/2010.

Símbolo	Significado
P ₁	BRS Xiquexique
P ₂	IT-98K-205-8
P ₃	IT-97K-1042-3
C ₁	Cruzamento P ₁ (BRS Xiquexique) X P ₂ (IT-98K-205-8)
C ₂	Cruzamento P ₂ (IT-98K-205-8) X P ₁ (BRS Xiquexique)
C ₃	Cruzamento P ₁ (BRS Xiquexique) X P ₃ (IT-97K-1042-3)
C ₄	Cruzamento P ₃ (IT-97K-1042-3) X P ₁ (BRS Xiquexique)
F ₁ C ₁	Geração F ₁ (planta) proveniente do cruzamento C ₁ (P ₁ X P ₂)
F ₂ C ₁	Geração F ₂ (semente) proveniente do cruzamento C ₁ (P ₁ X P ₂)
F ₁ C ₂	Geração F ₁ (planta) proveniente do cruzamento C ₂ (P ₂ X P ₁)
F ₂ C ₂	Geração F ₂ (semente) proveniente do cruzamento C ₂ (P ₂ X P ₁)
F ₁ C ₃	Geração F ₁ (planta) proveniente do cruzamento C ₃ (P ₁ X P ₃)
F ₂ C ₃	Geração F ₂ (semente) proveniente do cruzamento C ₃ (P ₁ X P ₃)
F ₁ C ₄	Geração F ₁ (planta) proveniente do cruzamento C ₄ (P ₃ X P ₁)
F ₂ C ₄	Geração F ₂ (semente) proveniente do cruzamento C ₄ (P ₃ X P ₁)
RC ₁	Retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₂) X P ₁
RC ₂	Retrocruzamento F ₁ (P ₂ x P ₁) X P ₁
RC ₃	Retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₃) X P ₁
RC ₄	Retrocruzamento F ₁ (P ₃ x P ₁) X P ₁
F ₂ C ₁	Geração F ₂ da planta proveniente do cruzamento C ₁
F ₃ C ₁	Geração F ₃ da semente proveniente do cruzamento C ₁
F ₂ C ₂	Geração F ₂ da planta proveniente do cruzamento C ₂
F ₃ C ₂	Geração F ₃ da semente proveniente do cruzamento C ₂
F ₂ C ₃	Geração F ₂ da planta proveniente do cruzamento C ₃
F ₃ C ₃	Geração F ₃ da semente proveniente do cruzamento C ₃
F ₂ C ₄	Geração F ₂ da planta proveniente do cruzamento C ₄
F ₃ C ₄	Geração F ₃ semente proveniente do cruzamento C ₄
F ₁ RC ₁	Geração F ₁ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₂) X P ₁
F ₂ RC ₁	Geração F ₂ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₂) X P ₁
F ₁ RC ₂	Geração F ₁ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₂ x P ₁) X P ₁
F ₂ RC ₂	Geração F ₂ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₂ x P ₁) X P ₁
F ₁ RC ₃	Geração F ₁ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₃) X P ₁
F ₂ RC ₃	Geração F ₂ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₃) X P ₁
F ₁ RC ₄	Geração F ₁ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₃ x P ₁) X P ₁
F ₂ RC ₄	Geração F ₂ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₃ x P ₁) X P ₁
F ₂ RC ₁	Geração F ₂ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₂) X P ₁
F ₃ RC ₁	Geração F ₃ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₂) X P ₁
F ₂ RC ₂	Geração F ₂ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₂ x P ₁) X P ₁
F ₃ RC ₂	Geração F ₃ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₂ x P ₁) X P ₁
F ₂ RC ₃	Geração F ₂ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₃) X P ₁
F ₃ RC ₃	Geração F ₃ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₁ x P ₃) X P ₁
F ₂ RC ₄	Geração F ₂ da planta proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₃ x P ₁) X P ₁
F ₃ RC ₄	Geração F ₃ da semente proveniente do retrocruzamento F ₁ (P ₃ x P ₁) X P ₁

Para obtenção da geração F_1 foi utilizada a técnica de cruzamento em que a coleta de pólen do parental masculino foi realizada pela manhã e a emasculação do botão floral do parental feminino e as polinizações, no período da tarde, de acordo com Rego et al. (2006), conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2 - Realização dos cruzamentos em condições de telado. Teresina, PI, 2009.

Foram obtidas 10 sementes F_1 do cruzamento C_1 , 27 sementes do cruzamento C_2 , 11 sementes do cruzamento C_3 e 17 sementes do cruzamento C_4 . Em função do reduzido número de sementes F_1 , as mesmas, foram inicialmente semeadas em bandejas, no dia 02 de fevereiro de 2010, sendo que sete dias depois as plântulas foram transplantadas para o solo sob condições de telado. Nas plantas F_1 dos quatro cruzamentos foram obtidas as sementes F_2 e realizados os retrocruzamentos com a cultivar BRS-Xiquexique, utilizada como planta mãe. Essa cultivar foi plantada diretamente em cova, colocando-se duas sementes, no dia 05 de fevereiro de 2010, sendo o desbaste realizado para uma planta por cova, em 10 de março de 2010. Após a obtenção de sementes F_1 dos retrocruzamentos, essas foram semeadas para a obtenção de sementes F_2 (Tabela 2).

Durante a realização dos cruzamentos, retrocruzamentos e obtenção de populações segregantes (F_2/F_3) em condição de telado, utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional, com turno de rega de cinco dias e duração de duas horas. Antes de cada plantio, aplicou-se fungicida, a base de Metalaxil-m e Mancozebe, no solo, para prevenção de fungos, e herbicida, a base de Glifosate, para o controle de ervas daninhas.

3.2 Metodologia Experimental

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um em condições de telado, no primeiro semestre de 2010, e outro, em condições de campo, no período de agosto a novembro de 2010, na área experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, situado na latitude de 05° 05´ S, longitude de 42° 48´ W Gr e a 72 m de altitude.

3.2.1 Experimento em condições de telado

No ensaio conduzido em condições de telado (Figura 3), foram avaliados somente os caracteres teor de proteína, teor de ferro e teor de zinco, na geração F₂ (semente) resultantes dos cruzamentos e retrocruzamentos (Tabela 2), totalizando oito populações, com o objetivo de investigar a influência do efeito materno na expressão desses caracteres em feijão-caupi. Os tratamentos foram representados por uma parcela contendo 10 plantas, em delineamento de blocos inteiramente casualizado.



Figura 3 – Experimento conduzido em condições de telado. Teresina, PI, 2010.

3.2.2 Experimento em condições de campo

No experimento conduzido em condições de campo (Figura 4), foram avaliados os caracteres da planta (agronômicos) e da semente (nutricionais e culinário) nos parentais (P₁, P₂ e P₃), juntamente com as gerações F₂ (planta)/F₃ (semente), resultantes dos cruzamentos e retrocruzamentos (Tabela 2), totalizando 11 tratamentos.



Figura 4 - Experimento de campo. Teresina, PI, 2010.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental teve as dimensões de 3,2 m x 5,0 m e constou de quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, tendo como área útil as duas fileiras centrais. Adotou-se o espaçamento de 0,80 m entre fileiras e de 0,25 m entre covas dentro da fileira, o que resultou em 20 covas por fileira.

Foram coletadas porções superficiais do solo (0 a 20 cm) para análise com a finalidade de fornecer informações sobre os teores minerais visando auxiliar nas discussões dos resultados dos teores de ferro e zinco nos grãos das populações de feijão-caupi avaliadas (Anexo 1).

O preparo da área consistiu de aração, seguida de uma gradagem. Não foi realizada adubação. No plantio, dia 31 de agosto de 2010, colocou-se quatro sementes por cova, realizando-se o desbaste 15 dias depois, deixando-se uma planta por cova.

Para o controle de doenças fúngicas, antes do plantio, aplicou-se o fungicida à base de Metalaxil-m e Mancozebe. No controle de plantas daninhas, utilizou-se o herbicida pós-emergente a base de Glifosate e o herbicida pré-emergente a base de S-Metalacloro, após a semeadura.

A precipitação ocorrida no período de condução do ensaio de campo foi de apenas 14,2 mm registradas nos dias 22 e 23 de outubro de 2011, segundo dados da estação meteorológica da Embrapa Meio-Norte (Estação Meteorológica da Embrapa Meio-Norte, 2011). Assim, utilizou-se irrigação por aspersão convencional, aplicando uma lâmina d'água média de 20 mm, com um período de duas horas de irrigação e turno de rega de cinco dias.

Durante o desenvolvimento das plantas, foram realizadas duas capinas manuais, sendo a primeira realizada em 23 de setembro de 2010 e a segunda, em 07 de outubro de 2010.

Foram observados os seguintes insetos associados à cultura: cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri* (Ross & Moore)), vaquinha (*Cerotoma arcuata* (Olivier)) e pulgão (*Aphis gossypii* (Glover)). No combate à esses insetos, utilizou-se inseticidas a base de dimetoato e inseticidas a base de tiametoxam.

A colheita foi realizada em novembro de 2010.

3.3 Caracteres avaliados

3.3.1 Caracteres agronômicos

Os caracteres agronômicos avaliados no ensaio de campo foram os seguintes: número de dias para o início da floração (NDIF), porte da planta (PP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM) comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção de grãos (PG).

Os caracteres VC, PP e ACAM, foram obtidos em escala de notas, de acordo com os aspectos visuais da planta (VC: 1 = Planta sem características apropriadas ao cultivo comercial, 2 = Planta com poucas características apropriadas ao cultivo comercial, 3 = Planta com boa parte das características adequadas ao cultivo comercial, 4 = Planta com a maioria das características adequadas ao cultivo comercial e 5 = Planta com todas as características adequadas ao cultivo comercial; ACAM: 1 = nenhuma planta acamada, 2 = 1 a 5% das plantas acamadas, 3 = de 6 a 10% das plantas acamadas, 4 = de 11 a 20% das plantas acamadas e 5 = acima de 20% das plantas acamadas; e PP: 1 = porte ereto, 2 = porte semi-ereto, 3 = semi-prostrado, 4 = Prostrado). Os dados referentes a esses caracteres foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

Na avaliação do caráter NDIF considerou-se o número de dias transcorrido do plantio ao aparecimento das primeiras flores em 10% da população avaliada. O COMPV foi avaliado calculando-se a média do peso de cinco vagens colhidas ao acaso. O NGV foi calculado somando-se os grãos obtidos em cinco vagens e dividindo-se o resultado obtido por cinco. O P100G foi obtido pesando-se diretamente cem grãos selecionados ao acaso. Para obtenção do IG utilizou-se a

seguinte fórmula: $(PG5V/5 \div P5V/5) \times 100$, onde o PG5V representa o peso de grãos obtido em cinco vagens, e o P5V refere-se ao peso dessas cinco vagens.

3.3.2 Caracteres nutricionais e culinário

Para a avaliação desses caracteres, obtidos no ensaio de campo e realizados na geração da semente, utilizou-se sementes dos parentais e das gerações F_2 e F_3 resultantes dos cruzamentos e dos retrocruzamentos (Figuras 5 e 6).

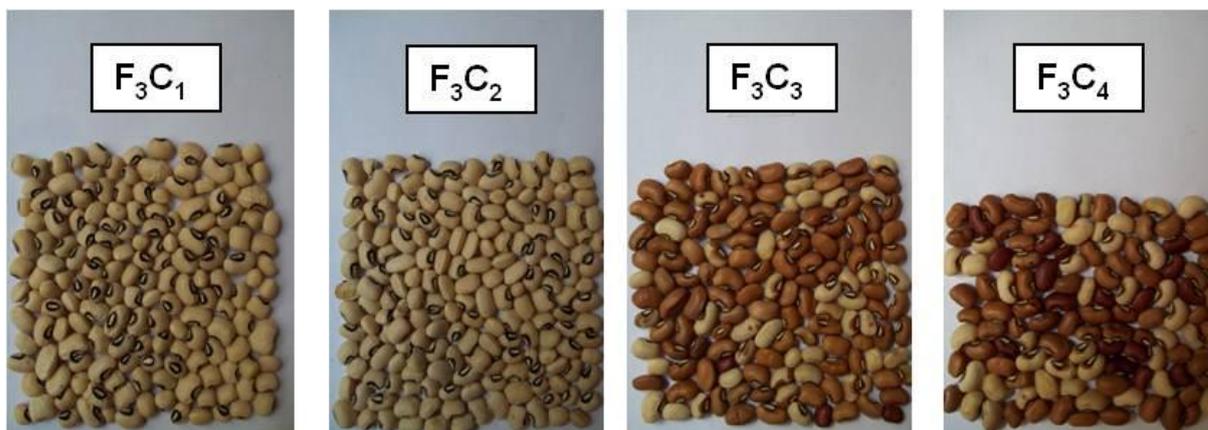


Figura 5 - Populações F_3 resultantes dos cruzamentos. Teresina, PI, 2010.

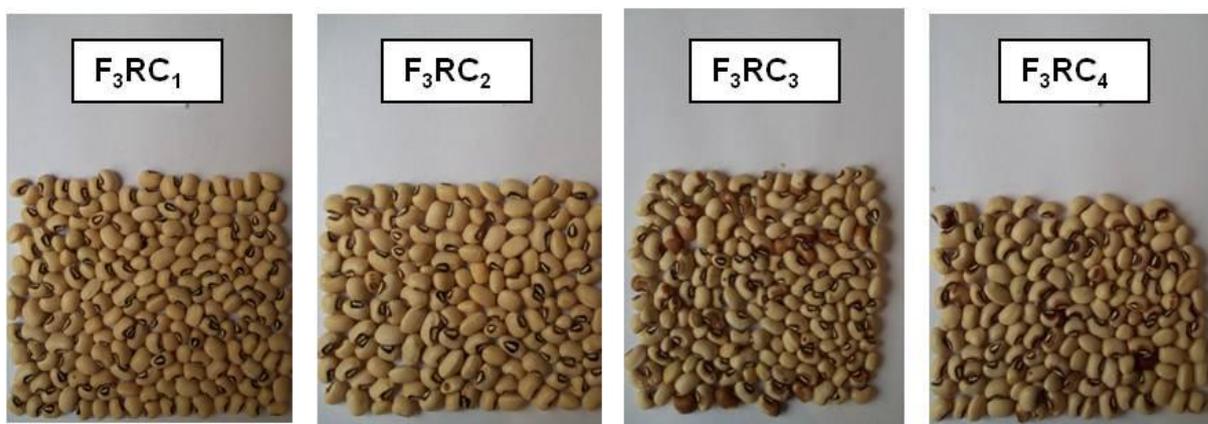


Figura 6 - Populações F_3 resultantes dos retrocruzamentos. Teresina, PI, 2010.

As análises para determinação dos teores de proteína (TP), ferro (TFe) e zinco (TZn) foram realizadas no Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais (CAMPO), em Paracatu – MG. Amostras de grãos de cada população foram lavadas em água destilada (Figura 7) e secadas em estufa a 65°C (Figura 8). Posteriormente cada amostra foi triturada em moinho de bolas de zircônio (Figura 9).



Figura 7 - Lavagem das amostras de grãos de populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.



Figura 8 - Secagem das amostras de grãos de populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.



Figura 9 - Moinho com bolas de zircônio, Teresina, PI, 2010.

O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de Kjeldahl (A.O.A.C., 1990) e os teores de ferro e zinco, por meio de digestão nítrica-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme Sarruge e Haag (1974). O tempo de cocção foi determinado por meio do cozedor de Mattson (Figura 10), em quatro amostras de 25 grãos/população. O cronômetro era ligado somente quando o

cozedor de Mattson estava totalmente imerso no becker, com água em fervura. O tempo de cocção foi anotado quando treze varetas do total de vinte e cinco haviam perfurado totalmente os grãos.



Figura 10 – Avaliação do tempo de cocção por meio do cozedor de Mattson. Teresina, PI, 2010.

3.4 Análises estatístico-genéticas

3.4.1 Experimento em condições de telado

As populações F_2 resultantes de cruzamentos e retrocruzamentos foram avaliadas em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sendo considerado como fixo o efeito de populações. Adotou-se o modelo de acordo com a eq. (1):

$$Y_{ij} = u + P_i + E_{ij} \quad (1)$$

onde:

u = média geral

P_i = efeito da i -ésima população, com $i = 1, 2, \dots, p$.

E_{ij} = erro experimental médio, com $E_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$

Com o objetivo de investigar o efeito materno na expressão dos caracteres teor de proteína, teor de ferro e teor de zinco, foram estimados os contrastes entre médias das populações F_2 e seus recíprocos, por meio do teste t ($P < 0,05$) para dados não-pareados, ou seja, comparação entre médias de duas populações quaisquer, com aplicação do teste de homogeneidade de variâncias. Neste caso, se a herança do caráter é controlada por genes nucleares, as médias de

cruzamentos/retrocruzamentos e de seus recíprocos serão idênticas ($h_0 = 0$). Porém, se o caráter é devido a efeitos citoplasmáticos, as médias dos cruzamentos recíprocos serão diferentes ($h_0 \neq 0$).

As médias das populações foram agrupadas pelo teste de Scott-knott ($P < 0,05$).

3.4.2 Experimento em condições de campo

Os dados dos parentais (P_1 , P_2 e P_3), populações F_2 (planta)/ F_3 (semente) resultantes dos cruzamentos (F_2C_1/F_3C_1 , F_2C_2/F_3C_2 , F_2C_3/F_3C_3 e F_2C_4/F_3C_4) e F_2 (planta)/ F_3 (semente) e dos retrocruzamentos (F_2RC_1/F_3RC_1 , F_2RC_2/F_2RC_2 , F_2RC_3/F_3RC_3 , F_2RC_4/F_3RC_4), obtidos no ensaio de campo, sob delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições, foram analisados, considerando-se como fixos os efeitos de tratamentos. Adotou-se o modelo de acordo com a eq. (2):

$$Y_{ij} = u + P_i + B_j + E_{ij} \quad (2)$$

onde:

u = média geral

P_i = efeito da i -ésima população, com $i = 1, 2, \dots, p$.

B_j = efeito do j -ésimo bloco, com $j = 1, 2, \dots, r$, e $B_j \sim \text{NID}(0, \sigma_b^2)$

E_{ij} = erro experimental e $E_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma_e^2)$

As médias das populações foram agrupadas pelo teste de Scott-knott ($P < 0,05$).

Foram estimados os seguintes parâmetros genéticos: coeficiente de variação genético (CVg), herdabilidade no sentido amplo (h^2) e os efeitos diretos e indiretos dos componentes de produção sobre a produção de grãos, bem como dos caracteres nutricionais e culinário, produção e tamanho do grão sobre os teores de ferro e zinco; ambos por meio da análise de trilha.

- Coeficiente de variação genético (CVg)

O coeficiente de variação genético foi estimado segundo a eq. (3):

$$CVg(\%) = \frac{100\sqrt{\hat{\phi}_g}}{m} \quad (3)$$

Onde $\hat{\phi}_g$ foi estimado segundo a eq. (4):

$$\hat{\phi}_g = \frac{QMT - QMR}{b} \quad (4)$$

sendo:

$\hat{\phi}_g$ - componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica média;

QMT – quadrado médio de tratamentos;

QMR – quadrado médio do resíduo;

b – número de repetições

m – média geral.

- Herdabilidade no sentido amplo (h^2)

A herdabilidade do caráter foi estimada por meio da eq. (5):

$$h^2 = \frac{\hat{\phi}_g}{\hat{\sigma}_F^2} \quad (5)$$

Sendo:

h^2 – herdabilidade no sentido amplo;

$\hat{\phi}_g$ - variância do efeito fixo de genótipo;

$\hat{\sigma}_F^2$ - variância do efeito fixo de fenótipo.

- Análise de trilha

Os dados fenotípicos obtidos foram submetidos às estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r) e os resultados mais significativos foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica.

Após o estabelecimento das equações básicas da análise de trilha, a resolução na forma matricial foi obtida de acordo com a eq. (6):

$$X'X\beta = X'Y \quad (6)$$

onde:

$X'X$ = matriz não-singular das correlações entre as variáveis explicativas;

β = vetor coluna de coeficientes de trilha;

$X'Y$ = vetor coluna das correlações entre as variáveis explicativas e a variável básica.

A correlação entre a variável básica e as variáveis explicativas pode ser estimada segundo a eq. (7);

$$r_{ix} = P_{ix} + \sum_{j \neq i}^n r_{ij} P_{jx} \quad (7)$$

onde:

r_{ix} : correlação entre a variável básica e a i-ésima variável explicativa;

P_{ix} : efeito direto da variável i sobre a variável básica;

$r_{ij}P_{jx}$: efeito indireto da variável i, via a variável j, sobre a variável básica.

A solução de mínimos quadrados desse sistema é dada segundo a eq. (8):

$$\beta = (X'X)^{-1} X'Y \quad (8)$$

A interpretação dos resultados da análise de trilha foi realizada conforme Vencovsky e Barriga (1992), em que coeficientes de correlação e efeitos diretos altos indicam que as variáveis independentes explicam grande parte da variação apresentada pela variável básica, enquanto que coeficientes de correlação positivos (ou negativos), com efeito direto de sinal diferente ou negligenciável, indicam que variáveis com maiores efeitos indiretos, devem ser consideradas para explicarem a variação da variável básica.

Foram analisadas as seguintes hipóteses na análise de trilha:

- a) Efeitos diretos e indiretos dos componentes de produção (variáveis explicativas) sobre a produção de grãos (variável básica);
- b) Efeitos diretos e indiretos dos caracteres TP, TFe, TC, P100G e PG (variáveis explicativas) sobre o teor de zinco (variável básica);
- c) Efeitos diretos e indiretos dos caracteres TP, TZn, TC, P100G e PG (variáveis explicativas) sobre o teor de ferro (variável básica).

O diagrama causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica é mostrado na Figura 11.

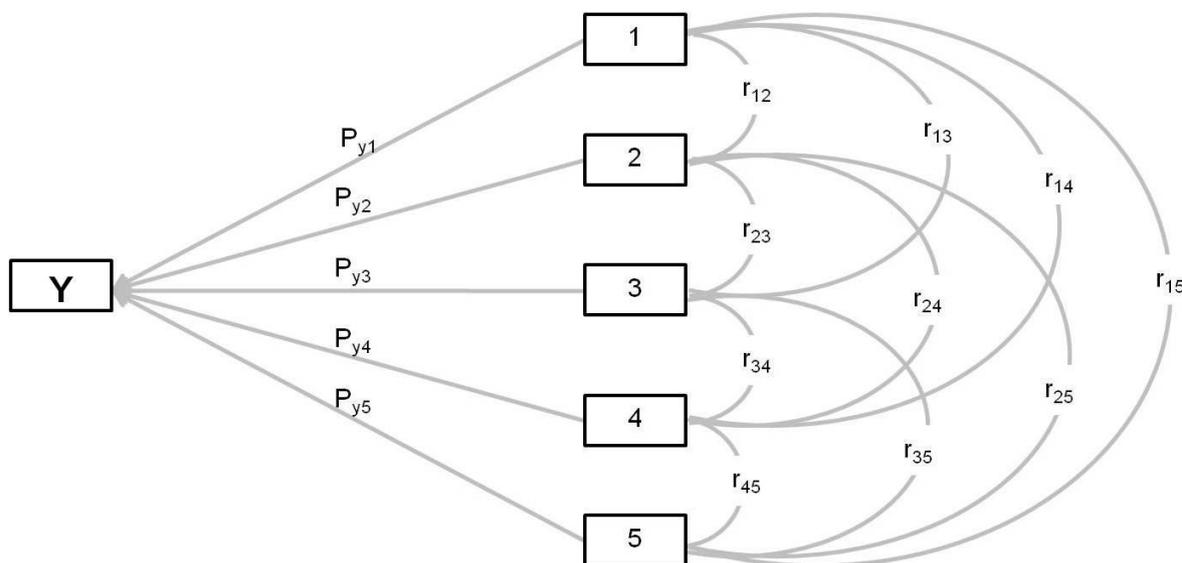


Figura 11 - Diagrama ilustrativo mostrando os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas 1, 2, 3, 4 e 5 sobre a variável básica Y . P_{yi} : efeito direto de cada um dos cinco caracteres explicativos sobre a variável básica Y . r_{ij} : coeficiente de correlação fenotípica entre os caracteres explicativos.

Todas as análises foram realizadas por meio do programa GENES (Cruz, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracteres nutricionais e culinário

4.1.1 Experimento em condições de telado

As análises realizadas nas populações F₂, geração semente, resultantes de cruzamentos e retrocruzamentos, para os caracteres teor de proteína, teor de ferro e teor de zinco, mostraram a existência de diferenças entre populações (P<0,05) (Tabela 3), o que indica a possibilidade de progressos genéticos por meio da seleção.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para os caracteres nutricionais, obtida a partir da avaliação das populações F₂ de feijão-caupi, resultantes de cruzamentos e de retrocruzamentos entre parentais ricos em ferro e zinco. Teresina, PI, 2010.

Fonte de Variação.	G.L.	TP ¹ (%)	TFe ¹ (mg kg ⁻¹)	TZn ¹ (mg kg ⁻¹)
Populações F ₂	7	1,26**	4,41**	16,54**
Resíduo	16	0,02	2,61	0,94
Média geral		26,40	55,00	62,93
CV(%)		0,51	2,61	1,82

⁽¹⁾Teor de proteína (TP), teor de zinco (TZn); teor de ferro (TFe);

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

A precisão experimental foi alta para todos os caracteres, conforme estimativas de CVs (Tabela 3), sendo menores do que as obtidas por Rocha et al. (2009), para os caracteres TFe e TZn, e Carvalho (2011), para os três caracteres.

As análises de contraste entre médias dos cruzamentos e retrocruzamentos e seus recíprocos mostraram que pelo menos um dos contrastes testados foi significativo (P<0,05) para todos os caracteres, destacando-se o contraste F₂RC₁(P₁ x P₂) vs F₂RC₂(P₂ x P₁) (Tabela 4). Maior evidência de efeito materno foi observada para os teores de proteína e zinco, onde dos quatro contrastes analisados, três foram significativos. O teor de ferro apresentou apenas um dos contrastes significativos.

Tabela 4 – Estimativas de contrastes entre médias de cruzamentos/retrocruzamentos e seus recíprocos para os caracteres nutricionais¹. Teresina, PI, 2010.

População	TP (%)	TFe (mg kg ⁻¹)	TZn (mg kg ⁻¹)
F ₂ C ₁ (P ₁ x P ₂) vs F ₂ C ₂ (P ₂ x P ₁)	5,82 ^{(2)*}	1,66 ^{ns}	2,16 ^{ns}
F ₂ C ₃ (P ₁ x P ₃) vs F ₂ C ₄ (P ₃ x P ₁)	17,14 ^{(2)*}	2,14 ^{ns}	2,91*
F ₂ RC ₁ (P ₁ x P ₂)xP ₁ vs F ₂ RC ₂ (P ₂ x P ₁)xP ₁	19,04 ^{(2)*}	12,43*	7,75*
F ₂ RC ₃ (P ₁ x P ₃)xP ₁ vs F ₂ RC ₄ (P ₃ x P ₁)xP ₁	1,89 ^{(2)ns}	1,82 ^{ns}	3,38*

^{ns}Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

⁽¹⁾Teor de proteína (TP), teor de ferro (TFe) e teor de zinco (TZn);

Diferenças entre médias de cruzamentos e seus recíprocos, segundo Jost et al. (2009), comprovam que o fenótipo do descendente é dependente do genótipo materno, ou seja, ocorrem efeito materno na expressão dos teores de proteína, ferro e zinco nos dois cruzamentos e um retrocruzamento analisados. De acordo com Ramalho, Santos e Pinto (2008), o efeito materno é um caso especial de herança controlada por genes nucleares da mãe, porém que são responsáveis por certas condições do citoplasma do óvulo. Como consequência para o melhoramento, a seleção na geração F₂ não é recomendada e deverá ser realizada a partir da geração F₃ (RIBEIRO, 2010).

Os resultados obtidos nesse trabalho corroboram com os obtidos por Emebiri (1991), que observou efeito materno na expressão do teor de proteína em feijão-caupi; e com Jost et al. (2009), que observaram efeito materno na expressão do teor de ferro, em feijão comum. No entanto, estes discordam dos resultados obtidos por Rosa (2009), que não encontrou efeito materno na expressão do teor de zinco, em feijão comum.

O teor de proteína variou de 24,90% a 27,04%, com média de 26,40% (Tabela 5). Essa média foi maior do que as encontradas por Rocha et al. (2008) e Carvalho (2011), em avaliações realizadas em outras populações. Vale destacar a população F₂C₄(P₃ x P₁) que superou as demais populações em termos de médias. O teor de ferro variou de 59,82 mg kg⁻¹ a 65,95 mg kg⁻¹, com média de 62,93 mg kg⁻¹. Essa média foi menor do que as encontradas por Rocha et al. (2008) e Carvalho (2011), em avaliações realizadas em outras populações.

Tabela 5 – Estimativas de médias de populações F₂ de feijão-caupi para os caracteres nutricionais¹. Teresina, PI, 2010.

População	TP (%)	TFe (mg kg ⁻¹)	TZn (mg kg ⁻¹)
F ₂ C ₁ (P ₁ x P ₂)	26,55c	65,95a	56,20a
F ₂ C ₂ (P ₂ x P ₁)	26,77b	62,13b	53,91b
F ₂ C ₃ (P ₁ x P ₃)	26,62c	65,21a	56,77a
F ₂ C ₄ (P ₃ x P ₁)	27,04a	60,80b	55,39a
F ₂ RC ₁ (P ₁ x P ₂)x P ₁	26,45d	64,86a	55,40a
F ₂ RC ₂ (P ₂ x P ₁)x P ₁	24,90e	60,82b	53,09b
F ₂ RC ₃ (P ₁ x P ₃)x P ₁	26,65c	63,77a	54,21b
F ₂ RC ₄ (P ₃ x P ₁)x P ₁	26,27d	59,82b	54,99a
Média geral	26,40	62,93	55,00

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05);

⁽¹⁾Teor de proteína (TP), teor de ferro (TFe) e teor de zinco (TZn);

As populações foram separadas em dois grupos (A e B), sendo o grupo A formado pelas populações com maiores médias para o teor de ferro (F₂C₁(P₁ x P₂), F₂C₃(P₁ x P₃), F₂C₄(P₃ x P₁), F₂RC₃(P₁ x P₃) e F₂RC₄(P₃ x P₁)) e o grupo B, as de menor média. O teor de zinco variou de 53,09 mg kg⁻¹ a 56,77 mg kg⁻¹, com média de 55 mg kg⁻¹ (Tabela 5). Essa média foi maior do que as encontradas por Rocha et al. (2008) e Carvalho (2011), avaliando outras populações.

Com relação ao teor de zinco, as populações foram divididas em dois grupos (A e B), sendo o grupo A compreendendo as populações com maiores médias (F₂C₁(P₁ x P₂), F₂C₃(P₁ x P₃), F₂C₄(P₃ x P₁), F₂RC₁(P₁ x P₂) e F₂RC₄(P₃ x P₁)) e o grupo B, com as menores. As médias do teor de ferro e zinco observadas nas populações F₂ foram, respectivamente, superior e inferior às médias para a melhor testemunha em teor de ferro (BRS Xiquexique) e zinco (IT97K-1042-3) encontradas por Rocha et al. (2008).

4.1.2 Experimento em condições de campo

Nessa geração, em que avaliou-se genótipos parentais e populações F₃, todos os genótipos parentais foram usados como testemunha, já que foram selecionados por apresentarem altos teores de ferro e/ou zinco nos grãos. Para o caráter culinário tempo de cocção, utilizou-se como testemunha a cultivar BRS Xiquexique.

4.1.2.1. Análise de variância

O efeito de tratamentos (genótipos parentais e populações segregantes) foi não significativo para todos os caracteres observados, exceto para teor de proteína ($P < 0,01$) (Tabela 6).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para os caracteres nutricionais e culinário¹ avaliados em 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

F.V	G. L.	Quadrado Médio			
		TP (%)	TFe (mg kg ⁻¹)	TZn (mg kg ⁻¹)	TC (min.)
Blocos	3	12,44	42,60	17,46	7,72
Tratamentos	10	10,31**	112,08 ^{ns}	13,10 ^{ns}	3,76 ^{ns}
Populações segregantes	7	0,88 ^{ns}	79,09 ^{ns}	9,77 ^{ns}	4,01 ^{ns}
Parentais	2	23,03**	145,66 ^{ns}	2,30 ^{ns}	-
Pop. seg VS Parental(s)	1	50,89**	270,15 ^{ns}	58,03*	1,54 ^{ns}
Resíduo	30	1,47	117,56	11,51	2,70
CV%		4,79	14,62	7,04	4,13

^{ns}Não significativo;

* e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F;

⁽¹⁾Teor de proteína (TP), teor de ferro (TFe) e teor de zinco (TZn),

A decomposição do efeito de tratamentos, em genótipos parentais e populações segregantes, mostrou que não houve diferenças significativas entre as populações segregantes para todos os caracteres (Tabela 6), evidenciando que as mesmas não apresentaram variabilidade genética significativa e as diferenças observadas para o efeito de tratamentos em relação ao caráter teor de proteína ($P < 0,01$) foi decorrente das diferenças entre os genótipos parentais. Esses resultados discordam daquele obtido por Andrade (2010), que avaliando linhagens de feijão-caupi para feijão-verde, obteve diferenças entre genótipos para esses caracteres. Diferenças significativas para o contraste parentais vs populações segregantes foram observadas para os teores de proteína e zinco, sendo que para os caracteres teor de ferro e tempo de cocção, as populações segregantes apresentaram comportamento semelhante aos parentais.

Com relação à precisão experimental dos caracteres nutricionais e culinário, em geral foi alta, com baixos coeficientes de variação (CV's) (menores que 50%) para TP (4,79%), TZn (7,04%) e TC (4,13%) (Tabela 6). O caráter TFe (14,61%) foi o mais afetado pelos fatores ambientais, relativamente aos demais caracteres nutricionais e culinário. Dentre os fatores ambientais que afetaram o teor de ferro

podemos destacar a composição química do solo (Anexo 1) e a grande incidência de viroses. Os valores de CV para os caracteres nutricionais e culinário obtidos nesse trabalho estão de acordo com os obtidos por Rocha et al. (2009) e Carvalho (2011), para os teores de ferro e zinco; Mashii (2006), para o tempo de cocção; e Ferreira Neto et al. (2006) e Carvalho (2011) para o teor de proteína.

4.1.2.2. Estimativas de médias e parâmetros genéticos

O teor de proteína variou de 23,59% (F₂RC₄) a 29,02% (IT-97K-1042-3), com média de 25,32% (Tabela 7). Essa média foi similar à obtida por Silva et al. (2002) e superior às médias encontradas por Castellón et al. (2003), Iqbal et al. (2006), Henshaw (2008), Rocha et al. (2008), Olalekan e Bosede (2010) e Carvalho (2011), que obtiveram médias, respectivamente, de 22,3%; 24,7%; 24,12%; 21,30%; 24,13%; e 25,2%. Os resultados mostram que maior sucesso no desenvolvimento de cultivares com maior teor de proteína poderá ser obtido por meio de seleção dentro da população F₃C₄ (25,13%).

Tabela 7 - Estimativas de médias e parâmetros genéticos dos caracteres nutricionais e culinário¹, obtidas a partir da avaliação de 11 populações F₃ de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Genótipos	TP (%)	TFe (mg kg ⁻¹)	TZn (mg kg ⁻¹)	TC (min.)
BRS Xiquexique	24,39	71,63	50,55	40,34
IT-98K-205-8	27,81	83,48	50,55	31,11
IT-97K-1042-3	29,02	79,55	49,23	37,72
MP ²	27,07	78,22	50,11	36,39
F ₃ C ₁	24,93	73,97	47,50	37,21
F ₃ C ₂	24,71	73,00	44,80	38,78
F ₃ C ₃	24,50	74,46	49,40	32,55
F ₃ C ₄	25,13	73,83	48,10	37,81
MF ₃ C ³	24,82	73,82	47,45	36,59
F ₃ RC ₁	24,89	69,00	47,70	36,35
F ₃ RC ₂	24,74	65,10	47,19	36,04
F ₃ RC ₃	24,79	71,48	46,08	39,13
F ₃ RC ₄	23,59	80,45	49,42	37,45
MF ₃ RC ⁴	24,50	71,51	47,60	37,24
Média geral	25,32	74,17	48,23	36,77
Variância genética	2,21	-1,37	0,39	5,80
Variância ambiental	1,47	117,55	11,52	7,03
Herdabilidade (%)	85,72	-	12,11	76,74

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, pertencem a uma mesma classe, de acordo com o teste de Scott-Knott (P<0,05); ⁽¹⁾ Teor de proteína (TP), teor de ferro (TFe), teor de zinco (TZn) e tempo de cocção (TC). ⁽²⁾ Média dos parentais; ⁽³⁾ Média de F₃ dos cruzamentos; ⁽⁴⁾ Média de F₃ dos retrocruzamentos.

As estimativas de médias do teor de ferro variaram de 65,10 mg kg⁻¹ (F₂RC₂) a 83,48 mg kg⁻¹ (IT-98K-205-8), com média de 74,17 mg kg⁻¹ (Tabela 7). Essa média é similar à obtida por Carvalho (2011); inferior às obtidas por Iqbal et al. (2006), Singh (2006) e Neves et al. (2008); e superior às médias encontradas Rocha et al. (2008 e 2009) e Olalekan e Bosede (2010).

As estimativas de médias do teor de zinco variaram de 44,80 mg kg⁻¹ (F₂C₂) a 50,55 mg kg⁻¹ (BRS Xiquexique e IT-98K-205-8), com média de 48,23 mg kg⁻¹ (Tabela 6). Essa média é inferior à obtida por Iqbal et al. (2006); similar à obtida por Singh (2006), Rocha et al. (2008) e Neves et al. (2008); e superior às médias encontradas por Asante et al. (2007), Olalekan e Bosede (2010) e Carvalho (2011). Conforme os resultados, a seleção dentro da população F₃RC₄ poderá levar a maior sucesso no desenvolvimento de cultivares com maior teor de ferro (80,45 mg kg⁻¹) e zinco (49,42).

O tempo de cocção (TC) variou de 31,11 minutos (IT-98K-205-8) a 40,34 minutos (BRS Xiquexique), com média de 36,77 min. (Tabela 7). O menor tempo de cozimento encontrado nesse trabalho é maior do que o encontrado por Mashii (2006) e Singh (2006), que estudando outras populações de feijão-caupi encontraram um tempo mínimo de cocção, respectivamente, de 27,9 e 27,5 minutos. Segundo os resultados, maior sucesso no desenvolvimento de cultivares com cozimento mais rápido poderá ser obtido por meio da seleção dentro da população F₃C₃ (32,55 min.).

O tempo de cocção é considerado um dos fatores mais importantes na adoção de uma cultivar de feijão, segundo Costa, Ramalho e Abreu (2001). Isso porque cultivares que apresentam um rápido cozimento proporcionam maior economia de tempo e menor consumo de gás de cozinha. Assim, a avaliação do tempo de cocção é primordial antes da recomendação de uma determinada cultivar.

As estimativas de variâncias genéticas e ambientais mostraram que a probabilidade de ganhos com seleção será maior para o teor de proteína, que apresentou estimativa de variância genética maior que a variância ambiental, logo, alta herdabilidade (Tabela 7). Contrariamente, os teores de ferro e zinco foram muito afetados pelo ambiente, apresentando baixo coeficiente de herdabilidade (menor que 0,5%) e, portanto, a seleção será pouco eficiente para esses caracteres. Entre os fatores ambientais que podem ter contribuído de forma marcante podemos citar a disponibilidade desse nutriente no solo (Anexo 1) e a alta incidência de viroses para

a maioria das populações. Segundo Rezende et al. (1996), quando os caracteres são muito influenciados pelo ambiente, a estimação de parâmetros pelo quadrado mínimo é pouco eficiente e pode gerar inclusive estimativas de variâncias negativas, como ocorreu para o teor de ferro.

As médias dos caracteres nutricionais e culinários das populações F_3 resultantes de cruzamentos foram similares às das populações F_3 resultantes de retrocruzamentos (Tabela 7).

4.1.2.3. Análise de trilha

4.1.2.3.1 Efeitos dos caracteres TP, TZn, TC, P100G e PG sobre o TFe

O coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,57 e o efeito residual de 0,65 (Tabela 8). Observa-se que R^2 foi inferior a unidade, demonstrando que as variações da variável básica não foram totalmente explicadas pelas cinco variáveis explicativas aferidas. Um fato que pode ter contribuído para a baixa magnitude de R^2 foi a representatividade das populações, uma vez que as médias foram obtidas em nível de parcela.

As estimativas dos coeficientes de correlações do TFe com os caracteres TP, TZn, TC, P100G e PG apresentaram de baixa a média magnitude (menor ou igual a 0,5), sendo a correlação entre o TFe com os caracteres TP, TZn e P100G positivas, e com o TC e PG, negativas (Tabela 8).

Os resultados indicam que a seleção para aumento do TFe pode trazer ganhos para o TP e TZn. A seleção para aumento do TFe pode levar a redução do tempo de cozimento, um aspecto desejável pelo consumidor, e aumento do tamanho do grão, um aspecto atualmente exigido pelo mercado. Resultados semelhantes de correlação entre o TZn e TFe foram obtidos por Rocha et al. (2009). Segundo esse autor, a obtenção de ganhos simultâneos para os teores de ferro e zinco é possível, no entanto, no processo de seleção para o aumento dos conteúdos desses micronutrientes, deve-se considerar o efeito da interação genótipo x ambiente.

A análise de solo da área experimental (Anexo 1), mostrou que o solo apresenta um alto teor de ferro. Esse aspecto pode ter contribuído para os altos teores de ferro nos grãos observados por alguns genótipos/populações. Segundo Waters e Sankaran (2011), além da habilidade do genótipo em extrair e translocar micronutrientes para os grãos, o teor neste também depende da quantidade disponível no solo.

Tabela 8 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas¹ sobre a variável básica teor de ferro (TFe), obtidos a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Variáveis	Efeitos		Correlação
	Direto	Indireto	
TP			
Efeito Direto sobre TFe	0,4825		
Efeito Indireto TZn		0,1092	
Efeito Indireto TC		-0,0952	
Efeito Indireto PG		0,0239	
Efeito Indireto P100G		-0,0013	
Total			0,5191
TZn			
Efeito Direto sobre TFe	0,3656		
Efeito Indireto TP		0,1441	
Efeito Indireto TC		0,0275	
Efeito Indireto PG		0,0015	
Efeito Indireto P100G		-0,0052	
Total			0,5334
TC			
Efeito Direto sobre TFe	0,1503		
Efeito Indireto TZn		0,0669	
Efeito Indireto TP		-0,3054	
Efeito Indireto PG		-0,0266	
Efeito Indireto P100G		-0,0001	
Total			-0,1149
P100G			
Efeito Direto sobre TFe	-0,0241		
Efeito Indireto Zn		0,0794	
Efeito Indireto TP		0,0269	
Efeito Indireto TC		0,0002	
Efeito Indireto PG		-0,0150	
Total			0,0674
PG			
Efeito Direto sobre TFe	-0,0369		
Efeito Indireto TZn		-0,0145	
Efeito Indireto TP		-0,3126	
Efeito Indireto TC		0,1084	
Efeito Indireto P100G		-0,0098	
Total			-0,2654
Coeficiente de determinação		0,5739	
Efeito da variável residual		0,6527	

⁽¹⁾ Teor de proteína (TP), teor de zinco (TZn), tempo de cocção (TC), produção de grãos (PG) e peso de 100 grãos (P100G).

O TP foi o caráter que apresentou maior efeito direto e positivo sobre o TFe (Tabela 8). Isso evidencia que ganhos podem ser obtidos para o TFe via seleção direta do TP. Observa-se que os efeitos indiretos sobre o TFe foram negativos, via TC e o P100G, contribuindo para reduzir a correlação entre TP e TFe. Assim, a seleção para o aumento do TFe via seleção do TC e do P100G não será eficiente.

O TZn, segundo caráter com maior influência sobre TFe (Tabela 8), pode ser utilizado na seleção visando ganhos para o TFe. Velu et al. (2008), estudando a correlação entre os teores de ferro e zinco nos grãos de milho, também

encontraram correlação positiva entre os caracteres. De acordo com esses autores, isso sugere que ambos os genes que controlam os caracteres estão ligados, ou que há inter-relação entre os mecanismos fisiológicos de absorção/translocação nos grãos desses nutrientes. A direção e a intensidade da correlação sugere uma boa possibilidade de melhoramento genético simultâneo para ambos os micronutrientes.

O aumento do TFe via seleção do P100G e da PG deve ser evitada, tendo em vista que tais caracteres exercem um efeito negativo sobre o TFe (Tabela 8) .

4.1.2.3.2. Efeitos dos caracteres TP, TFe, TC, P100G e PG sobre o TZn

O coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,48 e o efeito residual de 0,72 (Tabela 9). Observa-se que R^2 foi inferior a unidade, demonstrando que as variações da variável básica não foram totalmente explicadas pelas cinco variáveis explicativas aferidas. Um fato que pode ter contribuído para a baixa magnitude de R^2 foi a representatividade das populações, uma vez que as médias foram obtidas em nível de parcela.

As estimativas dos coeficientes de correlações entre o TZn com os caracteres TP, TFe, TC, P100G e PG apresentaram de baixa a média magnitude (menor ou igual a 0,5), sendo a correlação entre o TZn com TFe, TC e P100G positivas, e do TZn com TP e PG negativas (Tabela 9). Essas estimativas de correlação indicam que a seleção para aumento do TZn pode trazer ganhos para o TFe e P100G. Resultados semelhantes de correlação entre o TZn e TFe foram obtidos por Rocha et al. (2009). A correlação positiva entre o TZn e TC evidencia que será difícil a seleção simultânea nessas populações para aumentar o teor de zinco e reduzir o tempo de cozimento dos grãos.

Por outro lado, os resultados mostram que é possível realizar o melhoramento dos níveis de ferro e zinco nos grãos e paralelamente atender a demanda atual por cultivares com grãos maiores. Rocha et al. (2009), estudando a correlação entre os teores de ferro e zinco em feijão-caupi, concluíram que é possível a obtenção de ganhos simultâneos para os conteúdos de ambos, no entanto, os autores advertem que na seleção para o aumento dos conteúdos desses micronutrientes, deve-se considerar o efeito da interação genótipo x ambiente.

O resultado da análise de solo da área experimental (Anexo 1) mostra alto teor de zinco (acima de 0,5 mg kg⁻¹). Assim, o teor de zinco no solo pode ter influenciado sobremaneira os teores de zinco nos grãos dos genótipos/populações.

Segundo Waters e Sankaran (2011), o teor de micronutrientes nos grãos depende não somente da quantidade disponível desses micronutrientes no solo, mas também da habilidade do genótipo em extraí-los e translocá-los até os grãos.

Tabela 9 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas¹ sobre a variável básica teor de zinco (TZn) , obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Variável	Efeitos		Correlação
	Direto	Indireto	
TP			
Efeito Direto sobre TZn	0,2765		
Efeito Indireto via P100G		0,0193	
Efeito Indireto via PG		0,2675	
Efeito Indireto via TC		-0,4395	
Efeito Indireto via TFe		0,1748	
Total			-0,2986
TFe			
Efeito Direto sobre TZn	0,3367		
Efeito Indireto via P100G		0,0233	
Efeito Indireto via PG		0,1096	
Efeito Indireto via TC		-0,0798	
Efeito Indireto via TP		0,1436	
Total			0,5334
TC			
Efeito Direto sobre TZn	0,6942		
Efeito Indireto via P100G		0,0005	
Efeito Indireto via PG		-0,2979	
Efeito Indireto via TP		-0,1751	
Efeito Indireto via TFe		-0,0387	
Total			0,1830
P100G			
Efeito Direto sobre TZn	0,3463		
Efeito Indireto via PG		-0,1680	
Efeito Indireto via TC		0,0009	
Efeito Indireto via TP		0,0154	
Efeito Indireto via TFe		0,0227	
Total			0,2173
PG			
Efeito Direto sobre TZn	-0,4129		
Efeito Indireto via P100G		0,1409	
Efeito Indireto via TC		0,5008	
Efeito Indireto via TP		-0,1791	
Efeito Indireto via TF		-0,0894	
Total			-0,0397
Coeficiente de determinação		0,4809	
Efeito da variável residual		0,7205	

⁽¹⁾ Teor de proteína (TP), teor de ferro (TFe), tempo de cocção (TC), peso de 100 grãos (P100G) e produção de grãos (PG).

O TFe foi o terceiro caráter mais influente no TZn (Tabela 9), indicando que a seleção direta desse caráter pode trazer ganhos para o TZn. Observa-se que a maioria dos efeitos indiretos foi positiva e, portanto, estes contribuíram para

aumentar a correlação entre o TFe e o TZn. O caráter TC contribuiu negativamente para essa correlação, indicando que o aumento do TZn via seleção direta do TC não será eficiente. O aumento do TZn via seleção direta da PG também deve ser evitado, tendo em vista que a PG exerce um efeito direto negativo sobre o TZn.

O TC foi o caráter que apresentou maior efeito direto e positivo sobre o TZn (Tabela 9). Isso evidencia que ganhos podem ser obtidos para o TZn via seleção direta do TC. Observa-se que a maioria dos efeitos indiretos foi negativo e, portanto, contribuíram para diminuir a correlação entre o TC e TZn. Assim, a seleção para o aumento do TZn via seleção dos caracteres PG, TP ou TFe não será eficiente.

4.2. Caracteres agronômicos

Os caracteres agronômicos foram avaliados no experimento conduzido em condições de campo, nos genótipos parentais e populações F_2 . Na análise estatística, considerou-se como testemunha somente a cultivar BRS Xiquexique.

4.2.1. Análises de variância

O efeito de tratamentos (genótipos parentais e populações segregantes) foi significativo para todos os caracteres, exceto para o número de dias para o início da floração (Tabela 10).

A decomposição do efeito de tratamentos em genótipo parental (BRS Xiquexique), populações segregantes e o contraste populações segregantes vs testemunha mostrou que as populações segregantes diferiram entre si para todos os caracteres, exceto para o NDIF. Isso sugere que a seleção para o ciclo da planta pode ser pouco eficiente, relativamente aos demais caracteres agronômicos. Diferenças significativas foram observadas para o contraste populações segregantes vs testemunha, exceto para os caracteres NDIF, VC e ACAM, mostrando que, para esses caracteres, as populações segregantes apresentaram comportamento semelhante à cultivar BRS Xiquexique (Tabela 10).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância de nove caracteres agrônômicos² avaliados em 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

F. V.	G.L	Quadrado Médio								
		NDIF (dias)	PP ¹ (nota)	VC ¹ (nota)	ACAM ¹ (nota)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PG (g parcela ⁻¹)
Blocos	3	7,72	0,01	0,02	0,16	1,99	9,77	8,05	20,44	299539,28
Tratamentos	10	3,76 ^{ns}	0,23**	0,19**	0,09*	8,28**	13,80**	4,88**	42,31**	586805,39**
Populações Segregantes	7	4,01 ^{ns}	0,24**	0,18**	0,10*	8,02**	13,18**	4,67**	41,35**	582435,23**
Pop. Seg vs Testemunha	1	1,54 ^{ns}	0,10**	0,33 ^{ns}	0,03 ^{ns}	10,68**	19,40**	6,08*	51,00*	626136,92**
Resíduo	30	2,70	0,01	0,02	0,03	2,23	1,98	1,49	7,32	47261,79
CV%		4,13	5,11	8,81	10,51	8,67	10,74	7,41	3,49	22,50

^{ns} Não significativo;

* e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F;

⁽¹⁾ Dados transformados em $\sqrt{x + 0,5}$;

⁽²⁾ Número de dias para o início da floração (NDIF), porte da planta (PP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção de grãos (PG).

Com relação à precisão experimental, obtiveram-se baixos coeficientes de variação (CV's) para NDIF (4,13%), PP (5,11%), VC (8,81%), COMPV (8,67%), P100G (7,41%), IG (3,49%), sendo, portanto, a precisão experimental maior para esses caracteres (Tabela 10). Foram encontrados CV's intermediários para os caracteres ACAM (10,51%) e NGV (10,74%) Porém, o caráter PG apresentou estimativa do CV mais alta (22,50%), no entanto, com magnitude aceitável, sendo esse maior valor explicado, em parte, pela natureza quantitativa do caráter. Fatores como o controle poligênico do caráter e alta influência de fatores ambientais podem ter influenciado na precisão da PG.

4.2.2. Estimativas de médias e parâmetros genéticos

O caráter PP variou de 1,40 (IT-98K-205-8) a 2,12 (BRS Xiquexique, F_2C_3 , F_2C_4 , F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 e F_2RC_4) (Tabela 11). Sendo estabelecidos quatro grupos de médias (A, B, C e D). O grupo A contemplou a população parental IT-98K-205-8, de porte ereto; no grupo B foi alocada a população com porte semi-ereto, o parental (IT-97K-1042-3); o grupo C foi composto de populações com porte semi-prostrado, compreendendo duas populações resultantes de cruzamentos (F_2C_1 e F_2C_2); e o grupo D contemplou populações com porte prostrado, compreendendo a cultivar BRS Xiquexique, duas populações resultantes de cruzamentos (F_2C_3 e F_2C_4) e as quatro populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 e F_2RC_4);

O VC variou de 1,22 (IT-98K-205-8) a 1,93 (F_2RC_2) (Tabela 11). O teste de agrupamentos estabeleceu três grupos de genótipos (A, B e C), sendo o grupo A formado pelos genótipos com boa parte das características apropriadas ao cultivo, compreendendo o parental BRS Xiquexique e a população resultante de retrocruzamento (F_2RC_2); o grupo B incluiu populações com poucas características apropriadas ao cultivo, compreendendo duas populações resultantes de cruzamento (F_2C_1 e F_2C_2) e três populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_3 e F_2RC_4); e o grupo C contemplou plantas sem características apropriadas ao cultivo, incluindo dois parentais (IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3) e duas populações resultantes de cruzamentos (F_2C_3 e F_2C_4).

Tabela 11 - Estimativas de médias para os caracteres agrônômicos², obtidos a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Populações	Médias								
	NDIF	PP ¹	VC ¹	ACAM ¹	COMPV	NGV	P100G	IG	PG
	(dias)	(nota)	(nota)	(nota)	(cm)	(unid.)	(g)	(%)	(g/área útil da parcela m ²)
BRS Xiquexique	39,25	2,12d	1,87a	1,80b	18,83a	15,20 ^a	17,75a	80,94a	1.343,30a
IT-98K-205-8	39,75	1,40a	1,22c	1,45 ^a	14,87b	09,70c	16,80a	73,60b	191,62d
IT-97K-1042-3	41,50	1,65b	1,31c	1,49 ^a	15,07b	10,60c	13,63b	70,38b	616,22c
MP ³	40,17	1,72c	1,47c	1,58 ^a	16,26b	11,83b	16,06a	74,97b	717,05c
F ₂ C ₁	39,75	1,93c	1,65b	1,71b	17,83a	13,80 ^a	16,43a	76,17a	990,47b
F ₂ C ₂	38,00	1,93c	1,73b	1,58 ^a	16,85a	12,30b	15,87a	78,77a	1.350,67a
F ₂ C ₃	40,75	2,12d	1,40c	1,80b	16,33b	11,85b	16,40a	77,23a	625,92c
F ₂ C ₄	38,75	2,06d	1,49c	1,85b	17,53a	12,70b	16,30a	77,38a	967,95b
MF ₂ C ⁴	39,50	2,08d	1,56b	1,73b	17,13a	12,66b	16,25a	77,38a	983,75b
F ₂ RC ₁	40,50	2,12d	1,65b	1,73b	19,63a	15,50a	16,70a	79,11a	946,40b
F ₂ RC ₂	40,25	2,12d	1,93a	1,80b	19,85a	13,70a	17,55a	78,60a	1.522,00a
F ₂ RC ₃	40,25	2,12d	1,73b	1,87b	17,87a	14,20a	17,20a	79,03a	1.133,77b
F ₂ RC ₄	39,25	2,12d	1,58b	1,87b	17,27a	14,55a	16,95a	81,77a	938,40b
MF ₂ RC ⁵	40,06	2,12d	1,72b	1,81b	18,65a	14,48a	16,98a	79,62a	1.135,14b
Média geral	39,84	1,97	1,60	1,72	17,27	13,10	16,51	77,54	966,10

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, pertencem a uma mesma classe, de acordo com o teste de Scott-Knott (P<0,05);

⁽¹⁾ Dados transformados em $\sqrt{x + 0,5}$;

⁽²⁾ Número de dias para o início da floração (NDIF), porte da planta (PP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção de grãos (PG).

⁽³⁾ Média dos parentais; ⁽⁴⁾ Média de F₂ dos cruzamentos; ⁽⁵⁾ Média de F₂ dos retrocruzamentos.

O ACAM variou de 1,45 (IT-98K-205-8) a 1,80 (BRS Xiquexique, F_2C_3 e F_2RC_2) (Tabela 11). Foram estabelecidos apenas dois grupos (A e B). O grupo A com populações, que apresentam entre 1 a 5% de plantas acamadas, contemplou dois parentais (IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3) e a população resultante de cruzamento (F_2C_2); e o grupo B contemplou as populações que apresentaram de 6 a 10% de plantas acamadas, compreendendo a testemunha (BRS Xiquexique), três populações resultantes de cruzamentos (F_2C_1 , F_2C_3 e F_2C_4) e as quatro populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 e F_2RC_4);. O acamamento é atualmente um caráter importante, tendo em vista a expansão do cultivo do feijão-caupi mecanizado, sendo que as populações segregantes mostraram maior possibilidade de ganhos com a seleção para baixo acamamento em gerações mais avançadas de endogamia.

O COMPV variou de 14,87 cm (IT-98K-205-8) a 19,85 cm (F_2RC_2) (Tabela 11), sendo estabelecidos dois grupos de genótipos (A e B). No grupo A foram reunidos genótipos com maior comprimento de vagem, compreendendo a testemunha BRS Xiquexique, três populações resultantes de cruzamentos (F_2C_1 , F_2C_2 e F_2C_4) e todas as populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 , F_2RC_4); e o grupo B, que compreendeu populações com menor comprimento de vagem, incluiu-se os parentais, IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3, e a população resultante de cruzamento F_2C_3 . As populações segregantes do grupo A apresentam grande potencial para a seleção de genótipos com maior comprimento de vagem, característica muito apreciada pelos agricultores familiares.

As estimativas de médias do NGV variaram de 9,7 grãos (IT-98K-205-8) a 15,50 grãos (F_2RC_1) (Tabela 11). O teste de agrupamento de médias estabeleceu três grupos (A, B e C), sendo que o grupo A incluiu populações com maior número de grãos por vagem, compreendendo a testemunha BRS Xiquexique, a população resultante de cruzamento (F_2C_1) e todas as populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 e F_2RC_4); o grupo B, englobou populações com valores intermediários para esse caráter, compreendendo as demais populações resultantes de cruzamentos (F_2C_2 , F_2C_3 e F_2RC_4); já o grupo C foi composto de populações com menor número de grãos por vagem, compreendendo os demais parentais (IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3). As populações do grupo A apresentam maior potencial para obtenção de genótipos superiores para um maior

número de grãos por vagem, um dos componentes que influencia a produtividade de grãos.

O P100G variou de 13,63g (IT-97K-1042-3) a 17,75g (BRS Xiquexique) (Tabela 11). Foram estabelecidos dois grupos (A e B), sendo o grupo A formado por populações de maior valor para peso de 100 grãos, compreendendo os parentais BRS Xiquexique e IT-98K-205-8, as populações resultantes de cruzamentos (F_2C_1 , F_2C_2 , F_2C_3 e F_2C_4) e as populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 e F_2RC_4); já o grupo B, compreendeu a população com menor peso de 100 grãos, o parental IT-97K-1042-3. Esses resultados indicam que há grandes possibilidades de ganhos com a seleção em gerações mais avançadas para obtenção de genótipos com o P100G acima de 15 g.

O IG apresentou estimativas de médias variando de 70,38% (IT-97K-1042-3) a 81,77% (F_2RC_4) (Tabela 11), com a formação de dois grupos (A e B). O grupo A compreendeu indivíduos com maior valor para o índice de grãos e contemplou o parental BRS Xiquexique, as populações resultantes de cruzamentos (F_2C_1 , F_2C_2 , F_2C_3 , F_2C_4) e as populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_2 , F_2RC_3 , F_2RC_4); já o grupo B contemplou apenas dois parentais (IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3). As estimativas de médias observadas para o grupo A sugerem a possibilidade de seleção de linhagens superiores para o IG, com valores acima de 70%, considerado bom em feijão-caupi, segundo Andrade (2010).

O PG apresentou estimativas de médias variando de 191,62 g/m² (IT-98K-205-8) a 1522,00 g/m² (F_2RC_2) (Tabela 11), sendo estabelecidos quatro grupos (A, B, C e D) pelo método de agrupamentos de médias. O grupo A, formado pelas populações com maior produção de grãos, compreendeu o parental (BRS Xiquexique), a população resultante de cruzamento (F_2C_2) e a população resultante dos retrocruzamentos (F_2RC_2); o grupo B foi composto por duas populações resultantes de cruzamentos (F_2C_1 e F_2C_4) e três populações resultantes de retrocruzamentos (F_2RC_1 , F_2RC_3 e F_2RC_4); o grupo C foi formado por um parental (IT-97K-1042-3) e a população resultante de cruzamento (F_2C_3); já o grupo D incluiu apenas a população de menor produção de grãos, o parental IT-98K-205-8. Esse genótipo produziu pouco, provavelmente devido a sua origem nigeriana e baixa adaptabilidade às condições brasileiras, contrariamente ao parental brasileiro BRS Xiquexique, que apresenta alta adaptabilidade, conforme Rocha et al. (2008).

Em geral, a produtividade dos grãos foi considerada baixa para a maioria dos genótipos (Tabela 11). Um dos principais fatores que contribuiu para isso foi a alta incidência de viroses e a suscetibilidade dos genótipos, principalmente aos vírus do mosaico dourado e do mosaico severo. No entanto, vale destacar que as populações F_2C_2 e F_2RC_2 obtiveram médias para produtividade de grãos superiores a média da testemunha BRS Xiquexique. As demais populações obtiveram produtividades inferiores à média da testemunha, principalmente as linhagens IT-98K-205-8 e IT-97K-1042-3, que apresentaram as menores médias para a produtividade e maior suscetibilidade a viroses. Isso pode ser explicado pelo fato dessas linhagens serem africanas, não sendo, portanto, adaptadas aos patógenos brasileiros, principalmente as viroses.

Com relação às médias entre populações segregantes e genótipos parentais, pelo menos uma das populações segregantes foi superior à média dos genótipos parentais para todos os caracteres, exceto o NDIF e o P100G. Como se busca material mais precoce, entre os parentais a BRS Xiquexique apresentou maior precocidade (39,25 dias) entretanto a população F_2C_2 apresentou valor abaixo deste (38 dias) As médias dos caracteres agrônômicos das populações F_2 resultantes de cruzamentos foram similares às das populações F_2 resultantes de retrocruzamentos, exceto para o NGV, onde as populações F_2 resultantes de retrocruzamentos foram superiores.

A maioria dos coeficientes de variação genético (CV_g) foi superior a 5%, destacando-se os caracteres PG (39,40%), NGV (12,98%), VC (12,89%) e PP (12,30%). A magnitude dessas estimativas indica maior variabilidade genética para os referidos caracteres, possibilitando a realização de seleção. Bezerra et al. (2001), Lopes et al. (2001), Bertini, Teófilo e Dias (2009), Mano et al. (2009) e Matos Filho et al. (2009), também encontram as maiores estimativas de CV_g para PG, relativamente aos demais caracteres, ao avaliarem outros grupos de genótipos de feijão-caupi. Baixa estimativa para o NDIF sugere baixa variabilidade desse caráter no grupo de populações avaliadas, sendo baixa a probabilidade de ganho por meio de seleção na geração F_3 . Matos Filho et al. (2009) também obtiveram baixa estimativa para o CV_g (2,28), avaliando populações F_3 resultantes de outros cruzamentos em feijão-caupi (Tabelas 12).

Tabela 12 - Estimativas do coeficiente de variação genética (CV_g) e herdabilidade (h^2) relativos aos caracteres agronômicos², obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Caráter	$CV_g(\%)$	$h^2 (\%)$
NDIF	1,43	32,61
PP ¹	12,30	95,80
VC ¹	12,89	89,22
ACAM ¹	7,41	66,36
COMPV	7,02	72,07
NGV	12,98	84,98
P100G	5,43	67,89
IG	3,78	82,30
PG	39,40	91,88

⁽¹⁾ Dados transformados para $\sqrt{x + 0,5}$;

⁽²⁾ Número de dias para o início da floração (NDIF), porte da planta (PP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM) comprimento de vagens (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (P100G), índice de grãos (IG), e produção de grãos (PG).

O coeficiente de herdabilidade no sentido amplo (h^2) variou muito de um caráter para o outro (Tabela 12), mas foi relativamente alto para PP (95,80%), PG (91,88%), VC (89,22%), NGV (84,98%), IG (82,30%), COMPV (72,07%) e P100G (67,89%), indicando que esses caracteres apresentam elevado componente genético em suas expressões fenotípicas. Essas estimativas foram semelhantes às obtidas por Salimath et al. (2007) para PG, NGV e COMPV; inferiores àquelas obtidas por Bertini et al. (2009) para os caracteres P100G e COMPV, e superiores às obtidas por Matos Filho et al. (2009) para os caracteres NGV (56,98%) P100G (49,86%) e PG (63,82%).

Observou-se baixa estimativa de h^2 para o caráter NDIF (32,61%) (Tabela 12), indicando baixa expressão do componente genético, concordando com os resultados de Matos Filho et al. (2009), que também obtiveram baixa estimativa para NDIF (25,29%), e discordando dos resultados obtidos por Lopes et al. (2001), Rocha et al. (2003), Machado et al. (2008), Bertini et al. (2009) e Lima et al. (2009), que encontraram estimativas, de 62,25%, 75,70%, 85,23%, 74,35% e 95%, respectivamente.

A análise de trilha envolvendo o desdobramento das correlações fenotípicas em efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (NDIF, COMPV, NGV, P100G e IG) sobre a variável básica (PG) é apresentada na Tabela 13.

O coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,57 e o efeito residual de 0,62. Observa-se que R^2 foi inferior a unidade, demonstrando que as variações da

variável básica não foram totalmente explicadas pelas cinco variáveis explicativas aferidas. Um fato que pode ter contribuído para a baixa magnitude de R^2 foi a representatividade das populações, uma vez que as médias foram obtidas em nível de parcela.

Tabela 13 - Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (componentes de produção)¹ sobre a variável básica (produção de grãos), obtidas a partir da avaliação de 11 populações de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

Variável	Efeitos		Correlação
	Direto	Indireto	
NDIF			
Efeito Direto sobre PG	-0,3339		
Efeito Indireto via COMPV		-0,0304	
Efeito Indireto via NGV		-0,0613	
Efeito Indireto via IG		0,0015	
Efeito Indireto via P100G		0,0432	
Total			-0,381
COMPV			
Efeito Direto sobre PG	0,1882		
Efeito Indireto via NDIF		0,0539	
Efeito Indireto via NGV		0,5185	
Efeito Indireto via IG		-0,0021	
Efeito Indireto via P100G		-0,0763	
Total			0,6822
NGV			
Efeito Direto sobre PG	0,5458		
Efeito Indireto via NDIF		0,0375	
Efeito Indireto via COMPV		0,1788	
Efeito Indireto via IG		-0,0023	
Efeito Indireto via P100G		-0,0761	
Total			0,6837
P100G			
Efeito Direto sobre PG	-0,1304		
Efeito Indireto via NDIF		0,1106	
Efeito Indireto via COMPV		0,1102	
Efeito Indireto via NGV		0,3186	
Efeito Indireto via IG		-0,0021	
Total			0,4069
IG			
Efeito Direto sobre PG	-0,0028		
Efeito Indireto via NDIF		0,1677	
Efeito Indireto via COMPV		0,1396	
Efeito Indireto via NGV		0,4446	
Efeito Indireto via P100G		-0,9961	
Total			0,6496
Coeficiente de determinação		0,5739	
Efeito da variável residual		0,6527	

⁽¹⁾Número de dias para o início da floração (NDIF), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G) e índice de grãos (IG).

Resultado semelhante foi reportado por Caierão et al. (2001), na cultura da aveia ($R^2 = 0,59$), onde também estudou os efeitos dos componentes primários sobre a produção de grãos. Assim, o modelo explicativo adotado foi medianamente satisfatório para a compreensão da relação causa-efeito na variável básica. Segundo Bárbaro (2006), isso se deve a existência de multicolinearidade entre algumas variáveis. Normalmente, a exclusão de uma variável do modelo pode minimizar a existência de multicolinearidade; no entanto, segundo este autor, a exclusão de variáveis não necessariamente será alternativa viável para minimização dos efeitos adversos da multicolinearidade.

A presença de grande componente residual provavelmente se deva à ocorrência de viroses, causando distorções nas estimativas de média, variância, covariância e coeficiente de regressão. Segundo Ramalho, Santos e Zimmermann (1993), quando se obtêm uma estimativa, um fato muito importante para se promover inferência é o seu erro, que está diretamente relacionado com o controle local do experimento, por isso essas comparações devem ser efetuadas com cautela.

Os caracteres NGV, COMPV, IG e P100G apresentaram correlações positiva com a PG (Tabela 13). Isso indica que a seleção indireta via NGV, COMPV, IG e P100G podem trazer ganhos genéticos para PG. Esses resultados concordam com os obtidos por Lopes et al. (2001), Rocha et al. (2003) e Matos Filho et al. (2009), para a correlação entre PG e P100G; avaliando outros grupos de genótipos de feijão-caupi. No entanto, a estimativa de correlação entre PG e NGV é discordante dos resultados obtidos por Matos Filho et al. (2009), que obtiveram essa correlação negativa (-0,39).

O NDIF apresentou efeito direto e negativo sobre a PG (-0,3339), que juntamente com os efeitos indiretos positivos dos caracteres IG (0,0014) e P100G (0,0432), acrescentados pelos efeitos indiretos negativos via COMPV (-0,0304) e NGV (-0,0613), resultaram em estimativa negativa do coeficiente de correlação ($r = -0,381$) (Tabela 13). Esse resultado concorda com o obtido por Andrade (2010), que também obteve estimativa de coeficiente de correlação negativa entre o NDIF e a PG em feijão-verde, e discordam dos resultados de Bezerra et al. (2001), que encontraram efeito direto positivo do NDIF sobre a PG, porém, estes apresentaram a correlação genética positiva.

O NGV foi o caráter que apresentou maior efeito direto e positivo sobre a PG, seguido do COMPV (Tabela 13). Resultados similares foram obtidos por Nakawuka e Adipala (1999), Souza (2005), Udom et al. (2006), Mohamed e Miko (2007), Dias (2009) e Andrade (2010), que também encontraram efeito direto positivo do NGV sobre PG. Este resultado indica que há influência marcante dos caracteres NGV e COMPV na PG e que seria possível acrescentar progresso genético à seleção da PG, por meio da seleção dos componentes NGV e COMPV. A seleção indireta, segundo Cruz e Carneiro (2006) pode levar a ganhos genéticos mais rápidos do que a seleção direta do caráter desejado. Contrariamente aos resultados observados neste trabalho, Baghizadeh, Talei e Ghasemi (2010) encontraram que os caracteres número de vagens por planta e o P100G exerceram maior influência sobre a PG.

O caráter P100G apresentou efeito direto e negativo sobre a PG (-0,1304), que juntamente com o efeito indireto negativo via IG (- 0,0021) contrabalançado pelos efeitos indiretos positivos dos caracteres NDIF (0,1106), COMPV (0,1102) e NGV (0,3186), resultaram em estimativa positiva do coeficiente de correlação ($r = 0,4069$) (Tabela 13). Esses resultados discordam daqueles obtidos por Bezerra et al. (2001) e Andrade (2010), que encontraram efeitos diretos positivos do P100G sobre a PG, respectivamente com correlações altas e baixas.

O IG exerceu influência direta negativa sobre a PG (-0,0028) (Tabela 13). Esse efeito direto negativo, juntamente com o efeito indireto negativo por P100G (-0,9961), contrabalançados pelos efeitos indiretos positivos dos caracteres NDIF (0,1677), COMPV (0,1396) e NGV (0,4446), resultaram em estimativa positiva do coeficiente de correlação ($r = 0,649$). Esse resultado concorda com o obtido por Andrade (2010), que também encontrou correlações genéticas positivas entre IG e PG em feijão-verde.

Com base nos resultados da análise de trilha dos efeitos diretos e indiretos dos componentes de produção sobre a PG, pode-se inferir que o aumento desse caráter via seleção direta dos caracteres IG e P100G não é indicada.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Comparando as médias dos caracteres teor de ferro, teor de zinco e teor de proteína entre as gerações F_2 (Tabela 4) e F_3 (Tabela 6), observou-se que as médias dessa última geração foram maiores em valores absolutos. Segundo Ribeiro (2010) isso ocorre porque, para esses caracteres ocorre efeito materno, sendo que a expressão do genótipo das sementes da geração F_1 somente será observada em sementes F_2 , onde os cotilédones se comportarão como se estivessem em F_1 e a seleção não é recomendada, pois será totalmente ineficaz. Esse autor afirma que a seleção para os caracteres citados deverá ser postergada para sementes F_3 (onde os cotilédones se comportarão como se estivessem em F_2), quando a segregação máxima será constatada.

A variabilidade entre populações segregantes para os caracteres nutricionais na geração F_2 foi alta e na geração F_3 foi baixa. Mesmo considerando que a geração F_3 é considerada a geração de segregação, a ausência de diferenças entre populações segregantes para esses caracteres, nessa geração, pode ter ocorrido devido a uma baixa representatividade das populações por amostragem. Isso porque na geração F_3 , os dados foram analisados com base em uma amostra de sementes de plantas da parcela, ou seja, em nível de média de parcela. Na geração F_2 , acredita-se que cada população foi mais bem representada por que foi com base em uma amostra de uma planta, ou seja, o genótipo teve 100% de representatividade. Outro aspecto que pode ter contribuído para uma baixa variabilidade das populações F_3 foi uma influência marcante do ambiente, causada principalmente pela alta incidência de viroses no experimento de campo.

Em relação às médias dos caracteres agrônômicos, em geral, as populações segregantes foram superiores aos genótipos parentais, exceto para o peso de 100 grãos e número de dias para o início da floração, que não apresentaram diferenças significativas entre as médias, comparando-se as populações F_2 , observa-se que as populações resultantes de cruzamentos e retrocruzamentos apresentaram comportamentos médios similares. Isso sugere que recorrência para o parental adaptado BRS Xiquexique não trouxe ganhos adicionais para esses caracteres, exceto para o NGV. Por outro lado, para os caracteres nutricionais e culinário, as médias dos genótipos parentais foram similares às médias das populações F_3 e,

igualmente aos caracteres agronômicos, a recorrência para a cultivar BRS Xiquexique não levou a ganhos adicionais para esses caracteres.

Para se conseguir impacto positivo na adoção de cultivares de feijão-caupi biofortificadas para micronutrientes, estes devem estar presentes em cultivares com alta produtividade e com características que atendam às preferências dos agricultores e dos consumidores, tais como cor, tamanho do grão e tempo de cozimento dos grãos. Nesse sentido, as populações segregantes F_2C_2 , F_2RC_2 , F_3C_3 e F_3RC_4 apresentam maior potencial para a seleção de linhagens elites produtivas e biofortificadas em gerações mais avançadas de endogamia.

6 CONCLUSÕES

1. Os teores de ferro, zinco e proteína apresentam efeito materno nas populações estudadas.
2. A seleção fenotípica será mais eficiente para os caracteres teor de proteína, porte da planta, valor de cultivo, número de grãos por vagem e produção de grãos.
3. A seleção indireta por meio dos caracteres número de grãos por vagem e comprimento de vagem proporciona ganhos para a produção de grãos; dentre estes, o número de grãos por vagem é o que mais influencia a produção de grãos.
4. É possível a obtenção de ganhos simultâneos via seleção para os teores de proteína, ferro e zinco, rapidez de cozimento e tamanho do grão nas populações segregantes avaliadas. Contudo, a seleção para aumento dos teores de ferro e zinco pode levar a decréscimos na produção de grãos.
5. As populações segregantes F_2C_2 e F_2RC_2 , apresentam potencial para seleção visando aumentos na produção de grãos; F_3C_3 , para redução do tempo de cozimento dos grãos; e F_3RC_4 , para seleção visando a biofortificação dos teores de ferro e zinco nos grãos.

REFERÊNCIAS

- AIDOO, H.; SAKYI-DAWSON, E.; TANO-DEBRAH, K.; KWESI SAALIA, F. Development and characterization of dehydrated peanut-cowpea milk powder for use as a dairy milk substitute in chocolate manufacture. **Food Research International**, Ottawa, Canadá, v. 43, n. 1, p. 79-85, 2010.
- ALENCAR, G. Estratégias ajudam a popularizar o feijão-caupi Xiquexique. **Agrosoft Brasil**, 29 maio 2009. 2 p. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/210488.htm>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- ANDRADE, E. C. B.; BARROS, A. M.; MAGALHÃES, A. C. P.; CASTRO, L. L. C.; TAKASEI, I. Comparação dos teores de cobre e zinco em leguminosas cruas e após serem processadas termicamente em meio salino e aquoso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 316-318, 2004.
- ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédones verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.
- AOAC. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- APTE, U. B.; CHAVAN, S. A.; JADHAV, B. B. Correlations studies in cowpea. **Agricultural Science Digest**, Lafayette, v. 11, n. 2, p. 59-62, 1991.
- ASANTE, I. K.; ADU-DAPAAH, H.; ACHEAMPONG, A. O. Determination of some mineral components of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) using instrumental neutron activation analysis. **West African Journal of Applied Ecology**, Accra, Ghana, v. 11, Jan./Jun. 2007. Disponível em: http://www.wajae.org/papers/paper_vol11/Determination%20of%20Some%20Mineral%20Components%20of%20Cowpea.pdf. Acesso em: 10 jan. 2011.
- BAGHIZADEH, A.; TALEEI, A.; GHASEMI, E. Evaluation of genetic variability for yield and some of quantitative traits in Iran cowpea collection. **Agriculture and Biology Journal of North America**, Milford, v. 1, n. 4, p. 625-629, 2010.
- BÁRBARO, I. M. **Análises genéticas em populações de soja com precocidade e resistência ao cancro da haste**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal.
- BEZERRA, A. A. de C.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J. da; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Inter-relação entre caracteres de caupi de porte ereto e crescimento determinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 137-142, 2001.

BERTINI, C. H. C. M.; TEÓFILO, E. M.; DIAS, F. T. C. Divergência genética entre acessos de feijão-caupi do banco de germoplasma da UFC. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 99-105, 2009.

BIOFORTIFICAÇÃO no Estado de Sergipe. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 1 folder.

BIOFORTIFICAÇÃO no Estado do Maranhão. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 1 folder.

BOUKAR, O.; MASSAWE, F.; MURANAKA, S.; FRANCO, J.; MAZIYA-DIXON, B. Evaluation of cowpea germplasm lines for minerals and protein content in grains. In: WORLD COWPEA CONFERENCE, 5., 2010, Saly. **Abstracts...** Ibadan: IITA, 2010. p. 18.

BRS Tumucumaque: cultivar de feijão-caupi com ampla adaptação e rica em ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 1 folder.

BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 1 folder.

CAIERÃO, E.; DE CARVALHO, F. I. F.; PACHECO, M. T.; LONRECETTI, C.; MARCHIORO, V. S.; SILVA, J. G. Seleção indireta em aveia para o incremento no rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 231-236, 2001.

CARBONARO, M.; GRANT, G.; CAPPELLONI, M.; PUSZTA, A. Perspectives into factors limiting in vivo digestion of legume proteins: antinutritional compounds or storage proteins? **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 3, p. 742-749, 2000.

CARVALHO, J. L. V. de. Biofortificação: agricultura e saúde no combate à deficiência nutricional. **Agrosoft Brasil**, 26 dez. 2009. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/212697.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2010.

CARVALHO, L. C. B. **Potencial de cruzamentos dialélicos visando a obtenção de populações biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

CARVALHO, O. M. S.; CAPRILES, V. D.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Desenvolvimento e aceitabilidade sensorial de pão de forma enriquecido com farinha de feijão-caupi integral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GASTRONOMIA, 3., SIMPÓSIO REGIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2010, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: SBCT, 2010. 1 CD-ROM.

CASTELLÓN, R. E. R.; ARAÚJO, F. M. M. C.; RAMOS, M. V.; NETO, M. A.; FILHO, F. R.; GRANGEIRO, T. B.; CAVADA, B. S. Composição elementar e caracterização da fração lipídica de seis cultivares de caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 149-153, 2003.

COSTA, G. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. de B. Variabilidade para absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 1017-1021, 2001.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: estatística experimental e matrizes. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 285 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 390 p.

DIAS, F. T. C. **Utilização de técnicas multivariadas e moleculares na caracterização e seleção de genótipos de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce**. 2009. 997 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

EMBRAPA. Imprensa. Notícias. 2008. Setembro. 4ª semana. **BRS Xiquexique**: primeira cultivar de feijão-caupi biofortificada (23/09/2008). Disponível em: <<http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2008/setembro/4a-semana/brs-xiquexique-primeira-cultivar-de-feijao-caupi-biofortificada>>. Acesso em: 9 mar. 2011.

EMBRAPA MEIO-NORTE. Intranet. Estação Meteorológica. **Pesquisa de Dados Meteorológicos**. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/intranet/agromet/estacao/acessoestacoes/mapaestacoes.html>. Acesso em: 31 mar. 2011.

EMEBIRI, L. C. Inheritance of protein content in seeds of selected crosses of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 54, n. 1, p. 1-7, 1991.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. Harlow: Longman, 1996. 480 p.

FAO. 2009. FAOSTAT. **Crops. Cow peas, dry**. Disponível em: <http://www.faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em 10 de dezembro de 2009.

FERREIRA NETO, J. R. C.; ROCHA, M.de M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, S. M. S.; LOPES, A. C.; FRANCO, L. J. D. Composição química dos grãos secos em genótipos de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2006, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.

FREIRE FILHO, F. R. Melhoramento genético do feijão-caupi para a região semi-árida do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 5., 2009, Guarapari. **Anais...** Viçosa, MG: SBMP, 2009. 1 CD-ROM.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O Caupi no Brasil**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP; Ibadan: IITA, 1988. p. 25-46.

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

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; LOPES, A. C. de A. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte enramador. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 49, n. 284, p. 383-393, 2002.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; SITTOLIN, I. M.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. de; ALCÂNTARA, J. dos P.; FERNANDES, J. B.; GONÇALVES, J. R. P.; VILARINHO, A. A.; CRAVO, M. da S.; CAVALCANTE, E. da S.; NUTTI, M. R. **BRS Xiquexique**: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 4 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 209).

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q.; NOGUEIRA, M. S. R. Feijão-caupi: melhoramento genético, resultados e perspectivas. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. p. 25-59.

FROTA, K. de M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G. da; ARAÚJO, M. A. da M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. dos R. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), na elaboração de produtos da panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, supl. 1, p. 44-50, maio 2010.

FROTA, K. de M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 471-477, abr./jun. 2008.

FURTADO, M. R.; CRUZ, C. D.; CARDOSO, A. A.; COELHO, A. D. F.; PETERNELLI, L. A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 217-220, 2002.

GRANGEIRO, T. B. Composição bioquímica da semente. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 338-365.

GRIFFITHS, A. J. F.; GELBART, W. M.; MILLER, J. H.; LEWONTIN, R. C. **Genética Moderna**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 589 p.

HAMID, F.; SALEEM, M.; SHAH, K. B. A.; NAVEED, A.; IKRAM, M. Correlation and path coefficient analysis in cowpeas (*Vigna unguiculata*). **Journal of Animal and Plant Sciences**, Nairobi, v. 6, n. 3-4, p. 109-110, 1996.

HENSHAW, F. O. Varietal differences in physical characteristics and proximation composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). **World Journal of Agricultural Sciences**, Deira, Dubai, v. 4, n. 3, p. 302-306, 2008.

HERKEN, E. N.; IBANOGLU, S.; ONER, M. D.; BILGICLI, N.; GUZEL, S. Effect of storage on the phytic acid content, total antioxidant capacity and organoleptic properties of macaroni enriched with cowpea flour. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 366-372, 2007.

HONFO, F. G.; HELL, K.; AKISSOE, N.; DOSSA, R.; HOUNHOUIGAN, J. D. Diversity and nutritional value of foods consumed by children in two agro-ecological zones of Benin. **African Journal of Food Science**, Nairobi, v. 4, n. 4, p. 184-191, Apr. 2010.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

IQBAL, A.; KHALIL, I. A.; ATEEQ, N.; KHAN, M. S. Nutritional quality of important food legumes. **Food Chemistry**, Barking, v. 97, n. 2, p. 331-335, 2006.

JOST, E.; RIBEIRO, N. D.; CERUTTI, T.; POERSCH, N. L.; MAZIERO, S. M. Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 35-42, 2009.

KING, J. C. Evaluating the impact of plant biofortification on human nutrition. **The Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 132, n. 3, p. 511-513, 2002.

KUMARI, R. U.; USHARANI, K. S.; SUGUNA, R.; ANANDAKUMAR, C. R. Relationship between the yield contributing characters in cowpea for grain purpose [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Electronic Journal of Plant Breeding**, Tamil Nadu, v. 1, n. 4, p. 882-884, 2010.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F. de; ASSMANN, I. C.; MARCHIORO, V. S.; CRUZ, P. J. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7. n. 1, p. 29-32, jan./abr. 2001.

KURER, S. **Genetic variability studies in F2 and F3 generations of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2007, 54 f. Thesis (Master of Science in Agriculture) – University of Agricultural Sciences, Dharwad.

LESLY, W. D. **Characterization and evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] walp) germplasm**. 2005, 120 f. Thesis (Genetics and Plant Breeding) – University of Agricultural Sciences, Dhawad.

LIMA, E. D. P. de A.; JERÔNIMO, E. de S.; LIMA, C. A. de A.; GONDIM, P. J. de S.; ALDRIGUE, M. L.; CAVALCANTE, L. F. Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão caupi para processamento tipo conserva.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.

LIMA, N. L.; EMANUELLE, C.; SILVA, C. L. da; DINIZ, M. do C.; OLIVEIRA, M. R. T. de; GADELHA, M. C. Estudo sobre a conservação de quatro variedades de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. WALP.): submetidos a temperaturas de refrigeração e congelamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 57-69, 2000.

LIMA, V. M. G. C.; SILVA, L. L.; SOUSA, A. B.; SANTOS, L. V. A.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; GOMES, R. L. F. Estimativas de parâmetros genéticos em acessos de feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio**: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 1004-1008. 1 CD-ROM.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; MAZIERO, S. M.; CERUTTI, T.; POERSCH, N. L. Genética dos teores de fibras insolúvel e solúvel em grãos de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 2, p. 150-155, 2009.

LOPES, A. C. de A.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. B. Q. da; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. de M. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 515-520, mar. 2001.

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

MAIA, F. M. M., OLIVEIRA, J. T. A.; MATOS, M. R. T.; MOREIRA, R. A.; VASCONCELOS, I. M. Proximate composition, amino acid content and haemagglutinating and trypsin-inhibiting activities of some Brazilian *Vigna unguiculata* (L) Walp cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 4, p. 453-458, Mar. 2000.

MANO, A. R. O.; SILVA, F. P.; PINHO, J. L. N.; ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio**: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 896-900. 1 CD-ROM.

MASHI, D. S. **Genetic studies on seed coat texture and cooking time in some varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2006, 147 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Cytogenetics and Plant Breeding) – Faculty of Natural Sciences, University of Jos, Nigeria.

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

MAZIYA-DIXON, B.; FATOKUN, C. Total carotenoids, iron and zinc concentration of improved cowpea varieties grown in Nigeria. In: WORLD COWPEA CONFERENCE, 5., 2010, Saly. **Abstracts**... Ibadan: IITA, 2010. p. 104.

MODU, S.; LAMINU, H. H.; ABBA SANDA, F. Evaluation of the nutritional value of a composite meal prepared from pearl millet (*Pennisetum typhoideum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*). **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, Kano, v. 3, n. 1, p. 164-168, June 2010.

MOHAMMED, I. B.; MIKO, S. Simple correlation and path coefficient analysis of cowpea yield and its components in millet based cropping systems. **Savannah Journal of Agriculture**, Kano, v. 2, n. 1, p. 1-9, June 2007.

MONTEIRO, C. A. A dimensão da pobreza, da desnutrição e da fome no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 17, n. 48, p. 7-20, maio/ago. 2003.

MORAES, M. F.; NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. Práticas agrônômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1., 2009, Viçosa, MG. **Agricultura, pecuária e cooperativismo: anais de resumos expandidos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 299-312.

MORAES, R. M. A. de; JOSÉ, I.C.; RAMOS, F.G.; BARROS, E.G. de; MOREIRA, M. A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.725-729, 2006.

MOREIRA, P. X.; BARBOSA, M. M.; BRITO, E. S. de; LIMA, A. C. **Processo agroindustrial**: elaboração de salgadinhos de feijão-caupi. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006. 3 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 121).

MOREIRA, P. X.; BARBOSA, M. M.; GALLÃO, M. I.; LIMA, A. C.; AZEREDO, H. M. C. de; BRITO, E. S. Estrutura e composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). In: BRITO, E. S. de (Ed.). Feijão caupi. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. p. 13-24.

MOREIRA-ARAÚJO, R. R. S.; MARTINS, L. S.; MENESES, M. A.; FROTA, K. M.; MORGANO, M. A.; ARAÚJO, A. M. Utilização de biscoito à base de farinha de feijão-caupi em pré-escolares com anemia ferropriva. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio**: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 1 CD-ROM.

MOREIRA-ARAÚJO, R. R. S.; FROTA, K. M.; MENESES, M. A.; MARTINS, L. S.; ARAÚJO, A. M. Composição química de formulações elaboradas à base de farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio**: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

NAKAWUKA, C. K.; ADIPALA, E. A path coefficient analysis of some yield component interactions in cowpea. **African Crop Science Journal**, Kampala, v. 7, n. 4, p. 327-331, 1999.

NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; LACERDA, C. F. de; SILVA, F. B. da; SILVA, F. L. B. da. Tamanho e composição mineral de sementes de feijão-de-corda irrigado com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 569-574, out./dez. 2008.

NUTTI, M.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. **A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos: HarvestPlus, 2005. 5 p. Trabalho apresentado no Workshop Internacional de Biologia Médica, Rio de Janeiro, jun. 2005. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geo_med7.pdf. Acesso em: 18 dez. 2010.

NUTTI, M. R.; ROCHA, M. M.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. de; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. e. Biofortificação de feijão-caupi no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio**: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 26-38. 1 CD-ROM.

NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. de; DEL PELOSO, M. J.; FUKUDA, W. M. G.; GUIMARÃES, P. E. de O. Biofortificação: desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOSSEGURANÇA, 5.; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PRODUTOS TRANSGÊNICOS, 5.; SEMINÁRIO DE BIOENERGIA DAS NAÇÕES UNIDAS, 2007, Ouro Preto. **Anais dos eventos...** Rio de Janeiro: Associação Nacional de Biossegurança, 2007. p. 137-138.

OKWU, D. E.; ORJI, B. O. Phytochemical composition and nutritional quality of *Glycine max* and *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **American Journal of Food Technology**, Lund, v. 2, n. 6, p. 512-520, 2007

OLALEKAN, A. J.; BOSEDE, B. F. Comparative study on chemical composition and functional properties of three Nigerian legumes (jack bean, pigeon pea and cowpea). **Journal Emerging Trends and Engineering and Applied Sciences**, Iyana Ipaja, v. 1, n. 1, p. 89-95, 2010.

OLIVEIRA, F. J. de; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J. da; BASTOS, J. Q.; REIS, O. V. dos; TEÓFILO, E. M. Caracteres agronômicos aplicados na seleção de cultivares de caupi. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 44-50, 2003.

OLUWATOSIN, O. B. Genetic and environmental variability in starch, fatty acids and mineral nutrients composition in cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 78, n. 1, p. 1-11, 1998.

ONYENEKWE P. C., NJOKU G. C., AMEH D. A. Effect of cowpea (*Vigna unguiculata*) processing methods on flatus causing oligosaccharides. **Nutrition Research**, New York, v. 20, n. 3, p. 349-358, 2000.

PADI, F. K.; EHLERS, J. D. Effectiveness of early generation selection in cowpea for grain yield and agronomic characteristics in semiarid west Africa. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 2, p. 533-540, 2008.

PADOVANI, R. M.; LIMA, D. M.; COLUGNATI, F. A. B.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Comparison of proximate, mineral and vitamin composition of common Brazilian and US foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, Kidlington, v. 20, n. 8, p. 733-738, 2007.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12. Trabalhos selecionados do Second World Cowpea Research Conference, 1995, Accra, Ghana.

PEKSEN, E.; ARTIK, C. Compararison of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes from Turkey for seed yield and yield related characters. **Journal of Agronomy**, Lund, v. 3, n. 2, p. 137-140, Apr./Jun. 2004.

PERSON, O. C.; BOTTI, A. dos S.; FÉRES, M. C. L. C. Repercussões clínicas da deficiência de zinco em humanos. **Arquivos Médicos do ABC**, Santo André, v. 31, n. 1, p. 46-52, jan./jun. 2006.

PESQUISADORA fala sobre biofortificação de alimentos para combater deficiência de ferro e vitamina A. **Agrosoft Brasil**, 3 set. 2007. 2 p. Disponível em: <<http://WWW.agrosoft.org.br/agropag/25827.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2010.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. S88-S105, Dec. 2007. Suplemento 3. Edição dos Proceedings do International Plant Breeding Symposium, Mexique, Aug. 2006.

PHILLIPS, R. D.; MCWATTERS, K. H.; CHINNAN, M. S.; HUNG, Y. C.; BEUCHAT, L. R.; SEFA-DEDEH, S.; SAKYI-DAWSON, E.; NGODDY, P.; NNANYELUGO, D.; ENWERE, J.; KOMEY, N. S.; LIU, K.; MENSA-WILMOT, Y.; NNANNA, I. A.; OKEKE, C.; PRINYAWIWATKUL, W.; SAALIA, F. K. Utilization of cowpea for human food. **Fields Crop Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2-3, p. 193-213, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. de. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 300 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 4, ed. Lavras: UFLA, 2008. 461 p.

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

RÊGO, M. de S. C.; LOPES, A. C. de A.; ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SOUSA, I. da S. Avaliação de métodos de cruzamentos artificiais em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio**: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

RESENDE, M. D. V. de; PRATES, D. F.; YAMADA, C. K.; JESUS, A. de. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (Reml) e melhor predição linear não viciada (Blup) em Pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 32/33, p. 23-42, jan./dez. 1996.

RIBEIRO, N. D. Potencial de aumento da qualidade nutricional do feijão por melhoramento genético. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1367-1376, 2010.

RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108 p. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2).

ROCHA, M. de M. O feijão-caupi combatendo a desnutrição. **Agrosoft Brasil**, 24 jul. 2008. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/101722.htm>. Acesso em: 29 abr. 2009.

ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. e.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, A. L. H.; FRANCO, L. J. D.; BASSINELO, P. Z.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de. **Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 4 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 212).

ROCHA, M. de M.; SANTOS, A. M. F.; VILARINHO, A. A.; BARRETO, A. L. H.; FRANCO, L. J. D.; SILVA, A. B.; SILVA, K. J. D. e; FREIRE FILHO, F. R.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de. Estimativas de parâmetros genéticos (G), ambientais (A) e da interação G x A para os conteúdos de ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi. In: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 3., 2009, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 1 CD-ROM. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 148).

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

ROSA, S. S. **Genética dos teores de fósforo e de zinco em sementes de feijão**. 2009. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SALGADO, S. M.; MELO FILHO, A. B. de; ANDRADE, S. A. C.; MACIEL, G. R.; LIVERA, A. V. S.; GUERRA, N. B. Modificação da concentração de amido resistente em feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp) por tratamento hidrotérmico e

congelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 259-264, abr./jun. 2005.

SALIMATH, P. M.; BIRADAR, S.; GOWDA, L.; UMA, M. S. Variability Parameters in F₂ and F₃ Populations of Cowpea Involving Determinate, Semideterminate and Indeterminate types. **Karnataka Journal Agricultural Science**, Karnataka, v. 20, n. 2, p. 255-256, Apr./Jun. 2007.

SANTOS, C. A. F.; BARROS, G. A. de A.; SANTOS, I. C. C. N. dos; FERRAZ, M. G. de S. Comportamento agrônômico e qualidade culinária de feijão-caupi no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 3, p. 404-408, jul./set. 2008.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54 p.

SHOSHIMA, A. H. R.; TAVANO, O. L.; NEVES, V. A. Digestibilidade *in vitro* das proteínas de caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) var. "Br-14 Mulato": efeito dos fatores antinutricionais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 4, p. 299-304, out./dez. 2005.

SILVA, E. B. **Desenvolvimento de produtos alimentares adicionados com ferro, cálcio, zinco e carotenóides (alfacarotenóides e betacarotenóides) como proposta de alimentos enriquecidos ou fontes desses nutrientes**. 2008. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SILVA, S. M. de S. e; MAIA, J. M.; ARAÚJO, Z. B. de; FREIRE FILHO, F. R. **Composição química de 45 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 2 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 149).

SILVA, T. T.; CORREA, V. H. C. **A crise mundial dos alimentos e a vulnerabilidade dos países periféricos**. Campinas, 17 nov. 2009. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/CriseAlimentosVersaofinal_17112009.pdf>. Acesso em: 23 out. 2010.

SINGH, B. B. Cowpea breeding at IITA: highlights of advances and impacts. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio: anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

SINGH, B. B. Recent Progress in cowpea genetics and breeding. **Acta Horticulture**, The Hague, v. 752, n. 13, p. 69-76, 2007.

SINGH, B. B.; AJEIGBE, H. A.; SINGH, Y. V. Breeding high yielding cowpea varieties enhanced quality and nutritional traits. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. **Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais**. Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 1 CD-ROM.

SINGH, B. B.; AWIKA, J. Breeding high-yielding cowpea varieties with enhanced nutritional and health traits. In: WORLD COWPEA RESEARCH CONFERENCE, 5th., 2010, Saly. **Program & book of abstracts**... Ibadan: IITA, 2010. p. 16.

SINGH, B. B.; CHAMBLISS, O. L.; SHARMA, B. Recent advances in cowpea reeding. In: SINGH, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIELL, K. E. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Japan: IITA: JIRCAS, 1997. p. 30-40.

SOUZA, C. L. C. **Variabilidade, correlações e análise de trilha em populações de feijão-caupi (*Vigna umguiculata* (L.) Walp.) para a produção de grãos verdes**. 2005. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

TIMKO, M. P.; SINGH, B. B. Cowpea, a multifunctional legume. In: MOORE, P. H.; MING, R. (Ed.). **Genomics of tropical crop plants**. New York: Springer, 2008. v. 1, p. 227-258. (Plant genetics and genomics: crops and models).

UDOM, G. N.; FAGAM, A. S.; BABATUNDE, F. E.; MAINA, I. M. Path coefficient analysis of the components of grain yield in intercropped cowpea, growth in Borno, Nigeria. **International Journal of Natural and Applied Sciences**, Grahamstown, v. 2, n. 4, p. 310-316, 2006.

UMAHARAN, P.; ARIYANAGAM, R. P.; HAQUE, S. Q. Genetic analysis of yield and its components in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Euphytica**, Dordrecht, v. 96, n. 2, p. 207-213, 1997.

VELU, G.; RAI, K. N.; SAHRAWAT, K. L.; SUMALINI, K. Variability for grain iron and zinc contents in pearl millet hybrids. **Journal of SAT Agricultural Research**, Andhra Pradesh, v. 6, Dec. 2008. Disponível em: <http://ejournal.icrisat.org/Volume6/Sorgum_Millet/KN_Rai.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2011.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

WATERS, B. M.; SANKARAN, R. P. Moving micronutrients from the soil to the seeds: genes and physiological processes from a biofortification perspective. **Plant Science**, Limerick, v. 180, n. 4, p. 564-574, 2011.

WHITTAKER, P. Iron and zinc interactions in human. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 68, n. 2, p. 442-446, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). The World Health Report 2002. **Reducing risks, promoting healthy life, chapter 4: Quantifying selected major risks to health**. Geneva, 2002. Disponível em: <http://www.who.int/whr/2002/en/Chapter4S.pdf>. Acesso em: 10 out. 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Meeting of Interested Parties (MIP) 2001. **Micronutrient deficiencies: battling iron deficiency anaemia**. Geneva, 2001.

Disponível em: <http://www.who.int/mip2001/files/2232/NHDbrochure.pdf>. Acesso em: 10 out. 2010.

ZANCUL M. de S. Fortificação de alimentos com ferro e vitamina A. **Medicina**, Ribeirão Preto, v. 37, p. 45-50, jan./jun. 2004.

ZHANG, M. W; GUO, B. J; PENG, Z. M. Genetic effects on Fe, Zn, Mn and P contents in Indica black pericarp rice and their genetic correlations with grain characteristics. **Euphytica**, Dordrecht, v. 135, n. 3, p. 315–323, 2004.

ANEXOS

Anexo 1 – Resultado da análise da amostra de solo (0 – 20 cm) da área do experimento de campo. Teresina, PI, 2010.

Parâmetros do solo	Resultados
pH água	5,4
pH CaCl ₂ (1:2,5)	4,6
Al	0,1 cmol _c dm ³
Ca	2,6 cmol _c dm ³
Mg	1,1 cmol _c dm ³
H+Al	4,0 cmol _c dm ³
K	0,75 cmol _c dm ³
P	36,8 mg dm ³
Cu	1,0 mg dm ⁻³
Fe	480,5 mg dm ⁻³
Mn	33,7 mg dm ⁻³
Zn	4,0 mg dm ⁻³
M.O.	12,94 g kg ⁻¹
Areia total	829 g Kg ⁻¹
Silte	74 g Kg ⁻¹
Argila	97 g Kg ⁻¹
M	2%
V	52%