

Universidade Federal do Piauí

**Potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro
e caracteres agronômicos em feijão-caupi**

Mariane de Moraes Costa

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

Teresina

2013

Mariane de Moraes Costa
Licenciada em Ciências Biológicas

**Potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e
caracteres agronômicos em feijão-caupi**

Orientador:
Dr. MAURISRAEL DE MOURA ROCHA
Coorientador:
Prof. Dr. ANTÔNIO AÉCIO DE CARVALHO BEZERRA

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

Teresina

2013

**Potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e
caracteres agrônômicos em feijão-caupi**

Mariane de Moraes Costa

Aprovada em ____/____/____

Comissão julgadora:

Dr. Aloisio Ancantara Vilarinho – Embrapa Roraima

Prof^a. Dra. Ângela Celis de Almeida Lopes – CCN/UFPI

Prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra – CCA/UFPI
(Coorientador)

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

*Eu sou o Alfa e o Ômega, o Princípio e o Fim,
diz o Senhor, que é, e que era, e que há de vir,
o Todo-poderoso. Ap 1:8.*

Ofereço

*Aos meus pais, Manoel do Nascimento Costa e
Luzineide Firmino de Moraes Costa (in memoriam),
minhas irmãs, Michele de Moraes Costa e Natália
de Moraes Costa e meu namorado Wendell Amorim
Brito, presentes de Deus na minha vida.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por fazer tudo mais abundantemente além daquilo que pedi ou pensei, sua graça concedida através do nosso Senhor e Salvador Jesus Cristo, *Soli Deo gloria*;

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento pela oportunidade de realizar este curso;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

À Embrapa Meio-Norte pelo fornecimento de material necessário à condução deste trabalho e auxílio de pessoal para realização dos experimentos;

Ao orientador Maurisrael de Moura Rocha pela sua competência, paciência, apoio, direção e condução deste trabalho;

Ao coorientador Antônio Aécio de Carvalho Bezerra pela sua disponibilidade, apoio, amabilidade, ensino e competência;

Ao pesquisador Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho por sua disponibilidade, valiosos ensinamentos e contribuição neste trabalho;

Aos pesquisadores Dr. Paulo Fernando Jorge de Melo Vieira e Dr. Aloisio Alcantara Vilarinho, pelas disponibilidades e contribuições neste trabalho;

As professoras Regina Lúcia Ferreira Gomes e Ângela Celis de Almeida Lopes, grandes exemplos de profissionalismo, dedicação e ensino;

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Dr. Sérgio Emílio dos Santos Valente, Dra. Gleice Ribeiro Orasmo, Dr. Fábio Barros Brito, Dra. Ana Paula Peron, Dr. Antônio Carlos Tadeu (ESALQ), Dr. Kaesel Jackson Damasceno Silva, Dr. Fábio Diniz e Dr. Natal Antonio Vello (ESALQ) por suas inestimáveis contribuições na profissionalização dos alunos.

Aos professores da Universidade Estadual do Piauí MSc. Simone Mousinho, Dra. Roselis Ribeiro Machado, Dr. Francisco Soares Santos Filho, Dra. Elisângela Sousa de Araújo, MSc. Emília Ordones Saleh, MSc. Rosemary Cordeiro Brito, Dra. Márcia Percília e Dra. Maria de Fátima Oliveira Pires pelos ensinamentos e incentivo;

Aos funcionários da Embrapa Meio-Norte, em especial ao Paulo Sérgio Monteiro, Manoel Gonçalves da Silva, Agripino Ferreira do Nascimento, Antônio José Marques, Antônio dos Reis França, Francisco Lima e Ana Lúcia Barros pela colaboração na condução do trabalho e amizade;

Aos laboratoristas da Embrapa Meio-Norte Diego Sávio de Oliveira e Luis José Duarte Franco, pela ajuda e contribuição;

Às mulheres de campo do caupi, grande exemplo de trabalho, perseverança e humildade, em especial, Francisca dos Santos Silva, Maria das Graças Silva Costa e Augustinha Rodrigues Santos.

Às bolsistas e estagiárias da Embrapa Meio-Norte, pela amizade, conselhos, companheirismo e ajuda nos momentos difíceis, queridas Pauliana de Oliveira Monteiro, Maiara Jaianne Rios e Maria Fernanda Brito. Aos também estagiários Andréa Barros, Raylson de Sousa, Carlos Misael de Sousa, Leane Fialho de Melo, Danieles Guimarães e demais pela amizade e boas risadas. Ao Jayro Carvalho pela sua disponibilidade, disposição e ajuda.

Aos amigos do mestrado pelo companheirismo e as muitas tardes de estudo, Rosana Mendes de Moura, João Paulo Gomes Viana, Camila Campêlo de Sousa, Jaqueline Luz Moura, Kaline Aguiar Gonzalez, Kátia Silene Sousa Carvalho, Hendrie Ferreira Nunes, Erina Vítório Rodrigues e José Ribamar de Assunção Filho;

Aos meus irmãos em Cristo da Igreja Batista Renascença pela caminhada cristã e comunhão, especialmente as lindas do pequeno grupo Domínio Próprio, o Ministério Comunicativa e os irmãos Lucas Chaves, Ravena Bastos, Walter Carlos Rodrigues e Janeth Rodrigues;

Aos meus avôs e avós, tios e tias, primos e primas, principalmente, Luciene de Moraes Rocha, Severina Barbosa, Lucinha Moraes e Maria Pierote pelo amor e carinho;

Aos meus amigos de longa data, Tayane Cristine Belém Costa, Keline Medeiros de Araújo, Bruno Pedrosa, Mayara Hellem, Ruhama Aguiar, Ricardo Oliveira Silva, Márcia Pereira da Cruz e Leyllane Dharc simplesmente pela amizade;

A todos que contribuíram de alguma maneira com a concretização deste trabalho.

Os que semeiam em lágrimas segarão com alegria. Aquele que leva a preciosa semente, andando e chorando, voltará sem dúvida, com alegria, trazendo consigo os seus molhos.

Sl 126: 5-6

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Origem e classificação botânica do feijão-caupi.....	19
2.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi.....	19
2.3 Produção e produtividade do feijão-caupi.....	21
2.4 Qualidade nutricional do feijão-caupi.....	23
2.5 Biofortificação de produtos agrícolas.....	24
2.5.1 Biofortificação do feijão-caupi.....	28
2.6 Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi.....	30
2.6.1 Coeficiente de variação genética.....	30
2.6.2 Herdabilidade.....	31
2.6.3 Correlação entre caracteres.....	32
2.6.4 Ganho genético.....	35
2.7 Genética do teor de ferro na semente em feijões.....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 Material genético.....	38
3.2 Metodologia experimental.....	39
3.2.1 Cruzamentos e obtenção das gerações F1 e F2.....	39
3.2.2 Experimentos em condições de campo e obtenção da geração F3.....	41
3.3 Caracteres avaliados.....	43
3.3.1 Caracteres agronômicos.....	43
3.3.2 Teor de ferro.....	44
3.4 Análises estatístico-genéticas.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 Caracteres agronômicos.....	49
4.1.1 Análises de variância.....	49
4.1.2 Análises de médias.....	52

	8
4.1.3 Estimativas de parâmetros genéticos.....	56
4.2 Teor de ferro.....	61
4.2.1 Análise de variância.....	61
4.2.2 Análises de médias e contrastes.....	61
4.2.3 Estimativas de parâmetros genéticos.....	63
4.3 Correlações entre caracteres.....	65
5 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	69
ANEXOS.....	79

RESUMO

COSTA, M. M. **Potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e caracteres agronômicos em feijão-caupi**. 79f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é leguminosa granífera de grande importância para as regiões Norte e Nordeste devido a tratar-se de um alimento básico para as populações dessas regiões. A seleção para o aumento dos teores de minerais na semente aliado a um bom desempenho agronômico tem sido o principal objetivo do programa de biofortificação do feijão-caupi no Brasil. Este trabalho objetivou avaliar o potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e caracteres agronômicos e estimar parâmetros genéticos importantes para a seleção em feijão-caupi. Foram realizados dois cruzamentos entre parentais com altos teores de ferro e zinco e alto potencial agronômico (Cruzamento 1: BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia e Cruzamento 2: IT-98K-205-8 x Evx-63-10E) e obtidas as gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 , F_2 recíproco, F_3 , e F_3 recíproco no cruzamento 1 (C_1) e as gerações F_1 , F_1 recíproco, F_2 e F_2 recíproco no cruzamento 2 (C_2). As populações foram avaliadas em dois ensaios de campo na Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI, no ano de 2012, em delineamento de blocos completos casualizados com seis tratamentos e três repetições. Foram avaliados os caracteres: número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), valor de cultivo (VC), acamamento (ACAM), reação a vírus (RV), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG), produção por planta (PP) e teor de ferro na semente (TFe). Foram realizadas análises de variâncias, médias e estimados os seguintes parâmetros genéticos: coeficiente de variação genética, herdabilidades no sentido amplo e restrito, relação entre o coeficiente de variação genética entre genótipos e o coeficiente de variação experimental, relação entre o coeficiente de variação genética dentro de genótipos e o coeficiente de variação experimental, correlações entre caracteres, e o ganho genético para o teor de ferro a partir da seleção na geração F_3 . O NVP e a PP foram os caracteres com maior potencial de ganho com a seleção em ambos os cruzamentos avaliados. A seleção

entre e dentro de populações é mais viável no cruzamento 1, com vantagem da seleção entre sobre a dentro de populações. Existe maior confiabilidade na expressão do genótipo nos caracteres COMPV, P100G, IG e PP, em ambos os cruzamentos avaliados. É possível obter genótipos com alta PP por meio da seleção indireta via NVP, mas a seleção para aumento do NGV pode trazer perdas no P100G no cruzamento 1. O TFe não apresentou efeito materno no cruzamento 1. A seleção para aumento do TFe não afetou a PP no cruzamento 1. A seleção para alto TFe foi dificultada pela baixa herdabilidade e o pronunciado efeito do ambiente, no entanto, o ganho esperado com a seleção (6,15 g) foi satisfatório no cruzamento 1.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, genética, biofortificação, parâmetros genéticos, produção.

ABSTRACT

COSTA, M. M. **Genetic potential of segregant populations for iron content and agronomical traits in cowpea.** 2013. 79f. Dissertation (Master Science in Genetic and Breeding) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a leguminous very important for Brazilian North and Northeast due it's to be a basic food for populations these regions. Selection for increased mineral content in the grain combined with good agronomic performance has been the focus of cowpea biofortification program in Brazil. This study aimed to evaluate the genetic potential of segregating populations for iron content and agronomic traits and to estimate genetic parameters important to selection in cowpea. There were two crosses among genotypes with high levels of iron and zinc and high agronomic potential (Crossing 1: BRS Xiquexique x BR-17 Gurguéia and Crossing 2: IT-98K-205-8 x Evx-63-10E) and obtained F₁, reciprocal F₁, F₂, reciprocal F₂, F₃, and F₃ reciprocal generations for Crossing 1 and F₁, reciprocal F₁, F₂ and F₂ reciprocal for Crossing 2. Two trials were conducted under field conditions at Embrapa Mid-North in Teresina-PI, in 2012, under a randomized complete block design with six treatments and three replications. The following traits were evaluated: number of days to the beginning of flowering (NDIF), number of days to maturation (NDM), plant type (PP), cultivation value (CV), lodging (ACAM), reaction to virus (RV), pod length (COMPV), number of seeds per pod (NGV), 100-grain weight (P100G), grain index (GI), yield per plant (PP) and iron content (TFe). Analyses of variance and averages were realized and the following genetic parameters were estimated: genetic variation, heritability in broad and narrow sense, genetic variation among genotypes and experimental coefficient of variation relation, coefficient of genetic variation within genotypes and experimental coefficient of variation relation, correlation between traits and genetic gain for the iron content in base of selection at F₃ generation. NVP and PP were the traits with greater potential of genetic gain by selecting. The selection among and within is more viable in Crossing 1, with advantage of selection among populations on the inside. There is more reliability in the expression of the genotype in the characters COMPV, P100G, GA and PP in both crosses evaluated. It is possible to obtain genotypes with high PP

through indirect selection of NVP, but selection for increase NGV can bring losses for P100G in Crossing 1. The TFe had no maternal effect in Crossing 1. Selection for TFe did not affect PP in Crossing 1. Selection for TFe was hampered by the low heritability and the pronounced effect of the environment, however, the expected response to selection (6.15 g) was satisfactory in Crossing 1.

Keywords: *Vigna unguiculata*, genetic, biofortification, genetic parameters, yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Parentais utilizados nos cruzamentos: a) BRS Xiquexique; b) BR 17-Gurguéia; c) IT98K-205-8; d) Evx-63-10E.....	38
Figura 2 –	Parentais (à esquerda) e obtenção das gerações F1 e F2 (à direita) em condições de telado. Teresina, PI, 2011.....	40
Figura 3 –	Realização de cruzamentos em telado. Teresina, PI, 2011...	40
Figura 4 –	Experimentos em condições de campo. Teresina, PI, 2012..	41
Figura 5 –	Plantio dos tratamentos. Teresina, PI, 2012.....	42
Figura 6 –	Moinho com bolas de zircônio, à esquerda. Amostras moídas em moinho, à direita. Teresina, PI, 2012.....	45
Figura 7 –	Pesagem das amostras (à esquerda) e homogeneização em agitador (à direita). Teresina, PI, 2013.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem e cor das sementes dos genótipos parentais utilizados nos cruzamentos 1 e 2. Teresina, PI, 2011.....	38
Tabela 2 – Simbologia e significados das populações de feijão-caupi avaliadas no cruzamento 1. Teresina, PI, 2011/2012.....	39
Tabela 3 – Simbologia e significados das populações de feijão-caupi avaliadas no cruzamento 2. Teresina, PI, 2011/2012.....	39
Tabela 4 – Resumo das análises de variâncias e coeficiente de variação para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidos a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.....	50
Tabela 5 – Resumo das análises de variâncias e coeficiente de variação para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidos a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E). Teresina, PI, 2013.....	51
Tabela 6 – Médias dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos	

(P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013..... 54

Tabela 7 – Médias dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E). Teresina, PI, 2013..... 55

Tabela 8 – Estimativas de parâmetros genéticos (coeficiente de variação genética dentro, coeficiente de variação genética entre, herdabilidade no sentido amplo, herdabilidade no sentido restrito, relação entre coeficiente de variação genética entre populações e o coeficiente de variação experimental e a relação entre o coeficiente de variação genética dentro de populações e coeficiente de variação experimental) dos caracteres número de dias para início de floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013..... 58

Tabela 9 – Estimativas de parâmetros genéticos (coeficiente de variação genética dentro, coeficiente de variação genética entre, herdabilidade no sentido amplo, herdabilidade no sentido restrito, relação entre coeficiente de variação genética entre populações e o coeficiente de variação experimental e a relação entre o coeficiente de variação genética dentro de populações e

	coeficiente de variação experimental) dos caracteres número de dias para início de floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E). Teresina, PI, 2013.....	60
Tabela 10 –	Resumo da análise de variância e coeficiente de variação para o teor de ferro na semente, obtidos a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.....	61
Tabela 11 –	Estimativas de médias e alguns contrastes para o teor de ferro no grão (mg kg^{-1}), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.....	62
Tabela 12 –	Estimativas de parâmetros genéticos (variâncias fenotípica, genotípica e ambiental; herdabilidade no sentido amplo, ganho genético) para o teor de ferro no grão, obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia. Teresina, PI, 2013.....	64
Tabela 13 –	Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG), produção por planta (PP) e teor de ferro (TFe), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E). Teresina, PI, 2013.....	67

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa granífera cultivada nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, tendo o continente africano como o maior produtor. É cultivado também na Ásia, América, Europa e Oceania, abrangendo 97 países. O Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores mundiais (ZILLI et al., 2009; FREIRE FILHO et al., 2011).

O cultivo do feijão-caupi predomina nas regiões Norte e Nordeste, porém produz bem em todas as regiões do país. Na região Nordeste, a produção tradicionalmente concentra-se nas áreas semiáridas, onde outras culturas leguminosas anuais não se desenvolvem satisfatoriamente. É uma espécie rústica bem adaptada as condições de clima e solo da região (FREIRE FILHO et al., 2011; FREIRE FILHO et al., 1999) e um alimento rico em proteínas e minerais, sendo um dos componentes principais da dieta alimentar do nordestino; além disso, é um importante gerador de emprego e renda, assumindo expressiva importância socioeconômica nessas regiões (FREIRE FILHO et al., 2011).

O feijão-caupi é um dos produtos que estão sendo estudados pelo Programa Desafio em Biofortificação quanto ao potencial de melhoramento para o teor de micronutrientes, principalmente ferro e zinco, nutrientes importantes das dietas das populações que sofrem de deficiência nutricional (NUTTI et al., 2013).

A deficiência nutricional tem aumentado, afetando quase metade da população mundial, especialmente crianças, adolescentes e mulheres grávidas. Mais de 1,2 bilhões de pessoas não consomem alimentos em quantidades suficientes para suprir suas necessidades diárias básicas de energia. A anemia ferropriva é, provavelmente, o mais importante problema nutricional no Brasil, sua ocorrência é de 30 a 80% entre as crianças com menos de cinco anos de idade (CARVALHO; NUTTI, 2012; MORAES et al., 2009).

O ferro é requerido em todos os tecidos do corpo para funções celulares básicas, sendo muito importante para os músculos, o cérebro e as células vermelhas do sangue (RIOS et al., 2011). As fontes mais importantes de ferro para a população brasileira são o feijão (32%) e carnes (20%) (NUTTI, 2013).

Produtos agrícolas biofortificados constituem uma forma sustentável e de baixo custo para combater as deficiências nutricionais, além de complementar as

intervenções em andamento, como o fornecimento de suplementos vitamínicos e minerais e a fortificação de alimentos. No Brasil, o Programa Desafio em Biofortificação é coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e, os principais produtos que estão sendo pesquisados são: mandioca, batata doce, arroz, feijão, feijão-caupi, milho, trigo e abóbora (MORAES et al., 2009; NUTTI, 2013).

A variabilidade genética apresentada pelo feijão-caupi e a grande variação nas condições de seu cultivo, torna essencial a estimativa de parâmetros genéticos como variâncias, herdabilidade, coeficiente de determinação genotípico, coeficiente de variação genética e coeficiente b (CV_g/CV_e) para o estabelecimento de programas de melhoramento com o objetivo de desenvolver cultivares mais produtivos e adaptados as diferentes condições (CORREA et al., 2012). Conhecer a variabilidade existente nas populações e, quanto desta é devida a diferenças genéticas é de grande importância em programas de melhoramento, isto porque, permite conhecer o controle genético do caráter e o potencial da população para seleção (RAMALHO et al., 2000).

Segundo Nutti (2013) outras metas da Rede de Biofortificação, além da elevação dos teores de micronutrientes, incluem: avaliação do desempenho agrônomo (boa produtividade no campo, resistência a pragas e doenças) e da biodisponibilidade dos nutrientes, avaliação sensorial, investigação dos hábitos de consumo e condições socioeconômicas do público alvo. Nesse sentido, o feijão-caupi tem sido avaliado em trabalhos de melhoramento objetivando a seleção de genótipos biofortificados e adaptados às regiões de cultivo.

Este trabalho objetivou avaliar o potencial genético de populações segregantes para o teor de ferro e caracteres agrônômicos e estimar parâmetros genéticos importantes para a seleção em feijão-caupi.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem, classificação botânica e modo de reprodução do feijão-caupi

A origem do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) está relacionada ao Oeste da África, mais precisamente a Nigéria, considerada centro primário de diversidade da espécie (STEELE; MEHRA, 1980; NG; MARÉCHAL, 1985). Há evidências relatadas por Freire Filho (1988a) de que o caupi foi introduzido no Brasil no estado da Bahia, no século XVI, pelos colonizadores espanhóis e portugueses. A partir da Bahia foi levado pelos colonizadores para outras áreas da Região Nordeste e para as outras regiões do país (FREIRE FILHO et al., 2005).

A classificação botânica do feijão-caupi o inclui como uma planta Dicotyledonea, que pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolina, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subesp. *unguiculata* (VERDCOURT, 1970; MARÉCHAL et al., 1978; PADULOSI; NG, 1997). Apresenta vários nomes populares quais sejam: feijão macassar ou feijão-de-corda no Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia, feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul; e feijão-fradinho nos estados da Bahia, Sergipe e Rio de Janeiro (TEIXEIRA et al., 1988; FREIRE FILHO et al., 2011).

O feijão-caupi é uma espécie autógama, ou seja, se reproduz por autofecundação natural (ARAÚJO, 1988). Devido a seu modo de reprodução, a integridade genética das variedades homozigotas é mantida durante o processo reprodutivo. As espécies autógamas são constituídas por uma mistura de linhas homozigotas. Mesmo ocorrendo fecundação cruzada na população (apresenta uma pequena taxa de cruzamento natural que varia com o ambiente e com os genótipos), a heterozigose desaparece com as sucessivas autofecundações (FREIRE FILHO et al., 2005; BORÉM, 1988).

2.2 Importância socioeconômica do feijão-caupi

O feijão-caupi apresenta relevância para as regiões tropicais e subtropicais do mundo, onde é cultivado (SOUSA, 2005) sendo alimento básico em mais de 65 países (SINGH, 2002). Nigéria e Níger são os maiores produtores africanos e

mundiais e o Brasil é o maior produtor da América e o terceiro mundial (LANGYNTUO et al., 2003). Na região Norte e Nordeste do Brasil, este constitui-se em uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar, especialmente para as populações rurais. Seus grãos são fontes de proteínas, aminoácidos essenciais, tiamina, niacina, fibras dietéticas, entre outros. É considerado uma das fontes alimentares mais importantes e estratégicas (SOUSA, 2005).

No Brasil, o feijão-caupi é comercializado de três formas: grão seco, que representa a quase totalidade do mercado, vagens e grãos verdes (feijão-verde) e sementes (FREIRE FILHO et al., 2011). Há também iniciativas para o processamento industrial do feijão-caupi para a produção de farinha e produtos pré-cozidos e congelados. Outras utilizações são: forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal, adubação verde e proteção do solo (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003). Segundo Freire Filho et al. (2007), o feijão-caupi apresenta grande potencial estratégico devido à ampla adaptação e grande valor alimentar.

O feijão-caupi é uma planta de ciclo rápido, que apresenta baixa exigência hídrica e por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, tem habilidade de fixar nitrogênio do ar (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003). Adapta-se bem a diferentes condições ambientais (FREIRE FILHO et al., 2005), exibindo rusticidade e capacidade de se desenvolver bem em solos de baixa fertilidade (OLIVEIRA; CARVALHO, 1988).

Como alimento, o feijão-caupi tem um papel muito importante no suprimento de proteína vegetal para a população brasileira, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (LAM-SANCHEZ et al., 1990). No entanto, o seu consumo é tradicionalmente, maior entre adultos e crianças com mais de cinco anos (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2006b). Pensando nessa limitação, estudiosos transformaram em farinha o feijão-caupi integral pré-cozido para introduzir essa importante fonte proteica na dieta de crianças (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2006a). Essa farinha pode ser usada na produção industrial de bolos, macarrão, biscoitos, pães, pastéis e doces (MOREIRA et al., 2008).

O complexo formado por produtor, comerciante, agroindústria, distribuidor, consumidor e exportador tem sido focado pelo Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), resultando disso a obtenção e indicação de cultivares

melhoradas para todos os tipos de produtores e regiões com potencial para produção de feijão-caupi do país (FREIRE FILHO et al., 2011).

A geração de renda do feijão-caupi é de grande importância para o produtor brasileiro (BRASIL, 2008). No período de 2005 a 2009, a cultura gerou em média 1.113.109 empregos por ano, produziu suprimento alimentar para 28.205.327 milhões de pessoas e gerou uma produção anual no valor de R\$ 684.825.333 reais (FREIRE FILHO et al., 2011).

2.3 Produção e produtividade do feijão-caupi

No mundo, no período de 2005 a 2009, em média a área cultivada com feijão-caupi foi de 12.218.774 hectares, com produção de 5.641.762 toneladas e a média de produtividade de 461,8 Kg ha⁻¹. Nigéria, Níger e Brasil são os principais países produtores do mundo (FAOSTAT, 2013). A África possui a maior área plantada com feijão-caupi, representando 86,75% e sua produção é de 86,5% (LANGYNTUO et al., 2003). Apesar de cultivado em larga escala, a produtividade global do feijão-caupi é muito baixa (SINGH, 2006).

O feijão-caupi desempenha importante papel na composição agrícola brasileira (TEIXEIRA et al., 1988). Está expandindo o seu cultivo para as regiões do Cerrado, regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, sendo incorporado aos arranjos produtivos como safrinha após as culturas da soja e do arroz, ou como cultura principal em alguns locais (FREIRE FILHO et al., 2011). Adaptando-se bem em praticamente todos os ecossistemas dessas regiões, o feijão-caupi é cultivado desde o ecossistema de caatinga até o amazônico (FREIRE FILHO et al., 2007). Apesar de cultivado em praticamente todas as regiões do país, tem seu cultivo concentrado nas regiões Nordeste e Norte (FREIRE FILHO et al., 2005). Está despertando o interesse de agroindustriais de outras regiões e contribuindo para a abertura de mercados para a cultura através da oferta de um produto padronizado, de alta qualidade, em quantidade e com regularidade (FREIRE FILHO et al., 2011).

A cultura do feijão-caupi no Brasil, no período de 2005 a 2009, ocupou uma área que correspondeu a 37,53% da área total cultivada de feijão (feijão-comum + feijão-caupi) no Brasil; 33,08% na região Norte; 60,80% na região Nordeste; 18,05% na região Centro-Oeste. A área total cultivada correspondeu a 1.391.386 ha. Nos

estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, 95% a 100% das áreas plantadas com feijão, correspondem a feijão-caupi (FREIRE FILHO et al., 2011).

No Brasil a produção do feijão-caupi, no período de 2005 a 2009, correspondeu a 15,48% da produção total de feijão (feijão comum + feijão-caupi) no Brasil; 37,64% na região Norte; 45,67% na região Nordeste; 9,12% na região Centro-Oeste. Sua produtividade correspondeu a 113% na região Norte; 75,3% na região Nordeste e 53,26% na região Centro-Oeste. A estimativa média de produção no mesmo período em toneladas correspondeu a 45.321 na região Norte; 426.367 na região Nordeste e 41.931 na região Centro-Oeste (FREIRE FILHO et al., 2011).

A região Nordeste, maior produtora de feijão-caupi do país, concentra sua produção nas áreas semiáridas, onde ocorrem altas temperaturas e irregularidade das chuvas, que dificulta o desenvolvimento satisfatório de outras culturas anuais. No Nordeste e Norte, o cultivo é feito por agricultores familiares e empresariais, onde os agricultores familiares utilizam práticas tradicionais. Por outro lado, na região Centro-Oeste, os médios e grandes empresários praticam uma lavoura altamente tecnificada (FREIRE FILHO et al., 2011).

A produtividade média do feijão-caupi no Brasil é 366 kg ha^{-1} . Alguns estados como Amazonas, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, entretanto, apresentam produtividades superiores a 1.000 kg ha^{-1} . Essa produtividade, apesar de acima da média nacional é baixa, pois, segundo Alves et al. (2009), o potencial da cultura é estimado em mais de 6.000 kg ha^{-1} . O aumento da produtividade média brasileira será proporcionado através da expansão da cultura para a região central do Brasil, onde há o uso de tecnologias que propiciam a cultura à expressão do seu potencial produtivo (SILVA, 2009). As baixas produtividades de feijão-caupi são devidas, principalmente, o uso de materiais de baixa capacidade produtiva associado à utilização de sementes de baixa qualidade. Na região Nordeste, onde a produtividade é baixa, apresenta-se uma situação de oportunidade já que para aumentar a produção não é necessário abrir mais áreas, é preciso investir em tecnologia para aumentar a produtividade e conseqüentemente a produção (FREIRE FILHO et al., 2011).

Segundo Freire Filho et al. (2011) sempre que há uma queda da oferta de feijão-caupi o mercado é suprido por feijão-comum de outras regiões do país ou até

importado. Estimativas apontam um déficit permanente de feijão-caupi na região Nordeste de 102.281,3 toneladas e na região Norte de 17.576,7 toneladas. A região Centro-Oeste, porém, apresenta um superávit de 38.217,7 toneladas. Isso porque essa região apresenta expansão no cultivo dessa cultura e o consumo é baixo.

O crescimento da população mundial requer o uso de cultivares mais produtivas (FREIRE FILHO, 1988a). Visando ampliar a forma de uso do feijão-caupi e atender às preferências do consumidor, novos tipos comerciais têm sido lançados no mercado (SOUSA, 2005).

2.4 Qualidade nutricional do feijão-caupi

Leguminosas, devido ao seu alto teor de proteína, em geral constituem suplemento de proteína natural para dieta básica de muitas populações, como a África. No Brasil, o feijão-caupi é cultura de subsistência nas regiões Norte e Nordeste, onde é a principal fonte de proteína vegetal da população rural e, em menor proporção, da população urbana (BRESSANI, 1985; OLIVEIRA; DANTAS, 1988). Essa leguminosa possui elevado valor nutricional apresentando proteínas, lipídios, açúcares totais, cálcio, ferro, fósforo, zinco, potássio e manganês (OLIVEIRA; DANTAS, 1988; FROTA et al., 2008).

O feijão-caupi apresenta em média 23-25% de proteínas, 62% em média de carboidratos, 2% em média de lipídios. No que diz respeito aos ácidos graxos, predomina o palmítico (50%), seguido dos ácidos esteáricos, oléico e linoléico, este último é nutriente essencial para a alimentação humana. Apresenta também, todos os aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas e baixo teor de gorduras (BRESSANI, 1985; SALGADO et al., 2008; EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003).

Em estudo que avaliou oito cultivares de feijão-caupi, Bressani (1985), encontrou os seguintes aminoácidos: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, cistina, fenilalanina, tirosina, treonina, triptofano e valina, que variaram de 32 a 500 mg g⁻¹ de N.

Moura et al. (1981) em estudo de avaliação da composição química de quarenta variedades de feijão-de-corda encontrou elevado valor nutritivo. Foram observados além dos valores de proteínas e lipídios, açúcares totais com valores

que variaram (2,37 a 5,35%), cálcio (51,08 mg Ca/100 g a 141 mg Ca/100 g), ferro (3,04 mg Fe/100 g a 7,83 mg Fe/100 g) e fósforo (788,9 mg de P₂O₅/100 g a 1.244,0 mg de P₂O₅/100 g).

Nos alimentos, o teor de micronutrientes pode variar devido a três fatores: características da planta (idade, maturação, espécie, variedade), características do meio ambiente (clima, solo, chuvas, estação do ano) e fatores de processamento (tempo de armazenamento, temperatura, método de preservação e preparação do alimento) (NUTTI et al., 2013).

As proteínas de origem vegetal, quando comparada às fontes de proteína de origem animal são consideradas de qualidade nutricional inferior, isso porque são deficientes nos aminoácidos essenciais sulfurados (metionina e cisteína) e as sementes secas podem conter inibidores de tripsina, de amilase, lectinas ou hemaglutininas (fatores antinutricionais) que reduzem a digestibilidade e, por isso, diminuem a qualidade nutricional das proteínas e carboidratos (PHILLIPS; ADAMS, 1983 citado por SALES et al., 1988). Porém, os fatores antinutricionais encontrados em feijão-caupi, inclusive os de maior relevância, as lectinas e os inibidores de proteases, podem ser destruídos com tratamento térmico (LIENER, 1980; XAVIER-FILHO, 1988).

Devido ao seu alto valor nutritivo, o feijão-caupi representa uma estratégia para melhorar a qualidade nutricional de produtos que fazem parte do hábito de consumo da população, isto porque, tem elevado valor nutricional e pode ser substituído na formulação de alguns produtos, como biscoitos que fazem parte da lista de compras dos brasileiros (FROTA et al., 2010). O feijão-caupi pode chegar a fornecer até 28,68 g de proteína/pessoa/dia (OLIVEIRA; DANTAS, 1988).

Segundo Moreira-Araújo et al. (2006b), o desenvolvimento e enriquecimento de alimentos são de grande importância para a melhoria da alimentação e nutrição da população, podendo-se criar novos produtos ou enriquecer os existentes, melhorando o valor nutricional.

2.5 Biofortificação de produtos agrícolas

O ser humano para ser saudável necessita de mais de 40 nutrientes, especialmente vitaminas e aminoácidos essenciais, que podem ser fornecidos por

uma dieta adequada. A má qualidade nas dietas, caracterizadas pelo baixo consumo de produtos de origem animal, peixe, frutas, legumes e produtos hortícolas causam desnutrição por micronutrientes (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007).

No Brasil a ingestão de alguns elementos como ferro, zinco e cálcio estão abaixo do recomendado ou possuem baixa biodisponibilidade nas dietas. A escassez de ferro e zinco pode ocasionar anemia, redução da capacidade de trabalho, problemas no sistema imunológico e até a morte. A deficiência de cálcio pode ocasionar aumento da incidência de raquitismo, osteomalácia e osteoporose. Em grupos de risco da população a falta desses micronutrientes é um agravante revelando a necessidade de intervenção através da ação conjunta da comunidade científica, industrial e governamental (NUTTI et al., 2013).

No mundo mais de 840 milhões de pessoas não suprem suas necessidades diárias básicas de energia, pois não consomem alimentos em quantidades suficientes. Estima-se que cerca de três bilhões de pessoas possuem deficiência de micronutrientes e sofrem seus agravantes. A maioria das pessoas atingidas são dependentes de alimentos básicos para o seu sustento (NUTTI et al., 2013; WELCH; GRAHAM, 2004).

Deficiências nutricionais respondem por quase dois terços da mortalidade infantil em todo o mundo (WELCH; GRAHAM, 2004). Nos países em desenvolvimento, na década de 90 aproximadamente, 50 a 70% das mortes de crianças foram causadas direta ou indiretamente pela fome e desnutrição (BATISTA FILHO; RISSIN, 1993; BRYCE et al., 2003). A falta de micronutrientes na alimentação, ou a chamada fome oculta, afeta mais da metade da população do mundo especialmente mulheres e crianças em idade pré-escolar em países em desenvolvimento (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007).

Alguns países vêm adotando políticas públicas para diminuir os problemas referentes à deficiência de micronutrientes. Os programas de fortificação de alimentos ou suplementação medicamentosa têm obtido sucesso. Exemplos de medidas iniciadas no Brasil nesse sentido foram a fortificação do sal de cozinha com iodo e a fortificação das farinhas de trigo e milho com ácido fólico. Porém, é possível que alimentos fortificados e a suplementação medicamentosa não alcancem uma grande parte da população necessitada devido às deficiências na infraestrutura de distribuição (NUTTI et al., 2013).

Além disso, temos que considerar no caso da fortificação uma possível alteração na cor ou no sabor do alimento resultando, talvez em menor biodisponibilidade do mineral (COSTA; LIBERATO, 2003). Se tratando do mineral ferro, a suplementação medicamentosa pode causar problemas gastrointestinais, implica em custos adicionais e a necessidade de estímulo para o consumo (OLIVARES; WALTER, 2004).

Pesquisas, entretanto, têm demonstrado que o desenvolvimento de plantas com maiores teores de minerais pode ajudar na dieta humana e dessa forma, algumas culturas podem ser enriquecidas, ou seja, biofortificadas com micronutrientes, através do melhoramento de plantas ou produção de transgênicos (NUTTI et al., 2013; WELCH; GRAHAM, 2004).

A biofortificação é uma estratégia para aumentar o conteúdo de micronutrientes de alimentos básicos por meio do melhoramento genético convencional ou biotecnologia moderna. Possui grande perspectiva para melhorar o estado nutricional e de saúde das populações pobres em áreas rurais e urbanas do mundo em desenvolvimento (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007). Segundo Nutti e Carvalho (2013), pesquisas apontam uma diminuição da desnutrição quando a oferta de alimentos da dieta básica da população passa por uma melhoria nutricional. Cultivos biofortificados de batata-doce, mandioca, abóbora, milho, trigo, arroz, feijão e feijão-caupi são algumas das opções a serem utilizadas para diminuir a má nutrição.

Nos países em desenvolvimento a solução para erradicação da desnutrição é o aumento substancial, por parte da população carente do consumo de carne vermelha, frango, peixe, legumes, frutas e hortaliças. Porém essa iniciativa pode custar bilhões de dólares e demorar várias décadas. A biofortificação, porém, utiliza mecanismos de distribuição já existentes, é cientificamente viável, efetiva em termos de custo e tem como alvo a população mais necessitada. Além disso, complementa outras intervenções em andamento como a fortificação de alimentos e a suplementação medicamentosa (NUTTI et al., 2013; NUTTI, 2013).

Nesse contexto, o Programa Desafio em Biofortificação *HarvestPlus* tem como objetivo melhorar a qualidade nutricional das principais culturas alimentares. O *Harvestplus* é uma iniciativa do Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR), que envolve diversas instituições de pesquisa e entidades

executoras com o objetivo final de contribuir de maneira viável para a diminuição da desnutrição nas camadas mais pobres das populações de países em desenvolvimento. É coordenada pelo International Center for Tropical Agriculture (CIAT) e pelo International Food Policy Research Institute (IFPRI) (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007; NUTTI et al., 2013; NUTTI, 2013).

No Brasil, a biofortificação tem sido realizada por meio de alguns programas como o *HarvestPlus*, o *AgroSalud* e o *BioFORT*, todos sob a coordenação da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Encontra-se em andamento o desenvolvimento de cultivares biofortificadas para as seguintes espécies: mandioca, batata doce e abóbora com maior teor de carotenoides; milho com mais lisina, triptofano e provitamina A; arroz, feijão, trigo e feijão-caupi com teores mais elevados de ferro e zinco; e produtos extrusados e de panificação a partir de farinhas biofortificadas (MELO et al., 2011; NUTTI, 2013).

A biofortificação da mandioca, visando o aumento do teor de carotenoides, foi iniciada em 2001 pela Embrapa Mandioca e Fruticultura. Foram avaliados os acessos do Banco de Germoplasma com relação aos teores de carotenoides totais, apresentando variação de 0,63 a 15 ppm. Em 2009 foi lançado o híbrido BRS Jari com 8,7 ppm de betacaroteno (SANTOS, 2011).

O projeto de biofortificação da Embrapa Arroz e Feijão identificou germoplasma-fontes com teores mais elevados de ferro e zinco em feijão comum, e formou populações para iniciar seleção nas gerações segregantes. Destacaram-se duas cultivares de feijão comum, tipo carioca (BRS Pontal) e tipo mulatinho (BRS Agreste) (PELOSO, 2011).

Os trabalhos de biofortificação com arroz selecionaram inicialmente, duas cultivares tradicionais de arroz, Chorinho e Cateto Seda, entre 194 das mais de 3.600 coletadas nos últimos 30 anos pela EMBRAPA, adequadas ao manejo no nordeste e com teores de Fe e Zn superiores às variedades comumente plantadas. Essas variedades estão em processo final de avaliação local (NEVES et al., 2011).

Para avaliar os trigos brasileiros quanto aos teores de ferro e zinco, foi selecionada uma coleção com 180 genótipos. Os teores de ferro e zinco das amostras indicaram grande variabilidade genética. Destacaram-se as cultivares Trigo de Chapéu, PG 1, Fronteira e Jesuíta para o teor de zinco e IAS 59, PG1, BR 8 e IAC 5-Maringá para o teor de ferro. A partir dos resultados da coleção foi organizado

o Bloco de Cruzamentos para Biofortificação na Embrapa Trigo, sendo produzidas populações F1 e F2 para a introgressão de teores superiores de ferro e zinco em cultivares adaptadas com elevado potencial de rendimento de grãos e boa qualidade panificativa (SCHEEREN et al., 2011).

Em relação aos produtos extrusados, podem ser citados, a produção de farinhas pré-cozidas a partir da farinha mista de batata-doce de polpa alaranjada e milho e de feijão comum com milho (CARVALHO, 2011a).

2.5.1 Biofortificação do feijão-caupi

O feijão-caupi, uma das culturas incorporadas aos programas de biofortificação coordenados pela Embrapa, devido a sua importância em termos de cultivo nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e tratar-se de um alimento básico para a população dessas regiões, está sendo biofortificado para teores mais elevados de ferro e zinco nos grãos.

A Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 54 de 12 de novembro de 2012 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) que aprovou o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar (Declarações de Propriedades Nutricionais), no seu item 5, subitem 5.1, dispõe sobre as condições para declaração técnica sobre informação nutricional complementar de conteúdo absoluto referente a vitaminas e minerais estabelece que os alimentos dessas duas classes podem ser atribuído como “fonte” quando 100 g do produto apresenta mais de 15% da ingestão diária recomendada (IDR) para o nutriente desejado e como “alto teor” quando 100 g do produto apresenta duas vezes a fonte (BRASIL, 2012).

O IDR para o ferro e o zinco são 14 mg dia^{-1} e 15 mg dia^{-1} , respectivamente (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2013). Assim, pode-se assumir que quando 100 g do produto (grão, farinha ou produto derivado, por exemplo, no caso do feijão-caupi) apresentar teores de ferro e zinco, respectivamente, de 21 mg kg^{-1} (15% da IDR) e $22,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (14% da IDR), o alimento pode ser considerado como fonte desses minerais e quando esses teores forem o dobro, ou seja, 42 mg kg^{-1} de ferro e 45 mg kg^{-1} de zinco, o alimento pode ser considerado como possuidor de alto teor desses minerais.

A ANVISA ainda não incluiu na legislação uma norma para alimento biofortificado, que se encontra em processo de discussão e normatização pelo Codex Alimentarius; os programas de biofortificação brasileiros estão implementando teores alvos para cada cultura que está sendo biofortificada. Por enquanto, o padrão de classificação que tem sido usado são os atributos “fonte” e “alto teor” estabelecidos para minerais pela RDC 54 aprovada pela ANVISA.

Freire Filho et al. (2011), estudando oito cultivares de feijão-caupi, encontrou teor de ferro variando de 48,8 a 77,4 mg kg⁻¹ e teor de zinco, de 35,6 a 53,7 mg kg⁻¹. Segundo Rocha et al. (2011b), o programa de biofortificação do feijão-caupi no Brasil, iniciado em 2006 pela Embrapa Meio-Norte já lançou duas cultivares de grãos brancos: BRS Xiquexique (77 mg kg⁻¹ de ferro e 53 mg kg⁻¹ de zinco) e BRS Tumucumaque (60,57 mg kg⁻¹ de ferro e 51,63 mg kg⁻¹ de zinco) e uma cultivar de grãos verdes: BRS Aracê (61,7 mg kg⁻¹ de ferro e 48,6 mg kg⁻¹ de zinco), no período de 2008 e 2009.

Avaliações foram realizadas em 2010 para verificar o potencial de 28 populações F1 e oito populações F3, onde os teores de ferro e zinco variaram, respectivamente, de 64,66 a 102 mg kg⁻¹ e 36 a 55,33 mg kg⁻¹ (CARVALHO, 2011b). Segundo Rocha et al. (2011b), entre 2008 e 2010, cerca de 200 genótipos foram avaliados e 14 genótipos superiores para ferro e zinco validados em ambientes do Maranhão, Piauí, Sergipe e Roraima.

Santos (2013) avaliou híbridos resultantes de seis cruzamentos envolvendo parentais com altos teores de proteína e minerais e alta produtividade e encontrou variação de 36,5 mg kg⁻¹ a 137 mg kg⁻¹ para o teor de ferro e 36,00 mg kg⁻¹ a 58,00 mg kg⁻¹ para o teor de zinco na semente, com média de 68,4 mg kg⁻¹ para o teor de ferro e 46,3 mg kg⁻¹ para o teor de zinco. A média do teor de proteína foi de 28,2%. Esse autor concluiu que é possível a obtenção de cultivares de feijão-caupi, combinando altos valores de minerais e proteína para a dieta humana.

A Rede de Biofortificação inclui, além do aumento dos micronutrientes, avaliação do desempenho agrônomico (boa produtividade no campo, resistência a pragas e doenças), biodisponibilidade dos nutrientes, avaliação sensorial, investigação dos hábitos de consumo e condições socioeconômicas do público alvo, além de testes antropométricos (NUTTI, 2013).

2.6 Estimativas de parâmetros genéticos em feijão-caupi

No momento de tomar as decisões a respeito da escolha do método de melhoramento e do modo de condução e de seleção das populações segregantes, o melhorista utiliza estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos que o auxiliarão nesta escolha. Isto contribuirá para que o melhoramento não seja apenas uma arte, mas também uma ciência que permite aos melhoristas anteverem as possibilidades de sucesso no programa de melhoramento (RAMALHO et al., 1993).

Segundo Vencovsky (1969), citado por Kageyama e Vencovsky (1983), as estimativas dos parâmetros genéticos são utilizadas para: obterem-se informações sobre o tipo de ação dos genes em caracteres quantitativos; orientação sobre o esquema mais adequado de seleção a ser adotado e estimação do progresso esperado na seleção.

Os parâmetros genéticos como coeficiente de variação genético, herdabilidade e correlação entre caracteres são de grande importância, pois através destes podemos: conhecer a variabilidade genética e o grau de transmissão do componente genético na expressão dos caracteres, determinar a existência de relação entre caracteres e a possibilidade de ganho direto ou indireto com a seleção (ROCHA et al., 2003).

2.6.1 Coeficiente de variação genética

O coeficiente de variação genética (CVg), possibilita a comparação da variabilidade existente em diferentes populações, ou dentro da mesma população para diversos caracteres (RAMALHO et al., 2005). Segundo Kageyama e Vencovsky (1983), o coeficiente de variação genética é um parâmetro de extrema importância no entendimento da estrutura genética de uma população, por evidenciar a quantidade de variação existente entre famílias e permitir a obtenção de estimativas de ganhos genéticos.

Andrade et al. (2010) desenvolveram um trabalho com a produção de feijão fresco em 14 genótipos de feijão-caupi de vagem roxa e grãos brancos e constataram que os caracteres produtividade de grãos frescos e produtividade de

vagens frescas foram os que apresentaram as maiores estimativas para CVg, com valores de 31,62% e 30,16%, respectivamente.

Estudando a variabilidade e o potencial genético de 28 linhagens de feijão-caupi, Lopes et al. (2001) verificaram que entre os genótipos e linhagens, na maioria dos caracteres, ocorreu ampla variabilidade genética, tendo sido os caracteres comprimento de vagem, peso de 100 grãos e produtividade de grãos os que apresentaram maior estimativa para o CVg, respectivamente, 23,90%, 17,10% e 11,03%.

Em um estudo realizado por Machado et al. (2008) com 22 genótipos de feijão-caupi precoces, de porte ereto e alta produtividade, observaram que o número de ramos laterais, acamamento e número de nós dos ramos laterais apresentaram maior variabilidade, com CVg, respectivamente de 36,59%, 49,36% e 53,11%.

Matos Filho et al. (2009), avaliando três linhagens e 348 progênies de geração F₃ e F₂RC₁ de feijão-caupi, obtiveram maiores estimativas do coeficiente de variação genético nos caracteres comprimento do ramo principal (46,18%), seguido da produtividade de grãos (26,35%) e do número de vagens por planta (20,14%).

Estudos conduzidos por Andrade (2010) e Rocha et al. (2011a) em linhagens de feijão-caupi, encontraram uma variação para as estimativas do CVg de 6,5% a 10,41% para o teor de ferro e de 8,4% a 9,85% para o teor de zinco.

2.6.2 Herdabilidade

A busca de quantificar a influência dos genes sobre determinada característica levou à determinação da herdabilidade (h^2) (GRIFFITHS et al., 2001). A herdabilidade é um dos parâmetros genéticos que mais contribui para o trabalho do melhorista. Ela fornece a proporção da variância genética presente na variância fenotípica total. Assim, ela mede a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo. Por isso a herdabilidade participa muitas vezes de fórmulas relacionadas com a predição de ganho dos métodos de melhoramento. É de grande utilidade para os melhoristas, pois permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção (RAMALHO et al., 1993; RAMALHO et al., 2008).

É possível estimar dois tipos de herdabilidade: herdabilidade no sentido amplo (h^2_a) que envolve toda a variância genética, ou seja, variância aditiva, variância de

dominância e variância epistática; e herdabilidade no sentido restrito (h^2_r) que considera apenas a variância genética aditiva – aquela que é fixada pela seleção – sendo evidentemente a mais importante para os melhoristas. Desta forma a herdabilidade no sentido restrito é mais importante, pois reflete a proporção da variação total presente que é herdável (RAMALHO et al., 1993; RAMALHO et al., 2008).

As estimativas de herdabilidade variam com: a característica, o método de estimação, a diversidade na população, o nível de endogamia da população, o tamanho da amostra avaliada, o número e tipo de ambientes considerados, a unidade experimental considerada e a precisão na condução do experimento e da coleta de dados (BORÉM, 1998).

Estimativas altas de herdabilidades para o teor de ferro (91%) e teor de zinco (90,7%) foram encontradas por Rocha et al. (2009), avaliando um grupo de genótipos de feijão-caupi em três ambientes.

Andrade (2010) avaliando 24 genótipos de feijão-caupi na fase de grãos verdes obteve altas estimativas de herdabilidades para o teor de ferro (70,47%) e zinco (83,57%) na semente.

Moura et al. (2011) estudando o potencial de 11 populações de feijão-caupi para biofortificação, obteve baixa estimativa de herdabilidade para o teor de zinco (12,11%). Em outro estudo conduzido por Rocha et al. (2011a) em 50 acessos de feijão-caupi foram encontradas estimativas altas para o teor de ferro (97,07%) e teor de zinco (99,08%).

Em análises genéticas para seis minerais em dois cruzamentos de feijão-caupi, Santos et al. (2012) encontraram estimativas baixas de herdabilidade para os teores de cálcio (41,4%); intermediárias para os teores de sódio (49,6%) e zinco (50,8%); e altas para os teores de fósforo (73,7%), potássio (76,8%) e ferro (86%).

2.6.3 Correlações entre caracteres

A correlação reflete o grau de associação entre dois caracteres. Ela possibilita ao melhorista saber como a seleção para um caráter influencia na expressão de outros caracteres, por isso seu conhecimento é importante. Além disso, nos programas de melhoramento, geralmente, busca-se a melhoria de um caráter

principal e também o aprimoramento de outros caracteres da planta (FREIRE FILHO, 1988b). Segundo Ramalho et al. (1993), a correlação é estimada para permitir ao melhorista conhecer as mudanças que ocorrem em um determinado caráter em função da seleção praticada em outro caráter, que é correlacionado com ele. A correlação pode ser estimada em três níveis: genético, ambiental e fenotípico (FREIRE FILHO, 1988b).

A correlação entre caracteres tem duas causas, uma genética e outra ambiental. As causas genéticas são principalmente a pleiotropia e a ligação gênica (FALCONER, 1960) e estas podem ser positivas ou negativas (RAMALHO et al., 1993). Todo gene afeta potencialmente cada caráter do organismo, seja como um efeito primário, seja como um efeito secundário, indireto, conhecido como efeito pleiotrópico. Portanto, os alelos que são favoráveis para um caráter quantitativo podem ter efeitos desfavoráveis em outro caráter, e quando a frequência desses alelos é aumentada por seleção artificial esse mesmos alelos podem ocasionar a deterioração de outro aspecto do desempenho, provocando uma correlação negativa (HARTL; CLARK, 2010). Essa correlação é permanente. No caso da correlação devida à ligação gênica, ela é transitória, e vai se dissipando a medida que ocorre a permuta entre os genes que estão ligados. A correlação nesse caso é tanto maior quanto mais próximos estiverem os genes no cromossomo.

As correlações apresentam grande importância em programas de melhoramento, principalmente quando a seleção de um caráter desejável apresenta dificuldades, isso por se tratar de um caráter de baixa herdabilidade e por apresentar problemas de medição ou identificação. A correlação simples permite avaliar a magnitude e o sentido das relações entre dois caracteres, e por isso tem grande utilidade no melhoramento por permitir a seleção indireta, e em alguns casos pode levar a progressos mais rápidos do que a seleção do caráter desejado (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Segundo Lopes et al. (2001), o aumento da produtividade é conseguido entendendo melhor as correlações entre os componentes morfológicos de produtividade sem esquecer os que se referem à qualidade dos grãos e à resistência a doenças e pragas. Machado et al. (2008) em estudo conduzido em 22 genótipos de feijão-caupi visando identificar genótipos com potencial para precocidade, porte ereto, hábito de crescimento determinado e alta produtividade de grãos verificou

superioridade das correlações genéticas sobre as fenotípicas, e estas, sobre as ambientais, corroborando com vários trabalhos (ANDRADE et al., 2010; APTE et al., 1991; LOPES et al., 2001; MANO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2003; ROCHA et al., 2003).

Benvindo et al. (2010), em avaliação de 20 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado cultivados sob sequeiro verificou valores relativamente baixos para as correlações entre os caracteres estudados: floração inicial, acamamento, comprimento do ramo principal, número de nós no ramo principal, número de ramos laterais e produtividade. Destacou-se, porém, a correlação entre o comprimento do ramo principal e o número de nós no ramo principal (0,99).

Sampaio et al. (2006) estudou 40 linhagens de feijão-caupi avaliando a variabilidade genética, relação entre os componentes de produção e potencial produtivo. Em seu estudo destacou-se a correlação entre o comprimento da haste principal na floração e a produtividade (0,33), assim como os componentes de produção, número de semente por vagem e peso de 100 sementes (-0,40).

A correlação entre a produção e seus componentes são muito estudadas, no entanto, estimativas de correlações entre a produção e caracteres nutricionais são raros.

Correlações entre os teores de ferro e zinco foram estimadas por Rocha et al. (2009), avaliando um grupo de genótipos de feijão-caupi em três ambientes. Esses autores encontraram correlações baixas entre o teor de ferro e o teor de zinco (0,25).

Andrade (2010) estimando as correlações entre caracteres agrônômicos, nutricionais e culinários de grãos verdes em 24 genótipos de feijão-caupi obteve as estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais. Em seu estudo destacou-se a correlação entre produtividade de grãos verdes e produtividade de vagens verdes (0,93). As correlações entre o teor de ferro e zinco foram não significativas. O teor de zinco, porém, apresentou correlação positiva e significativa com o teor de proteína bruta (0,43) e o peso de 100 grãos (0,45).

Correlações entre os teores de ferro, zinco e proteína foram estimadas por Rocha et al. (2011a), avaliando um grupo de 50 acessos de feijão-caupi. Esses autores encontraram correlações baixas entre o teor de ferro e o teor de zinco (0,33) e entre o teor de ferro e o teor de proteína (0,41).

Santos (2013) estimou as correlações entre minerais, proteína e produção de grãos em seis cruzamentos de feijão-caupi e obteve correlação média (0,46) positiva e significativa entre o teor de ferro e a produção e ausência de correlação entre o teor de ferro e o teor de zinco.

2.6.4 Ganho genético

O ganho ou progresso de seleção é definido como a diferença entre a média fenotípica de um caráter em uma população melhorada e a média fenotípica da população de origem, anterior a seleção (PINTO, 1995). A possibilidade de o melhorista estimar o progresso esperado com a seleção antes mesmo que ela seja realizada é, sem dúvida, uma das principais contribuições da genética quantitativa (RAMALHO et al., 1993).

Segundo Freire Filho (1988b) o progresso genético, ou o quanto se pode aumentar ou diminuir na expressão de um caráter quantitativo é o ponto de maior relevância de um programa de melhoramento. O progresso ou ganho vai depender da pressão de seleção juntamente com o grau de exigência do melhorista. Fortes pressões de seleção conduzem a ganhos elevados, porém pouco duradouros. Entretanto, seleção branda tende a ser mais duradoura e com menor progresso (PINTO, 1995).

Um dos primeiros trabalhos que estimaram o progresso genético em feijão-caupi foi realizado por Singh e Mehndiratta (1969), citado por Freire Filho (1988b). Nesse trabalho foram estudados vários caracteres e foram obtidos progressos genéticos que variaram de 10,05% a 51,16% para os caracteres dias para a maturação e peso de 100 grãos, respectivamente. Outros trabalhos que se seguiram a esse revelam preocupação dos autores predominantemente com a produção de grãos e os componentes de produção.

Freire Filho (1988b) em estudo das estimativas do progresso genético obtido em feijão-caupi para alguns caracteres apresenta estimativas para a produção de grãos por planta variando desde 10,0% até 67,6%; para o número de vagens por planta de 13,0% até 46,9%; para o número de grãos por vagem de 1,1% até 26,2%; e para peso de 100 grãos de 6,1% até 51,9%. Esses valores revelam que há

grandes possibilidades para elevar a produção em feijão-caupi via melhoramento genético.

Lopes et al. (2001) utilizando uma pressão de seleção de 20% em feijão-caupi, obteve valores de ganho genético inferiores a 5% para a maioria dos caracteres, mostrando que os ganhos com seleção foram lentos. Porém, em caracteres como comprimento da vagem, peso de 100 grãos e produtividade de grãos, os ganhos com seleção, foram, respectivamente, de 13,40%, 21,73% e 19,77%, evidenciando que neste grupo de linhagens, através da seleção, pode-se obter uma considerável melhoria na expressão destes caracteres.

O ganho genético obtido no período de 1990 a 2001 no programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte na região Meio-Norte de Brasil foi estimado por Freire Filho et al. (2001a,b) nos grupos de porte semiereto e enramador. O ganho genético total obtido no período foi de 106,5 kg ha⁻¹ para os genótipos de porte enramador e 202,2 kg ha⁻¹ para os genótipos de porte semiereto, correspondendo, respectivamente, 12% e 25,3%.

Passos et al. (2011) em estudo para quantificar o progresso genético para o rendimento de grãos em 20 genótipos de feijão-caupi do tipo ereto, verificou ganho genético, correspondendo a um aumento de 5,32% no rendimento de grãos em 2003. No ano de 2004, o ganho foi muito superior correspondendo a um incremento de 73,85% de ganho para o mesmo caráter. O ganho de seleção considerou 30% de pressão nos indivíduos avaliados no ano de 2003 e 2004.

Freire Filho et al (2013) em levantamento do progresso genético alcançado com o melhoramento do feijão-caupi realizado na Universidade Federal do Ceará durante o período de 1963 a 1988, verificou ganhos genéticos de produtividade em 10 ciclos de seleção de 5,59% e de 5,32% para os tratamentos padrão e para os três melhores tratamentos padrão, respectivamente.

2.7 Genética do teor de ferro no grão de feijões

A magnitude e a natureza dos efeitos gênicos que controlam um determinado caráter são de grande importância no processo de seleção e predição do comportamento de gerações segregantes e híbridas (CRUZ et al., 2004). Nas sementes de feijão, a genética do teor de ferro não é conhecida e há dúvidas se

essa característica é dependente do tegumento que é tecido materno e/ou dos cotilédones que são produtos da fecundação (RAMALHO et al., 2000). A ocorrência do efeito materno na expressão do teor de ferro em feijão determinará em sementes F1, F2, F3 e demais gerações, a ocorrência de gerações diferentes entre o tegumento e o embrião (cotilédones e eixo embrionário). Quando isso é constatado, o fenótipo do descendente será dependente do genótipo materno (JOST et al., 2009).

Estudando populações segregantes resultantes de linhagens contrastantes para o teor de ferro em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), Jost et al. (2009) constataram a existência de efeito materno na expressão desse caráter. Segundo Ribeiro (2010), o efeito materno observado na expressão do teor de ferro em sementes de feijão tem implicações na seleção como também na condução das populações segregantes obtidas por programas de melhoramento. A seleção de sementes F2 torna-se inteiramente ineficaz, pelo fato dos fenótipos destas sementes representarem a expressão do genótipo da planta F1. O genótipo de cada semente F2 irá se expressar, portanto, apenas nas sementes produzidas por sua progênie. Assim, o êxito da seleção só ocorrerá quando se proceder a seleção na geração F3 (RAMALHO et al., 2000).

Carvalho (2011b), estudando cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para os teores de ferro e zinco em feijão-caupi, verificou maior importância dos efeitos aditivos do que os não-aditivos no controle desses caracteres nos genótipos estudados. Segundo esse autor, a presença de efeitos aditivos é vantajosa do ponto de vista da seleção, pois estes são fixados com a seleção com as gerações de endogamia.

Um estudo conduzido por Moura et al. (2011) avaliando as gerações F1 e seus recíprocos resultantes de três cruzamentos entre genótipos com altos teores de ferro e zinco nas sementes, verificaram para a maioria dos cruzamentos efeito materno controlando a expressão dos teores de ferro e zinco em feijão-caupi.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Foram realizados dois cruzamentos envolvendo quatro genótipos parentais de feijão-caupi no ano de 2011. O cruzamento 1 envolveu os genótipos BRS Xiquexique (P1), cultivar com alto teor de ferro e zinco e BR 17-Gurguéia (P2), cultivar com alta produtividade de grãos e resistência a vírus, ambos provenientes do Programa de Melhoramento da Embrapa Meio-Norte. O cruzamento 2 foi realizado entre os genótipos IT-98K-205-8 (P1), linhagem com alto teor de zinco, proveniente do International Institute of Tropical Agriculture (IITA) e EVx-63-10E (P2), linhagem com alta produtividade de grãos, desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1 – Origem e cor dos grãos dos genótipos parentais utilizados nos cruzamentos 1 e 2. Teresina, PI, 2011.

Cruzamento	Símbolo	Parental	Origem	Cor do grão
1	P1	BRS Xiquexique	Brasil	Branco
	P2	BR 17-Gurguéia	Brasil	Marrom claro
2	P1	IT-98K-205-8	Nigéria	Branco
	P2	Evx-63-10E	Brasil	Marrom claro



Figura 1 – Parentais utilizados nos cruzamentos: a) BRS Xiquexique; b) BR 17-Gurguéia; c) IT98K-205-8; d) Evx-63-10E.

As simbologias e significados das populações avaliadas nos cruzamentos 1 e 2 são apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Simbologia e significados das populações de feijão-caupi avaliadas no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia. Teresina, PI, 2011/2012.

Símbolo	Significado
P1	BRS Xiquexique
P2	BR 17-Gurguéia
F1 ₁₂	Geração F1 proveniente do cruzamento P1 (BRS Xiquexique) x P2 (BR 17-Gurguéia)
F1 ₂₁	Geração F1 proveniente do cruzamento P2 (BR 17-Gurguéia) x P1 (BRS Xiquexique)
F2 ₁₂	Geração F2 proveniente da autofecundação de F1 ₁₂
F2 ₂₁	Geração F2 proveniente da autofecundação de F1 ₂₁
F3 ₁₂	Geração F3 proveniente da autofecundação de F2 ₁₂
F3 ₂₁	Geração F3 proveniente da autofecundação de F2 ₂₁

Tabela 3 - Simbologia e significados das populações de feijão-caupi avaliadas no cruzamento IT-98K-205-8 x Evx-63-10E. Teresina, PI, 2011/2012.

Símbolo	Significado
P1	IT-98K-205-8
P2	Evx-63-10E
F1 ₁₂	Geração F1 proveniente do cruzamento P1 (IT-98K-205-8) x P2 (Evx-63-10E)
F1 ₂₁	Geração F1 proveniente do cruzamento P2 (Evx-63-10E) x P1 (IT-98K-205-8)
F2 ₁₂	Geração F2 proveniente da autofecundação de F1 ₁₂ (P1xP2)
F2 ₂₁	Geração F2 proveniente da autofecundação de F1 ₂₁ (P2xP1)

3.2 Metodologia experimental

Todas as etapas da pesquisa foram conduzidas no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, no município de Teresina, PI, situado na latitude de 05° 05' S, longitude de 42° 48' W Gr e a 72 m de altitude.

3.2.1 Cruzamentos e obtenção das gerações F1 e F2

Os cruzamentos e a obtenção das gerações F1 e F2 foram realizados em condições de telado (Figura 2) no primeiro e segundo semestre de 2011.



Figura 2 – Parentais (à esquerda) e obtenção das gerações F1 e F2 (à direita) em condições de telado. Teresina, PI, 2011.

Para obtenção da geração F1, utilizou-se a técnica de cruzamento em que a coleta de pólen do parental masculino é realizada pela manhã e a emasculação do botão floral do parental feminino e as polinizações, no período da tarde, segundo Rêgo et al. (2006) (Figura 3).



Figura 3 – Realização de cruzamentos em telado. Teresina, PI, 2011.

Durante a realização dos cruzamentos e obtenção das gerações segregantes, utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional, com duração de duas horas e turno de rega de cinco dias. Antes de cada plantio, aplicou-se fungicida no solo, a base de metalaxil-m e mancozebe, para a prevenção de fungos, e herbicida, a base de glifosato para o controle de ervas daninhas.

3.2.2 Experimentos em condições de campo e obtenção da geração F3

Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo, com materiais do cruzamento 1 e do cruzamento 2 (Figura 4), onde foram avaliados, na geração da planta, os caracteres agrônômicos nas populações P1, P2, F1₁₂, F1₂₁, F2₁₂ e F2₂₁ e, após a colheita, na geração da semente, o caráter o teor de ferro nas populações P1, P2, F2₁₂, F2₂₁, F3₁₂ e F3₂₁ (Tabelas 2 e 3).



Figura 4 - Experimentos em condições de campo.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados, com três repetições e seis tratamentos para cada cruzamento. A parcela experimental teve dimensões diferenciadas para os tratamentos em virtude da disponibilidade de sementes. A área da parcela dos parentais (P1 e P2) teve as dimensões de 2,0 m x 5,0 m, sendo representada por 20 plantas; a parcela das gerações F1₁₂ e F1₂₁ (planta) ou F2₁₂ e F2₂₁ (semente) tiveram dimensões de 1,0 m x 5,0 m, sendo representadas por 10 plantas cada; e a parcela da geração F2₁₂ e F2₂₁ (planta) ou F3₁₂ e F3₂₁ (semente) tiveram dimensões de 8,0 m x 5,0 m, sendo representadas por 80 plantas cada. Adotou-se o espaçamento de 1,0 m entre fileiras e de 0,50 m entre covas dentro da fileira, o que resultou em 10 covas por fileira.

Foi realizada análise do solo visando fornecer informações que auxiliem na discussão dos resultados (Anexo 1).

O preparo da área consistiu de aração, seguida de uma gradagem. O solo da área experimental é um Argissolo Amarelo de textura franco-arenosa. O plantio ocorreu dia 27 de junho de 2012, colocando-se quatro sementes por cova para os parentais e geração F2 e duas sementes por cova para a geração F1 (Figura 5). Realizou-se o desbaste 15 dias depois, deixando-se uma planta por cova.



Figura 5 – Plantio dos tratamentos. Teresina, PI, 2012.

Para o controle de doenças fúngicas aplicou-se o fungicida à base de metalaxil-m e mancozebe, antes do plantio. Para o controle de plantas daninhas, utilizou-se o herbicida pós-emergente a base de glifosato e herbicida pré-emergente a base de s-metalacloro, após a sementeira.

Foram realizadas duas capinas manuais, nos dias 18 de julho e 19 de agosto. O método de irrigação utilizado foi 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.

Foram realizadas duas colheitas, a primeira nos dias 4 e 5 de setembro e a segunda no dia 12 de setembro.

3.3 Caracteres avaliados

3.3.1 Caracteres agronômicos

Os caracteres agronômicos foram avaliados individualmente para cada planta do experimento, com exceção dos caracteres tipo de porte, acamamento e valor de cultivo, avaliados por média da parcela. Os caracteres avaliados foram os seguintes:

1. Número de dias para o início da floração (NDIF): número de dias transcorridos da sementeira ao surgimento da primeira flor na planta;
2. Número de dias para maturação (NDM): número de dias transcorridos da sementeira ao aparecimento da primeira vagem madura;
3. Tipo de porte (TP): obtido em escala de notas, de acordo com os aspectos visuais da planta: 1) porte ereto, 2) porte semiereto, 3) porte semiprostrado, 4) porte prostrado. Os dados referentes a esses caracteres foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$;
4. Acamamento (ACAM): obtido em escala de notas, de acordo com os aspectos visuais da planta: 1) nenhuma planta acamada, 2) 1 a 5% das plantas acamadas, 3) 6 a 10% das plantas acamadas, 4) 11 a 20% das plantas acamadas, 5) acima de 20% das plantas acamadas. Os dados referentes a esses caracteres foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$;
5. Valor de cultivo (VC): obtido em escala de notas, de acordo com os aspectos visuais da planta: 1) planta sem características adequadas ao cultivo comercial, 2) planta com poucas características adequadas ao cultivo comercial, 3) planta com a maioria das características adequadas ao cultivo comercial, 4) planta com todas as características adequadas ao cultivo comercial, 5) planta com excelentes características para o cultivo comercial. Os dados referentes a esses caracteres foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$;
6. Reação a vírus (RV): obtido em escala de notas, de acordo com os aspectos visuais da planta: 1) ausência de virose, 3) leve presença de virose, 5) moderada presença de virose, 7) severa presença de virose, 9) presença muito severa de virose. Os dados referentes a esses caracteres foram transformados para $\sqrt{x+0,5}$;
7. Número de vagens por planta (NVP): número de vagens produzidas em cada planta individualmente;

8. Comprimento da vagem (COMPV): comprimento de uma vagem representativa da planta;
9. Peso da vagem (PV): peso de uma vagem representativa da planta;
10. Número de grãos por vagem (NGV): número de grãos produzidos em uma vagem representativa da planta;
11. Peso de grãos por vagem (PGV): peso dos grãos de uma vagem representativa da planta;
12. Peso de 100 grãos (P100G): peso de 100 grãos selecionados ao acaso de uma planta;
13. Índice de grãos (IG): obtido através da fórmula $PGV/PV \times 100$;
14. Produção por planta (PP): medida em gramas da produção individual de cada planta.

Os caracteres PGV e PV foram utilizados somente para o cálculo do IG, dessa forma, não constam nas análises realizadas.

3.3.2 Teor de ferro

O caráter teor de ferro (TFe) foi avaliado somente no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia, pelo fato deste ter envolvido um dos parentais com alto teor de ferro no grão (BRS Xiquexique). As sementes dos parentais P1 e P2 e das populações segregantes F2₁₂, F2₂₁, F3₁₂ e F3₂₁ foram analisadas para o TFe no Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI. Inicialmente, separou-se uma amostra com 10 g de semente de cada uma das plantas de todas as populações. Após a separação, as amostras foram lavadas com água destilada, para evitar a contaminação por partículas de solo que porventura estivessem aderidas às sementes, e depois foram secadas em estufa a 65°C por 48 horas. Posteriormente cada amostra foi triturada em moinho de bolas de zircônio (Retsh MM200), para obtenção da farinha (Figura 6).

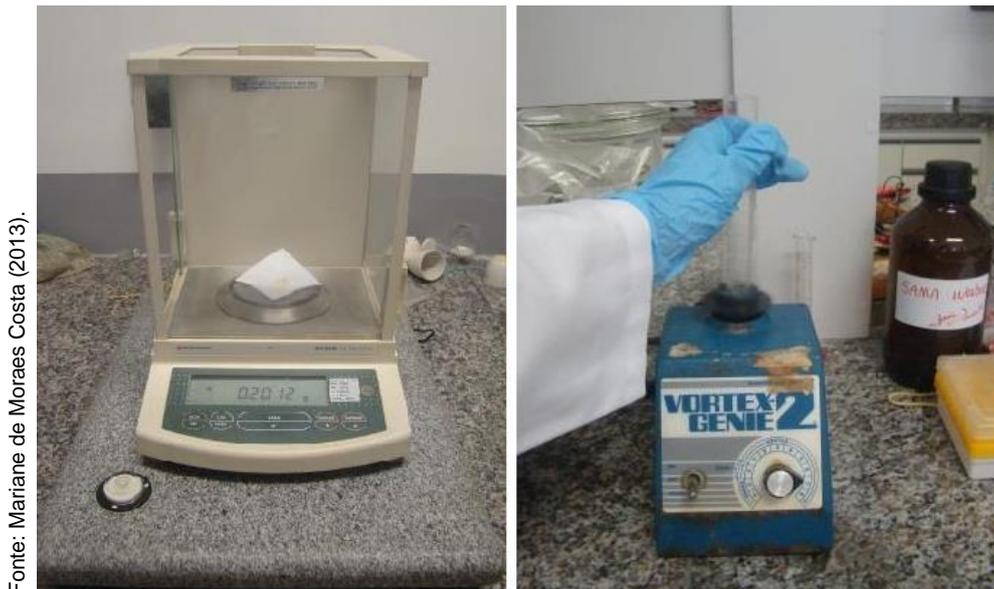


Fonte: Mariane de Moraes Costa (2013).

Figura 6 – Moinho de bolas de zircônio, à esquerda. Amostras moídas em moinho, à direita. Teresina, PI, 2012.

Após a obtenção da farinha, pesou-se 0,2 g de cada amostra e estas foram transferidas para o tubo de digestão, onde foi adicionado 5 ml da solução nítrica-perclórica na proporção de 2:1. As amostras foram submetidas a uma digestão em bloco aquecedor por aproximadamente 2 horas, elevando gradualmente a temperatura de 100°C a 200°C. Após a digestão foi adicionado água destilada aos tubos até obter volume final de 20 ml. Por fim, as amostras foram homogeneizadas em agitador apropriado (SILVA, 1981) (Figura 7).

A leitura para o TFe foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme Sarruge e Haag (1974). Utilizou-se uma curva de calibração de 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 mg/100g.



Fonte: Mariane de Moraes Costa (2013).

Figura 7 – Pesagem das amostras (à esquerda) e homogeneização em agitador (à direita). Teresina, PI, 2013.

3.4 Análises estatístico-genéticas

Os dados dos caracteres agrônômicos das populações avaliadas para os dois cruzamentos e do teor de ferro para o cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia foram analisados, considerando-se fixo o efeito de tratamentos. Adotou-se o modelo de acordo com a eq. (1):

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_j + P_{k(i)} + E_{ijk} \quad (1)$$

Onde:

Y_{ijk} : efeito da k-ésima planta, do i-ésimo genótipo, no j-ésimo bloco;

M: média geral;

G_i : efeito da i-ésimo genótipo, com $i = 1, 2, \dots, g$;

B_j : efeito do j-ésimo bloco, com $j = 1, 2, \dots, r$;

$P_{K(i)}$: efeito da k-ésima planta dentro do i-ésimo genótipo, com $k = 1, 2, \dots, p$ e $i = 1, 2, \dots, g$;

E_{ijk} : erro experimental médio.

As médias das populações foram agrupadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$ e $P < 0,01$).

Foram estimados para todos os caracteres, exceto número de grãos por vagem, os seguintes parâmetros genéticos: coeficiente de variação genética (CVg), herdabilidade no sentido amplo (h^2_a), herdabilidade no sentido restrito (h^2_r), as relações entre os coeficientes de variação genética entre populações e de variação experimental (CVge/CV), variação genética dentro de populações e de variação experimental (CVgd/CV) e as correlações fenotípicas entre caracteres. Adicionalmente, para o teor de ferro, estimou-se o ganho esperado com a seleção na geração F3.

O coeficiente de variação genético (CVg) foi estimado segundo a equação (2):

$$CVg (\%) = \frac{100\sqrt{\sigma_g^2}}{m} \quad (2)$$

Em que:

σ_g^2 : variância genotípica;

m: média geral do caráter.

O CVge e CVgd foram estimados, respectivamente, com base nas variâncias genéticas entre e dentro de populações.

O CV foi obtido por meio da seguinte equação (3)

$$CV = \frac{\sqrt{\sigma}}{m} 100$$

em que:

σ : desvio padrão da média do caráter;

m: média geral do caráter.

A herdabilidade no sentido amplo (h^2_a) foi estimada por meio da equação (4):

$$h^2_a = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2} 100 \quad (4)$$

em que:

σ_g^2 : variância genotípica;

σ_f^2 : variância fenotípica.

A herdabilidade no sentido restrito (h^2_r) foi estimada por meio da equação (5):

$$h^2_r = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_f^2} 100 \quad (5)$$

em que:

σ_a^2 : variância aditiva;

σ_f^2 : variância fenotípica.

O progresso genético ou ganho de seleção (ΔG) foi estimado por meio da equação (6):

$$\Delta G = h^2_a \cdot ds \quad (6)$$

em que:

h^2_a : herdabilidade no sentido amplo;

ds: diferencial de seleção, estimado pela diferença entre a média da população original e a média da população selecionada.

O coeficiente de correlação fenotípico (r_F) entre caracteres foi estimado conforme a equação (7):

$$r_F = \frac{\hat{\text{Cov}}_F(x,y)}{\sqrt{\hat{V}}_F(x) \hat{V}}_F(y)} \quad (7)$$

em que:

$\hat{\text{Cov}}_F(x,y)$: produto médio de genótipos para os caracteres x e y;

$\hat{V}_F(x)$, $\hat{V}_F(y)$: quadrados médios de genótipos para os caracteres x e y, respectivamente.

As análises foram realizadas por meio dos programas computacionais SAS (SAS INSTITUTE, 1999) e GENES (CRUZ, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracteres agronômicos

4.1.1 Análises de variância

O resumo da análise de variância para os caracteres agronômicos do cruzamento 1 (Tabela 4), apontou diferenças significativas ($P < 0,05$ e $P < 0,01$) para todos os caracteres avaliados, indicando a existência de variação entre as populações avaliadas e a possibilidade de sucesso com a seleção para esses caracteres. Ao nível de plantas, houve diferenças significativas apenas para os caracteres RV ($P < 0,01$), NVP ($P < 0,05$) e IG ($P < 0,05$), indicando que para esses caracteres há possibilidade de seleção dentro de populações. Os coeficientes de variação experimental (CV%) apresentaram valores inferiores a 10% e entre 10-21% para os caracteres NDIF, NDM, TP, ACAM, VC, COMPV, NGV, P100G, IG e RV. Conforme Pimentel Gomes (2009), podemos classificar os valores dos CV's dos caracteres citados entre baixos e médios, indicando boa precisão experimental. Os caracteres NVP (38,55%) e PP (39,77%) apresentaram valores muito altos. Segundo Ramalho et al. (2000), o caráter produção de grãos é muito influenciado pelas condições ambientais, o que explicaria o alto CV. Essas estimativas corroboram com as obtidas por Lopes et al. (2001) para PP e com as de Sampaio et al. (2006) para NVP e PP.

O resumo da análise de variância para o cruzamento 2 (Tabela 5), mostrou diferenças significativas ($P < 0,01$) para todos os caracteres nas populações avaliadas, exceto para RV, indicando a existência de variabilidade genética, condição essencial para que se realize seleção e o melhoramento genético desses caracteres. Ao nível de plantas, observou-se efeito significativo ($P < 0,01$ ou $P < 0,05$) para os caracteres NVP, COMPV, NGV, P100G, IG e PP, mostrando que nesse cruzamento, comparado ao cruzamento 1, há mais variabilidade dentro das populações, conseqüentemente, pode-se explorar mais a seleção dentro de populações. A precisão dos resultados medidos pelo CV (Tabela 5) mostraram valores inferiores a 10% e entre 10-20% para os caracteres NDIF, NDM, TP, ACAM, VC, RV, COMPV, P100G e IG, com boa precisão experimental. Os caracteres NVP (39,99) e PP (47,32) apresentaram-se muito altos e NGV (28,47) alto, conforme Pimentel Gomes (2009). Silva (2011) também obteve alto CV para o caráter NVP.

Tabela 4 - Resumo das análises de variâncias e coeficiente de variação para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidos a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.

FV	GL	Quadrado médio											
		NDIF (dias)	NDM (dias)	TP ⁽¹⁾ (nota)	ACAM ⁽²⁾ (nota)	VC ⁽²⁾ (nota)	RV ⁽³⁾ (nota)	NVP (unid.)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PP (g)
Blocos	2	144,07	928,91	0,28	2,51	0,83	0,79	1424,07	26,96	31,57	3,15	158,61	8277,28
Populações (P)	5	36,97 ^{**}	23,46 ^{**}	1,68 ^{**}	3,87 ^{**}	0,61 ^{**}	0,16 [*]	1935,91 ^{**}	54,71 ^{**}	15,27 [*]	60,32 ^{**}	174,21 ^{**}	12400,35 ^{**}
Plantas/P	214	9,11 ^{ns}	7,38 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,10 ^{**}	240,33 [*]	3,72 ^{ns}	6,04 ^{ns}	8,49 ^{ns}	25,77 [*]	799,24 ^{ns}
Resíduo	438	8,2	6,21	0,01	0,02	0,01	0,07	190,24	3,15	6,42	8,23	20,81	694,50
CV (%)	-	6,57	4,13	7,64	7,72	6,12	20,43	38,55	9,28	16,98	18,32	5,81	39,17

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

^{ns} Não significativo;

⁽¹⁾ Escala de notas variando de 1 a 4, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽²⁾ Escala de notas variando de 1 a 5, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽³⁾ Escala de notas (1, 3, 5, 7 e 9) com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

Tabela 5 – Resumo das análises de variância e coeficiente de variação para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidos a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E). Teresina, PI, 2013.

FV	GL	Quadrado médio											
		NDIF (dias)	NDM (dias)	TP ⁽¹⁾ (nota)	ACAM ⁽²⁾ (nota)	VC ⁽²⁾ (nota)	RV ⁽³⁾ (nota)	NVP (unid.)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PP (g)
Blocos	2	79,74	56,62	2,91	2,72	0,96	0,17	1514,18	41,15	33,10	14,95	23,27	6041,55
Populações(P)	5	44,03**	33,25**	1,36**	2,00**	0,46**	0,02 ^{ns}	1231,93**	162,23**	98,53**	201,79**	267,35**	6172,73**
Plantas/P	214	9,31 ^{ns}	6,81 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}	185,59**	4,56*	11,34*	13,06**	51,06*	659,40**
Resíduo	438	9,57	15,64	0,02	0,03	0,01	0,05	103,44	3,64	8,86	8,76	40,56	309,07
CV (%)	-	7,10	4,28	9,59	11,90	6,96	18,94	39,99	11,68	28,47	16,02	8,12	47,32

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

^{ns} Não significativo;

⁽¹⁾ Escala de notas variando de 1 a 4, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽²⁾ Escala de notas variando de 1 a 5, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽³⁾ Escala de notas (1, 3, 5, 7 e 9) com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

4.1.2 Análises de médias

As médias das populações para todos os caracteres agronômicos avaliados no cruzamento 1 são apresentadas na Tabela 6. O caráter NDIF obteve média geral de 43,57 dias. Não houve diferenças significativas entre médias de populações para esse caráter. Benvindo et al. (2010), Machado et al. (2008) e Matos Filho et al. (2009) obtiveram médias menores para o número de dias para início de floração.

O NDM não apresentou diferenças significativas entre médias de populações. Esse caráter apresentou média geral de 60,27 dias, sendo inferior à obtida por Correa et al. (2012), mas superior à encontrada por Machado et al. (2008), que obtiveram médias de 70,29 dias e 51,2 dias, respectivamente.

Os caracteres TP, ACAM, VC e RV apresentaram médias gerais de 1,77, 1,96, 1,64 e 1,33, respectivamente. Nestes caracteres, porém, não houve diferenças significativas entre médias de populações.

O caráter NVP apresentou médias variando de 32,78 (P2) a 47,73 (F1₂₁). As populações F1₁₂ e F1₂₁ foram superiores às demais, com as maiores médias. Estas foram maiores do que aquelas obtidas no estudo de Matos Filho et al. (2009) e Silva (2011), que encontraram médias de 10,51 e 15,14, respectivamente, para esse caráter.

Os caracteres COMPV e NGV apresentaram médias 19,12 cm e 14,92, respectivamente. Esses caracteres não apresentaram diferenças significativas entre médias de populações. Silva e Neves (2011) encontraram valores semelhantes para o COMPV (19,68 cm) e o NGV (14,26).

O P100G variou de 13,69 g (P2) a 16,47 g (P1), com média geral de 15,65 g. Essa média foi superior à encontrada no estudo de Lopes et al. (2001). Todas as populações apresentaram comportamentos similares, exceto a população P2, que apresentou a menor média.

O caráter IG obteve médias variando de 76,02% (P2) a 81,23% (P1), com média geral de 78,51%. Essa média é maior do que a obtida por Andrade (2010). A população P1 (81,23%) apresentou a maior média e não diferiu significativamente de F1₁₂ (78,99%) e F1₂₁ (78,91%).

A produção por planta variou de 59,92 g (P2) a 95,7 g (F1₂₁), com média 78,51 g. Destacaram-se para esse caráter as populações F1₁₂ (93,91 g) e F1₂₁

(95,17 g), que apresentaram as maiores médias e diferiram das demais, exceto de P1 (77,13 g).

As médias das populações para todos os caracteres agrônômicos avaliados no cruzamento 2 são apresentadas na Tabela 7.

Os caracteres NDIF e NDM apresentaram média de 43,54 dias e 61,76 dias, respectivamente. Porém, não houve diferenças significativas entre médias de populações. Benvindo (2010) avaliou o NDIF e obteve média (40,4 dias) inferior à obtida neste trabalho.

Os caracteres TP, ACAM, VC e RV apresentaram média geral de 1,57, 1,60, 1,65 e 1,28, respectivamente. Não houve diferenças significativas entre médias de populações para esses caracteres.

O NVP apresentou médias variando de 21,9 (P2) a 32,17 (F1₁₂). As populações P1 e F1 e seu recíproco foram superiores às demais populações, com as maiores médias para esse caráter. A média geral do caráter foi 25,43, sendo esta superior à média obtida no estudo de Matos Filho et al. (2009), com genótipos de porte ereto.

Os caracteres COMPV e P100G apresentaram média geral de 16,34 e 18,47, respectivamente. Não foram encontradas diferenças significativas entre as populações para esses caracteres. Lopes et al. (2001) encontraram média maior para COMPV (17,09) e menor para P100G (12,84).

Para o NGV, as médias variaram de 9,94 (F2₁₂) a 13,0 (P2). A população P2 (13,00) destacou-se para esse caráter apresentando a maior média e diferindo das demais, exceto de F1₁₂ (10,73) e F1₂₁ (11,11). A média geral do NGV foi 10,45, sendo esta, inferior à obtida por Andrade (2010), que encontrou média de 14,02 para esse caráter.

O caráter IG variou de 75,45% a 81,59%. A população F1₁₂ (81,59%) apresentou a maior média e diferiu das demais populações, exceto P2 (80,43%). A média geral do IG foi de 78,34%. Silva e Neves (2011) encontraram IG de 75,2%, valor mais baixo que o encontrado no presente estudo.

O caráter PP variou de 29,50 g (P1) a 50,93 g (F1₂₁). A população F1₂₁ (50,93 g) apresentou a maior média, e não diferiu estatisticamente das demais, exceto F2₁₂ (30,87 g) e P1 (29,50 g). A média geral do caráter foi de 37,14 g.

Tabela 6 – Médias dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta, obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.

População	NDIF (dias)	NDM (dias)	TP ⁽¹⁾ (nota)	ACAM ⁽²⁾ (nota)	VC ⁽²⁾ (nota)	RV ⁽³⁾ (nota)	NVP (unid.)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PP (g)
P1	43,30 a	61,48 a	1,87 a	1,87 a	1,58 a	1,39 a	36,25 b	20,21 a	15,32 a	16,47 a	81,23 a	77,13 ab
P2	44,37 a	60,02 a	1,56 a	1,77 a	1,68 a	1,24 a	32,78 c	17,92 a	15,25 a	13,69 b	76,02 c	59,92 b
F1 ₁₂	42,60 a	60,20 a	1,87 a	1,86 a	1,87 a	1,33 a	46,37 a	20,50 a	15,67 a	16,22 a	78,99 ab	93,91 a
F1 ₂₁	42,20 a	59,87 a	1,87 a	1,68 a	1,68 a	1,38 a	47,73 a	20,33 a	15,83 a	15,69 ab	78,91 ab	95,17 a
F2 ₁₂	43,33 a	60,00 a	1,68 a	2,19 a	1,58 a	1,34 a	36,05 b	19,08 a	14,66 a	15,93 ab	78,71 b	65,36 b
F2 ₂₁	44,00 a	60,36 a	1,87 a	1,87 a	1,68 a	1,34 a	33,31 c	18,87 a	14,81 a	15,59 ab	78,14 bc	61,72 b
Média geral	43,57	60,27	1,77	1,96	1,64	1,33	35,77	19,12	14,92	15,65	78,51	78,51

⁽¹⁾ Escala de notas variando de 1 a 4, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽²⁾ Escala de notas variando de 1 a 5, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽³⁾ Escala de notas (1, 3, 5, 7 e 9) com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 7 – Médias dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E). Teresina, PI, 2013.

População	NDIF (dias)	NDM (dias)	TP ⁽¹⁾ (nota)	ACAM ⁽²⁾ (nota)	VC ⁽²⁾ (nota)	RV ⁽³⁾ (nota)	NVP (unid.)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PP (g)
P1	42,95 a	61,65 a	1,47 a	1,47 a	1,67 a	1,26 a	30,63 a	15,67 a	10,10 b	15,50 a	75,45 d	29,50 c
P2	43,30 a	60,72 a	1,67 a	1,81 a	1,68 a	1,29 a	21,90 c	19,07 a	13,00 a	20,24 a	80,43 ab	47,64 ab
F1 ₁₂	42,77 a	60,67 a	1,59 a	1,22 a	1,77 a	1,27 a	32,17 a	17,99 a	10,73 ab	19,17 a	81,59 a	49,07 a
F1 ₂₁	41,60 a	60,83 a	1,58 a	1,44 a	1,77 a	1,25 a	30,67 a	18,46 a	11,11 ab	19,76 a	78,16 bc	50,93 a
F2 ₁₂	44,60 a	61,99 a	1,68 a	1,68 a	1,58 a	1,28 a	22,92 c	15,72 a	9,94 b	17,81 a	77,54 cd	30,87 bc
F2 ₂₁	43,59 a	62,09 a	1,46 a	1,59 a	1,68 a	1,30 a	26,03 b	16,00 a	10,27 b	19,18 a	78,98 bc	39,49 abc
Média geral	43,54	61,76	1,57	1,60	1,65	1,28	25,43	16,34	10,45	18,47	78,34	37,14

⁽¹⁾ Escala de notas variando de 1 a 4, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽²⁾ Escala de notas variando de 1 a 5, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽³⁾ Escala de notas (1, 3, 5, 7 e 9) com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

4.1.3 Estimativas de parâmetros genéticos

Os coeficientes de variação genética entre (CVge) e dentro (CVgd) de populações, herdabilidades no sentido amplo (h^2_a) e restrito (h^2_r), a relação entre o coeficiente de variação genética entre populações e o coeficiente de variação experimental (CVge/CV), e a relação entre o coeficiente de variação genética dentro de populações e coeficiente de variação experimental (CVgd/CV), para todos os caracteres, exceto o NGV, do cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia, são apresentados na Tabela 8. No geral, as estimativas de CVge foram maiores que as estimativas de CVgd, indicando que há uma maior variabilidade para os caracteres avaliados entre populações, comparativamente à variabilidade dentro de populações.

O CVge para a maioria dos caracteres foi superior a 5% (LOPES et al., 2001): NDM (5,02%), TP (5,66%), ACAM (6,95%), NVP (16,64%), COMPV (5,14%), P100G (5,94%) e PP (22,06%). Esses valores indicam a existência de variabilidade genética para diferentes caracteres entre as populações de feijão-caupi, o que possibilita a seleção. Andrade et al. (2010) em um estudo com grãos verdes encontrou resultados de CVg (%) semelhantes para COMPV (9,08%) e PP (31,62%). Lopes et al. (2001) encontrou valores semelhantes para NDIF (3,77%) e PP (23,90%). Os valores de NDIF, NVP, P100G e PP corroboraram com o estudo de Matos Filho et al. (2009), que obtiveram valores de 2,28%, 20,14%, 11,13% e 26,35%, respectivamente.

O CVgd, isto é, ao nível de plantas, variou de 1,06% (NDIF) a 15,60% (PP). A maioria das estimativas foi inferior a 5% (LOPES et al., 2001), demonstrando menor variabilidade ao nível de plantas. Destacaram-se os caracteres NVP (11,76%) e PP (15,60%), com maior variabilidade em relação aos demais caracteres, possibilitando a realização de seleção em ciclos posteriores.

As estimativas de herdabilidade no sentido amplo (h^2_a) foram expressivas para a maioria dos caracteres avaliados, variando de médio a alto, com menor valor para o caráter RV (0,45) e maior valor para o caráter COMPV (0,92). Essa variação de caráter para caráter é esperada, pois segundo Borém (1998), a herdabilidade varia de acordo com os diversos caracteres agronômicos. Os caracteres que apresentaram altas estimativas de h^2_a foram: NDIF, NDM, ACAM, VC, NVP,

COMPV, P100G, IG e PP, indicando alto componente genético em suas expressões fenotípicas. Andrade (2010) também encontrou h^2_a alta para os caracteres NDIF (0,75), COMPV (0,91) e IG (0,84), corroborando com o presente estudo, onde se obtiveram valores de 0,65, 0,92 e 0,90, respectivamente (Tabela 8). Valores mais altos que esses para os mesmos caracteres, com exceção do NDIF, foram obtidos por Andrade et al. (2010), que encontraram também valores de h^2_a elevados para os caracteres P100G, VC e TP. Benvindo et al. (2010) encontrou valores de h^2_a semelhantes ao presente estudo para ACAM (0,51) e PP (0,88).

A herdabilidade no sentido restrito (h^2_r) variou de 0,02 (RV) a 0,53 (ACAM), destacando-se os caracteres TP (0,42), VC (0,47) e ACAM (0,53).

Observa-se que as estimativas de h^2_a foram bem mais altas que as de h^2_r , o que é esperado tendo em vista que a h^2_a considera a variância genética, que inclui as variâncias aditiva e de dominância, enquanto a h^2_r considera apenas a variância aditiva. Embora h^2_r apresente estimativas mais baixas, relativamente às estimativas de h^2_a , aquela é a que é fixada pela seleção, sendo a mais importante para o melhorista (RAMALHO et al., 2000). Essa variância é considerada de grande importância, pois não segrega de geração para geração, possibilitando o êxito na seleção em gerações segregantes.

A relação CVge/CV apresentou valores que variaram de 0,63 (TP) a 3,66 (COMPV). Quando essa relação é igual ou maior que um, evidencia-se uma condição favorável para a seleção, já que indica que o fator genético teve forte influência na estimação dos parâmetros. Valores iguais ou maiores que um foram apresentados pelos caracteres NDIF (1,33), NDM (1,30), RV (2,36), NVP (1,62), COMPV (3,66) e PP (1,90). Os caracteres NDM, NVP, COMPV e PP apresentaram altos coeficientes de h^2_a ($>0,7$) e relações CVge/CV ($>1,0$). Esses valores apontam uma situação favorável para a seleção de progênies superiores para esses caracteres, já que a maior proporção da variação fenotípica observada é devida às diferenças genéticas. Estudo de Matos Filho et al. (2009), corroboraram com o resultado obtido para NVP.

A relação CVgd/CV variou de 0,44 (TP) a 2,59 (COMPV). Os caracteres que combinaram os valores mais altos da relação CVgd/CV ($>1,0$) e coeficientes de h^2_a ($>0,7$) foram NVP, COMPV e PP. Esses valores apontam situação favorável para seleção de progênies superiores para esses caracteres.

Tabela 8 - Estimativas de parâmetros genéticos (coeficiente de variação genética dentro, coeficiente de variação genética entre, herdabilidade no sentido amplo, herdabilidade no sentido restrito, relação entre coeficiente de variação genética entre populações e o coeficiente de variação experimental e a relação entre o coeficiente de variação genética dentro de populações e coeficiente de variação experimental) dos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.

Parâmetro	Caráter										
	NDIF (dias)	NDM (dias)	TP ⁽¹⁾ (nota)	ACAM ⁽²⁾ (nota)	VC ⁽²⁾ (nota)	RV ⁽³⁾ (nota)	NVP (unid.)	COMPV (cm)	P100G (g)	IG (%)	PP (g)
CVgd	1,06	3,55	4,00	4,91	3,48	1,94	11,76	3,64	4,20	1,43	15,60
CVge	1,50	5,02	5,66	6,95	4,93	2,74	16,64	5,14	5,94	2,03	22,06
h^2_a	0,65	0,77	0,54	0,64	0,58	0,45	0,81	0,92	0,88	0,90	0,87
h^2_r	0,06	0,15	0,42	0,53	0,47	0,02	0,21	0,33	0,14	0,15	0,33
CVge/CV	1,33	1,30	0,63	0,77	0,68	2,36	1,62	3,66	-	-	1,90
CVgd/CV	0,94	0,92	0,44	0,54	0,48	1,67	1,15	2,59	-	-	1,34

⁽¹⁾ Escala de notas variando de 1 a 4, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽²⁾ Escala de notas variando de 1 a 5, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$;

⁽³⁾ Escala de notas (1, 3, 5, 7 e 9), com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

As estimativas de CVge, CVgd, h^2_a , h^2_r , relação CVge/CV e relação CVgd/CV para todos os caracteres, exceto NDIF, TP, VC e RV, para o cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E), são apresentados na Tabela 9. No geral, da mesma forma que no cruzamento 1, as estimativas de CVge foram maiores que as estimativas de CVgd, indicando que há uma maior variabilidade para os caracteres avaliados entre populações, comparativamente à variabilidade dentro de populações.

O CVge variou de 2,43 (IG) a 21,28 (PP). As maiores estimativas foram obtidas para os caracteres NVP (13,22%) e PP (21,28%), indicando maior variabilidade genética para esses caracteres. Resultado semelhante a este trabalho foi encontrado por Moura (2011), com valores de ACAM (7,41%), COMPV (7,02%), NGV (12,98%), P100G (5,43%) e IG (3,78%), contrastando apenas com o valor PG (39,40%) do presente estudo. Os valores encontrados por Machado et al. (2008) para PP (13,41%) foram mais baixos do que os obtidos neste estudo.

O CVgd evidenciou maior variabilidade para os caracteres NVP (9,35) e PP (15,05). As estimativas de CVge foram superiores às de CVgd (entre plantas), indicando maior variabilidade entre do que dentro de populações. Isso mostra que a seleção entre populações é mais viável e dentro de populações será pouco efetiva.

As estimativas da h^2_a para o cruzamento 2 variaram muito entre os caracteres, apresentando valores baixos, médios e altos. Da mesma forma que no cruzamento 1, as estimativas de h^2_a foram bem mais altas que as de h^2_r . Foram encontrados valores altos para os caracteres COMPV (0,86), P100G (0,95), IG (0,77) e PP (0,70). Valores mais elevados do que os apresentados neste estudo foram encontrados por Moura (2011) para os caracteres ACAM (0,66) NGV (0,84), IG (0,82) e PP (0,91).

As estimativas de h^2_r variaram de 0,07 (NDM) a 0,45 (COMPV). Esta, por considerar somente os efeitos aditivos da variância genética, pode ser transmitida totalmente para a próxima geração. Nesse caso, destaca-se o caráter COMPV, com estimativa de 0,45.

A relação CVge/CV apresentou valores baixos, intermediários e altos. Os caracteres NVP (0,81), COMPV (1,61), NGV (0,81) IG (2,02) e PP (1,04) apresentaram as maiores estimativas. Avaliando-se o menor CV e a maior h^2_a associados à relação CVge/CV, podemos verificar condição mais favorável para a seleção entre as populações para o caráter COMPV.

A relação CVgd/CV variou de 0,28 (ACAM) a 1,43 (IG). Valores altos foram encontrados somente para os caracteres COMPV (1,13), IG (1,43) e PP (0,74). Analisando-se juntamente com essa relação, as altas estimativas de h^2_a e as baixas estimativas de CV, tem-se o COMPV e o IG como os mais promissores para a seleção entre plantas dentro de populações.

No geral, o cruzamento 1 apresentou maiores estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres avaliados, comparativamente ao cruzamento 2. Uma possível explicação para isso é que o cruzamento 1 envolve parentais elite bem adaptados, sendo os dois originários do Brasil (Tabela 1); já no cruzamento 2, há um parental exótico, ou seja, de origem africana, não adaptado às condições brasileiras para caracteres agrônômicos.

Tabela 9 - Estimativas de parâmetros genéticos (coeficiente de variação genética dentro, coeficiente de variação genética entre, herdabilidade no sentido amplo, herdabilidade no sentido restrito, relação entre coeficiente de variação genética entre populações e o coeficiente de variação experimental e a relação entre o coeficiente de variação genética dentro de populações e coeficiente de variação experimental) dos caracteres número de dias para maturação (NDM), acamamento (ACAM), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG) e produção por planta (PP), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 2 (IT-98K-205-8 x Evx-63-10E),. Teresina, PI, 2012.

Parâmetro	NDM (dias)	ACAM ⁽¹⁾ (nota)	NVP (unid.)	COMPV (cm)	NGV (unid.)	P100G (g)	IG (%)	PP (g)
CVgd	1,77	5,13	9,35	6,12	5,91	6,44	1,72	15,05
CVge	2,51	7,26	13,22	8,66	8,36	9,11	2,43	21,28
h^2_a	0,49	0,33	0,58	0,86	0,58	0,95	0,77	0,70
h^2_r	0,07	0,20	0,10	0,45	0,10	0,32	0,11	0,16
CVge/CV	0,67	0,40	0,81	1,61	0,81	-	2,02	1,04
CVgd/CV	0,48	0,28	0,57	1,13	0,57	-	1,43	0,74

⁽¹⁾ Escala de notas variando de 1 a 5, com dados transformados para $\sqrt{x+0,5}$.

4.2 Teor de ferro

4.2.1 Análise de variância

A análise da variância para o teor de ferro nos grãos evidenciou a existência de diferenças significativas ($P < 0,01$) para o efeito de populações (Tabela 10). Isso indica que existe variabilidade genética entre populações, condição essencial para realização da seleção e do melhoramento genético deste caráter.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância e coeficiente de variação para o teor de ferro na semente, obtidos a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2013.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
Blocos	2	1742,30
Populações (P)	5	149,05**
Plantas/P	214	47,65 ^{ns}
Resíduo	438	44,84
CV (%)		12,07

^{ns} Não significativo; **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O coeficiente de variação experimental (CV) estimado para o teor de ferro foi de 12,07%, sendo considerado baixo e indicando boa precisão experimental. Valores mais altos que este foram encontrados por Jost et al. (2009) em feijão comum para dois cruzamentos avaliados, enquanto Moura et al. (2011) encontraram valores mais baixos em um estudo conduzido em populações segregantes de feijão-caupi (2,61%).

4.2.2 Análises de médias e contrastes

As estimativas de médias e de alguns contrastes entre populações para o teor de ferro no grão referente ao cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia são apresentadas na Tabela 11. Observa-se que o teor de ferro, em termos de média de população, variou de 52,87 mg kg⁻¹ (P2) a 58,57 mg kg⁻¹ (F2₂₁). Embora o teste F da análise de variância tenha detectado diferenças entre populações, o teste Tukey não detectou essas diferenças, portanto, as populações apresentaram comportamentos similares para o teor de ferro na semente.

Tabela 11 – Estimativas de médias e análises de alguns contrastes para o teor de ferro no grão (mg kg^{-1}), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia. Teresina, PI, 2013.

População	Teor de ferro
P1	55,47 a
P2	52,87 a
F2 ₁₂	56,66 a
F2 ₂₁	58,57 a
F3 ₁₂	55,66 a
F3 ₂₁	55,71 a
Média geral	55,50
Contraste	(P<0,05)
P1 vs P2	*
P1 vs F2 ₁₂	Ns
P1 vs F2 ₂₁	Ns
P1 vs F3 ₁₂	Ns
P1 vs F3 ₂₁	Ns
F2 ₁₂ vs F2 ₂₁	Ns
F3 ₁₂ vs F3 ₂₁	Ns

^{ns}Não significativo; Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de tukey (P<0,05); * Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

A média geral do teor de ferro nas populações avaliadas foi de $55,50 \text{ mg kg}^{-1}$. Essa média é inferior àquelas obtidas por Moura (2011), Rocha et al. (2011a) e Santos (2013), que encontraram médias, respectivamente, de $74,17 \text{ mg kg}^{-1}$, $62,42 \text{ mg kg}^{-1}$ e $68,4 \text{ mg kg}^{-1}$, ao estudarem populações segregantes de feijão-caupi oriundas de outros cruzamentos entre parentais com altos teores de ferro no grão. Comparando a média geral obtida no presente trabalho ($55,50 \text{ mg kg}^{-1}$) com a média geral encontrada no estudo de Moura (2011) ($74,17 \text{ mg kg}^{-1}$), uma explicação seria que isso é devido a diferenças genéticas e ambientais, e no caso do fator ambiental, principalmente em relação ao teor de ferro no solo. No estudo de Moura (2011), o teor de ferro no solo foi de $480,5 \text{ mg dm}^{-3}$, enquanto no solo do presente estudo o teor de ferro foi bem menor, $109,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (Anexo 1). Com base nas médias apresentadas por todas as populações em estudo, estas apresentam alto teor de ferro, segundo as normas de rotulagem de alimentos, categoria minerais e vitaminas da ANVISA (BRASIL, 2012).

As hipóteses para os contrastes entre P1 (parental com maior teor de ferro) e as demais populações, e entre as populações F2 e F3 e seus recíprocos, mostraram que houve diferenças significativas apenas para o contraste P1 vs P2 ($P < 0,05$), evidenciando que os parentais são contrastantes para o teor de ferro no grão e que as gerações F2 e F3 apresentaram comportamento semelhante ao parental 1 (BRS Xiquexique). Moura et al. (2011), avaliando cruzamentos envolvendo a cultivar BRS Xiquexique, também encontrou comportamento semelhante entre esta cultivar e as gerações F2 e retrocruzamentos.

Ausência de diferenças para o contraste $F2_{12}$ vs $F2_{21}$, que envolve a geração F2 e seu recíproco, é um indicativo da ausência de efeito materno no controle do teor de ferro na semente para o cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia. Segundo Jost et al. (2009), a ocorrência do efeito materno na expressão do teor de ferro em feijão determinará em sementes F1, F2, F3 e demais gerações, a ocorrência de gerações diferentes entre o tegumento e o embrião (cotilédones e eixo embrionário). Quando isso é constatado, o fenótipo do descendente será dependente do genótipo materno (JOST et al., 2009). Assim, no caso do presente trabalho, se houvesse efeito materno, além de significância para o contraste $F1_{12}$ vs $F1_{21}$ (não avaliado nesse trabalho e o mais usado para verificar efeito materno), a geração F2 também seguiria o mesmo comportamento em termos de média entre F2 e seu recíproco, ou seja, o contraste $F2_{12}$ vs $F2_{21}$ seria também significativo, pois o genótipo da geração F2 também é dependente apenas do genótipo materno.

4.2.3 Estimativas de parâmetros genéticos

As estimativas de parâmetros genéticos para o teor de ferro no grão obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia são apresentadas na Tabela 12. Na decomposição da variância fenotípica (σ^2_F), houve predominância dos efeitos ambientais neste cruzamento. A variância ambiental foi a responsável pela maior parte da variância fenotípica, o que justifica a estimativa de herdabilidade em sentido amplo de baixa magnitude ($h^2_a = 31,71\%$). Esses resultados indicam que a seleção de plantas com alto teor de ferro na semente pode ser difícil nas populações segregantes oriundas do cruzamento em estudo. Santos et al. (2012) em análise genética do teor de ferro

em dois cruzamentos de feijão-caupi encontraram estimativas elevadas de herdabilidade no sentido amplo ($h^2_a = 86,0\%$), contrastando com o presente estudo. Herdabilidades elevadas para o mesmo caráter em feijão comum foram obtidas por Jost et al. (2009) e Buratto (2012). No entanto, estimativa de h^2_a menor que a do presente trabalho foi obtida por Moura et al. (2011) para o teor de ferro (12,11%) em um estudo conduzido em populações F3 de feijão-caupi.

Tabela 12 – Estimativas de parâmetros genéticos (variâncias fenotípica, genotípica e ambiental; herdabilidade no sentido amplo, ganho genético) para o teor de ferro no grão, obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia. Teresina, PI, 2013.

Parâmetro	Estimativa
Variância fenotípica (ρ^2_f)	62,83 ± 4,05
Variância ambiental (ρ^2_e)	42,90 ± 4,56
Variância genotípica (ρ^2_g)	19,92 ± 24,18
Herdabilidade no sentido amplo (h^2_a %)	31,71 ± 32,43
Valor máximo na F3	121,31
Valor mínimo na F3	37,63
Plantas selecionadas na F3	479, 56, 446, 447, 256, 349, 336, 254, 325, 324, 440, 456, 267, 255, 358, 268, 333, 331, 323, 83, 270, 350, 354, 263.
Média original da F3	55,69
Média das plantas selecionadas	75,40
Diferencial de seleção (ds)	19,71
Ganho por seleção (ΔG)	6,25
Ganho por seleção (ΔG %)	11,22
Média predita para o 1º ciclo após a seleção	61,94

Segundo Rocha et al. (2009), embora o teor de ferro apresente herdabilidade alta, como no caso da maioria dos trabalhos acima, em um trabalho conduzido por esses autores em três ambientes mostrou estimativas de médias muito variáveis com os ambientes, o que segundo esses autores, denota tratar-se de um caráter de herança quantitativa, e que a seleção deve considerar o efeito da interação genótipo x ambiente. Com relação à herança quantitativa, de fato Carvalho et al. (2011), avaliando 8 cruzamentos entre parentais com altos teores de ferro e zinco em feijão-caupi, encontraram que os efeitos aditivos foram quatro vezes mais importantes que os efeitos de dominância, no controle do teor de ferro.

As médias para o teor de ferro no grão entre plantas variaram de 37,63 mg kg⁻¹ a 121 mg kg⁻¹. Santos (2013) obteve variação mais ou menos similar (36,5 mg kg⁻¹ a 131 mg kg⁻¹) à variação obtida neste trabalho, em cruzamentos de feijão-caupi envolvendo parentais com altos teores de ferro e zinco na semente.

Em relação ao ganho com a seleção para o teor de ferro na semente, considerou-se uma intensidade de seleção de 20% das plantas F3. Como as plantas F3₁₂ e F3₂₁ totalizavam 160, foram selecionadas as 24 plantas com maior teor de ferro, com média de 75,40 mg kg⁻¹, sendo o diferencial de seleção de 19,71 mg kg⁻¹. O ganho esperado com a seleção foi de 6,25 mg kg⁻¹ (11,22%). A média predita para o primeiro ciclo após a seleção será de 61,94 mg kg⁻¹. Embora a seleção de plantas com alto teor de ferro seja dificultada devido à baixa herdabilidade e ao pronunciado efeito do ambiente, o ganho obtido neste trabalho pode ser considerado satisfatório.

4.3 Correlações entre caracteres

As estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas entre caracteres, estimado com base na média de populações, para o cruzamento 1 são apresentadas na Tabela 13. A maioria das correlações mostrou significância, porém de baixas magnitudes. As correlações foram consideradas baixas, quando apresentaram valores inferiores a 0,4; médias entre 0,4 e 0,7; e altas com valores superiores a 0,7 (MATOS FILHO et al., 2009). Neste estudo, consideraram-se para efeito de discussão apenas as estimativas acima de 0,3.

O caráter NDIF apresentou correlação alta, positiva e significativa com NDM (0,70**), logo, é possível diminuir o NDM via o NDIF, quando o objetivo for precocidade. Esse resultado está de acordo com Correa et al. (2012). O NDIF apresentou correlação baixa, negativa e significativa com NVP e PP. Esses resultados indicam que é possível selecionar genótipos produtivos e com menor NDIF. Os resultados de correlações entre NDIF com NVP e PP concordam com os resultados de Matos Filho et al. (2009) e Andrade (2010), mas discordam de Machado et al. (2008).

O TP apresentou correlação positiva e significativa com VC (0,31**). Esse resultado é discordante com o obtido por Andrade et al. (2010), que encontrou

correlação negativa, alta e significativa (-0,88) entre esses caracteres, porém em feijão-caupi para o mercado de grãos verdes.

As estimativas das correlações fenotípicas entre NVP com NGV foi baixa (0,32**), positiva e significativa e, com PP foi alta, positiva e significativa (0,85**). Essas correlações indicam que a seleção por meio do NGV e NVP pode trazer ganhos para a PP. Matos Filho et al. (2009) e Silva (2011) obtiveram resultados semelhantes ao presente estudo, no entanto, Sampaio et al (2006) encontraram resultados discordantes com relação à correlação entre NVP e NGV.

O COMPV apresentou correlações fenotípicas positivas e significativas com NGV (0,21**), P100G (0,46**) e PP (0,36**), indicando que a seleção para o aumento do comprimento da vagem pode contribuir para aumentar a produção. Resultados semelhantes para o caráter P100G foram encontrados por Lopes et al. (2001) e Silva et al. (2011), sendo discordantes dos resultados de Andrade et al. (2010) e Silva (2011). Sampaio (2006) encontrou resultados semelhantes para a correlação entre COMPV e PP. Embora encontrada correlação entre COMPV e NGV igual à maioria dos estudos (LOPES et al., 2001; ANDRADE et al., 2010; SILVA et al, 2011; SAMPAIO et al., 2006), a estimativa do presente trabalho foi de baixa magnitude (0,21**).

O NGV apresentou correlação média, negativa e significativa com P100G (-0,45**), indicando que o aumento do número de grãos por vagem pode ocasionar diminuição do tamanho do grão, concordando com o estudo de Matos Filho et al. (2009) e Andrade et al. (2010) e diferindo do estudo de Lopes et al. (2001).

Quanto as correlações entre o teor de ferro (TFe) e os caracteres agrônômicos, todos foram de baixa magnitude, indicando fraca associação entre o TFe e os caracteres agrônômicos, para o cruzamento analisado. Isso sugere que o melhoramento para o aumento do teor de ferro no grão não afeta o melhoramento dos caracteres agrônômicos avaliados neste estudo. Moura et al. (2012) também obtiveram correlação significativa, porém baixa, entre o TFe e o P100G.

A falta de correlação entre o TFe e a PP corrobora com os resultados obtidos por Moura et al. (2012), que também obtiveram correlação baixa e não significativa entre esses dois caracteres. Segundo os autores, quando isso ocorre, indica que os caracteres são independentes e o melhoramento de um não influi no melhoramento do outro.

Tabela 13 - Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica para os caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), número de dias para a maturação (NDM), tipo de porte (TP), acamamento (ACAM), valor de cultivo (VC), reação a vírus (RV), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G), índice de grãos (IG), produção por planta (PP) e teor de ferro (TFe), obtidas a partir da avaliação de seis populações de feijão-caupi no cruzamento 1 (BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia). Teresina, PI, 2012.

Caráter	NDM	TP ⁽¹⁾	ACAM ⁽²⁾	VC ⁽²⁾	RV ⁽³⁾	NVP	COMPV	NGV	P100G	IG	PP	TFe
NDIF	0,70**	-0,02 ^{ns}	-0,14**	0,05 ^{ns}	0,09*	-0,32**	-0,04 ^{ns}	-0,14**	0,03 ^{ns}	-0,08*	-0,31**	0,07 ^{ns}
NDM		-0,01 ^{ns}	-0,25**	0,19**	0,15**	-0,22**	0,03 ^{ns}	-0,16**	0,10**	-0,11**	-0,15**	0,18**
TP			-0,04 ^{ns}	0,31**	0,08*	0,12**	0,13**	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,18**	-0,07*
ACAM				-0,26**	0,00 ^{ns}	-0,00 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,08*	-0,15**
VC					0,03 ^{ns}	0,14**	0,02 ^{ns}	0,09*	-0,07 ^{ns}	-0,12**	0,16**	0,05 ^{ns}
RV						-0,08*	-0,05 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,09*	0,04 ^{ns}
NVP							0,14**	0,32**	-0,14**	-0,08*	0,85**	0,05 ^{ns}
COMPV								0,21**	0,46**	0,04 ^{ns}	0,36**	0,11**
NGV									-0,45**	0,24**	0,28**	-0,00 ^{ns}
P100G										0,06 ^{ns}	0,10**	0,13**
IG											-0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
PP												0,06 ^{ns}

^{ns} Não significativo; *, ** Significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste t.

5 CONCLUSÕES

O número de vagens por planta e produção por planta são os caracteres com maior potencial de ganho com a seleção em ambos os cruzamentos avaliados.

A seleção entre e dentro de populações é mais viável no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia, com vantagem da seleção entre sobre a dentro de populações.

Existe maior confiabilidade do fenótipo na expressão do genótipo nos caracteres comprimento de vagem, peso de cem grãos, índice de grãos e produção por planta, em ambos os cruzamentos avaliados.

É possível obter genótipos altamente produtivos por meio da seleção indireta do número de vagens por planta, mas a seleção para aumento do número de grão por vagem pode trazer perdas no tamanho do grão no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia.

O caráter teor de ferro no grão não apresentou efeito materno no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia.

A seleção para aumento do teor de ferro não afeta a produção de grãos no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia.

A seleção para o teor de ferro no grão é dificultada pela baixa herdabilidade e o pronunciado efeito do ambiente, no entanto, o ganho esperado com a seleção foi satisfatório no cruzamento BRS Xiquexique x BR 17-Gurguéia.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. A.; ARAÚJO, N. P.; UCHÔA, S. C. P.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. J.; RODRIGUES, G. S.; SILVA, D. C. O. Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 3, n.01, p.15-30, 2009.

ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 110 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. 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 Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.

APTE, U. B.; CHAVAN, S. A.; JADHAV, B. B. Correlation studies in cowpea. **Agricultural Science Digest**, v. 11, n. 2, p. 59-62, 1991.

ARAÚJO, J. P. P de. Melhoramento do Caupi no Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Goiânia: Embrapa-CNPAP; Ibadan: IITA, 1988. p. 249-284.

BATISTA FILHO, M.; RISSIN, A. A transição nutricional no Brasil: tendências regionais e temporais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n.1, p.181-91, 2003.

BENVINDO, R. N., SILVA, J. A. L., FREIRE FILHO, F. R., ALMEIDA, A. L. G., OLIVEIRA, J. T. S., BEZERRA, A. A. C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, v.1, n.1, p.23, 2010.

BORÉM, A. **Melhoramento de Plantas**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1998. 453p.

BRESSANI, R. Nutritive value of cowpea. In: SINGH, S. R. RACHIE, K. O. (eds). **Cowpea research, production and utilization**, 1985. p.351-359.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio Brasil 2008/09 a 2018/19. 2008. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/planos%20e%20programas/pr ojecoes%20do%20agronegocio.pdf. Acesso em: 27 mar. 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada , RDC Nº 54, DE 12 DE NOVEMBRO DE 2012**. 2012. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 22 jul. 2013.

BRYCE, J.; PARIYO, G.; CLAUDIO, F. L; GWATKIN, D; HABICHT, J. P. Redução da mortalidade infantil: pode entregar a saúde pública?. **Lancet** , v. 362, n. 9378, p. 159, 2003.

BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. 2012. 148 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras. Lavras.

CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R.; Biofortificação de produtos agrícolas para nutrição humana. In: Reunião anual de SBPC, 64, 2012. São Luís. **Anais eletrônicos**. São Luís: SBPC: UFMA, 2012. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/busca?b=pc&id=951786&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CARVALHO,%20J.%20L.%20V.%22&qFacets=autoria:%22CARVALHO,%20J.%20L.%20V.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 3 abr. 2013.

CARVALHO, J. L. V. Resultados das ações de desenvolvimento de produtos nos projetos AgroSalud e BioFORT. In: Reunião de Biofortificação no Brasil, 4., 2011, Teresina. **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011a. 1 CD-ROM.

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

CARVALHO, L. C. B.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; FRANCO, L. J. D.; SILVA, L. R. A.; CARVALHO, J. S.; SOUSA, C. M. B.; SILVA, J. D. L. Avaliação de populações biofortificadas em feijão-caupi por meio de cruzamentos dialélicos. In: Reunião de Biofortificação no Brasil, 4., 2011, Teresina. **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Joint FAO/WHO Food standards programme codex alimentarius commission. Report of forty-first session of the Codex Committee on food labeling. **Nutrient reference values-requirements**. http://www.codexalimentarius.org/input/download/report/806/REP13_FLe.pdf. Acesso em: 22 jul. 2013.

CORREA, A. M.; CECCON, G.; CORREA, C. M. A.; DELBEN, D. S. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. **Rev. Ceres**, v. 59, n. 1, p. 88-94, 2012. COSTA, N. M. B.; LIBERATO, S. C. Biotecnologia na nutrição e saúde. In: COSTA, N.M.B.; BORÉM, A. (Ed.) **Biotecnologia e Nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer os alimentos**. São Paulo: Nobel, 2003. p. 71-127.

CRUZ, Cosme Damião. **Programa Genes: estatística experimental e matrizes**. v.1. Viçosa: UFV, 2006. 285p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

CRUZ C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 309p.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo de feijão caupi. Jan/2003.** Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/importancia.htm#topo>. Acesso em: 28 fev. 2013.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics.** London: Richard Clay, 1960. 365p.

FAOSTAT. Production. Crops. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>. Acesso em 20 de Julho de 2013.

FREIRE FILHO, F. R.; TEÓFILO, E. M.; RIBEIRO, V. Q.; BERTINI, C. H. C. M.; ALMEIDA, W. S.; DIAS, F. T. C. Ganho genético do programa de melhoramento de feijão-caupi da Universidade Federal do Ceará no período de 1967 a 1988. In: Congresso Nacional de feijão-caupi, 3, 2013, Recife. **Anais...** Recife: Feijão-Caupi como alternativa sustentável para os sistemas produtivos familiares e empresariais, 2013. Disponível em: <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/182f.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2013.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 84p. 2011.

FREIRE FILHO, F. R.; VILARINHO, A. A.; CRAVO, M. S.; CAVALCANTE, E. S. Panorama da cultura do feijão-caupi no Brasil. In: Workshop sobre a cultura do feijão-caupi em Roraima, 2007, Boa Vista. **Anais...** Boa Vista, Embrapa Roraima, 2007. p. 2-12.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (eds). **Feijão-caupi: Avanços tecnológicos.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. p. 27-92.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. C. A.; SANTOS, A. A. Avaliação do progresso genético na produtividade de caupi de porte enramador na região Meio-Norte do Brasil. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Caupi, 5, 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão-caupi. **Anais.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001a (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. C. A.; SITOLLIN, I. M. Estimativa do progresso genético na produtividade de caupi de porte semiereto na região Meio-Norte do Brasil. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Caupi, 5, 2001b, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão-caupi. **Anais.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001b (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. F. **Melhoramento genético de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) na região Nordeste.** In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R., ed. Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. Petrolina, PE:

Embrapa Semi-Arido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livroorg/caupinordeste.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2013.

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, 1988a. p. 25-46.

FREIRE FILHO, F. R. Genética do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Goiânia: Embrapa-CNPAP; Ibadan: IITA, 1988b. p.159-229.

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

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.

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

HARTL, D. L. CLARK, A. G. **Princípios de genética de populações**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 660p.

IQBAL, A. et al. Nutritional quality of important food legumes. **Food Chemistry**, Oxford, v. 97, n. 2, p. 331-335, 2006.

JOST, E.; RIBEIRO, NERINÉIA, D. R.; CERUTTI, T.; POERSCH, N. L.; MAZIEIRO, S. M. Potencial de aumento do teor de ferro em grãos de feijão por melhoramento genético. **Bragantia**, v. 68, n. 1, 2009.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. **Variação genética em progênies de uma população de Eucalyptus grandis (Hill) Maiden**. ESALQ, 1983.

LAM-SANCHEZ, A.; DURIGAN, J.F.; CAMPOS, S.L.; SILVESTRE, S.R.; PEDROSO, P.A.C.; BANZATTO, D.A. Efeitos da época de semeadura sobre a composição química e características físico-químicas de grãos de *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus angularis* (Wild) Wright e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Alimentos e Nutrição**, v.2, p.35-44, 1990.

LANGYNTUO, A. S.; LOWENBERG-DEBOER, J.; FAYE, M.; LAMBERT, D.; IBRO, G.; MOUSSA, B.; KERGNA, A.; KUSHWAHA, S.; MUSA, S.; NTOUKAM, G. Cowpea supply and demand in West and Central Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2-3, p. 215-231, May 2003.

LIENER, I. E. **Toxic constituents of plant foodstuffs**. Ed. 2. Academic Press, New York, p. 103, 1980.

LOPES, A. C. A.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. B. Q.; CAMPOS, F. L.; ROCHA, M. M. Variabilidade entre caracteres agronomicos em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 515-520, 2001.

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

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.

MARÉCHAL, R.; MASCHERPA, J. M.; STAINIER, F. Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. **Boissiera**, Genebra, n. 28, p. 1-273, 1978.

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

MELO, W. F.; GOMES, L. M.; MOITA, A. W.; AMARO, G. B.; BESSA, F. P.; DUSI, A. N. 2011. Biofortificação no Brasil (BioFort): Avaliação preliminar de clones de batata-doce ricos em betacaroteno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51. **Anais...** Viçosa: ABH. 2011. p. 2675-2680.

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: LANA, R. P.; MÂNCIO, A. B.; GUIMARÃES, G.; SOUZA, M. R. M. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 1, 2009. **Anais**. Viçosa: Departamento de Zootecnia - UFV, 2009. p. 299-312.

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

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

MOREIRA-ARAÚJO, R. R. S.; FROTA, K. M.; MENESES, N. A.; MARTINS, L. S.; MORGANO, M. A. Teor de minerais de produtos elaborados com farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar tracuateua - 235. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Tecnologias para o agronegócio**: anais. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006b. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

MOURA, J. O.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D.; RIBEIRO, V. Q. Path analysis of iron and zinc contents and others traits in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 245-252, 2012.

MOURA, J. 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.

MOURA, J. O.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D. SILVA, J. D. L.; TORRES, M. H. R. M. Efeito materno na expressão dos teores de proteína, ferro e zinco no grão de feijão-caupi. In: Reunião de Biofortificação no Brasil, 4., 2011, Teresina. **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

MOURA, F. J. A.; HOLANDA, L. F. F. de.; MAIA, G. A.; GUEDES, Z. B. L.; ORIA, H. F.; GUIMARÃES, A. C. L. Estudo da composição química de quarenta variedades de feijão-de-corda (*Vigna sinensis* Endl.), Fortaleza, **Ciência Agrônômica**, v.12, n.1-2, p.207-212, 1981.

NEVES, P. C. F.; PEREIRA, J. A.; BASSINELO, P. Z. Resultado das ações de melhoramento de arroz nos projetos AgroSalud e BioFORT. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011b. 1 CD-ROM.

NG, N. Q.; MARÉCHAL, R. Cowpea taxonomy, origin and germ plasm. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O., (eds) **Cowpea Research, Production and Utilization**. Chichester: John Wiley, 1985. p. 11-21.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. **A biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes**. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geo_med7.pdf. Acesso em: 21/mar/2013.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. **A esperança de reduzir a desnutrição por meio de cultivos biofortificados**. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/880571>. Acesso em 29/mar/2013.

NUTTI, M. R. **Biofortificação no Brasil**. Disponível em www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/878430/1/2010281.pdf. Acesso em 29/mar/2013.

OLIVARES, M.; WALTER, T. Causas y consecuencias de la deficiencia de hierro. **Revista de Nutrición**, v.17, n.1, p.5-14, 2004.

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

OLIVEIRA, I. P.; DANTAS, J. P. Nutrição mineral do caupi. In: ARAUJO, J.P.P. de; WATT, E.E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Ibadan/Brasília: International Institute of Tropical Agriculture/Embrapa, 1988. p. 405-430.

OLIVEIRA, I.P.; CARVALHO, A.M. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmidos e semi-árido do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Goiânia: Embrapa-CNPAP; Ibadan: IITA, 1988. p. 63-96.

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

PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; PEIXOTO, C. P.; ROCHA, M. A. C.; CRUZ, E. M. O. Ganho por seleção direta e indireta em caupi considerando a interação G x E. **Revista da FZVA**, v. 18, n. 1, 2011.

PELOSO, M. J. D. Programa de melhoramento genético do feijoeiro comum da Embrapa arroz e feijão. . In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

PFEIFFER, W.H.; MCCLAFFERTY, B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition. **Crop Science**, v.47, n. Supplement 3, p.88-105, 2007.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15a Ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2009. 451p.

PINTO, R. J. B. **Introdução ao melhoramento de plantas**. Paraná: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 1995, 275 p.

QUIN, F. M. Introduction. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Tsukuba: IITA: JIRCAS, 1997. p. 9-15.

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.; 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.; PINTO, C.A.B.P. **Genética na Agropecuária**. Lavras: UFLA, 2000. 472 p.

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

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).

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

RIOS, S. A.; PAES, M. C. D.; ABREU, S. C.; CARDOSO, W. S. Deficiências nutricionais e a biofortificação de alimentos. In: BORÉM, A.; RIOS, S. A. (Ed.). **Milho biofortificado**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 9-21.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; FRANCO, L. J. D. Variabilidade genética de acessos de feijão-caupi para os teores de ferro, zinco e proteína nos grãos. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011a. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; CARVALHO, H. W. L.; VILARINHO, A. A.; FRANCO, J. L. D.; SANTOS, A. M. F.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. Biofortificação do feijão-Caupi no Brasil: Resultados e Perspectivas. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011b. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. M.; CARVALHO, K. J. M.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 270-275, 2009.

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**, v. 8, n. 1, p. 135-141, 2003.

SALES, M. G.; RODRIGUES, M. A. C. Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do caupi. In: ARAUJO, J.P.P. de; WATT, E.E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Ibadan/Brasília: International Institute of Tropical Agriculture/Embrapa, 1988. p. 695-722.

SALGADO, S. M.; LIVERA, A. V. S.; GUERRA, N. B. Aspectos alimentares. In: BRITO, E. S. de. (Ed). **Feijão-caupi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2008. p. 25-38.

SAMPAIO, L.; CRAVO, M.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; RIBEIRO, V. Q. Avaliação de linhagens de feijão-caupi em Igarapé Açu-PA. In: Congresso Nacional de feijão-caupi. 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 (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 121).

SANTOS, A.C.F. Melhoramento de linhagens de feijão-caupi com altos teores de proteínas e minerais nas sementes para o Vale do São Francisco. In: CONGRESSO

NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., . Recife, 2013. **Anais**. Recife: IPA, 2013. Disponível em: <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/359b.pdf>. Acesso em 24 jul. 2013.

SANTOS, C. A. F.; COSTA, D. C. C.; SOUZA, S. S. S.; DO NASCIMENTO, L. A. Análises genéticas para seis minerais em dois cruzamentos de feijão caupi. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 293-300. 2012.

SANTOS, C.A.F.; ARAUJO, F.P. de. Produtividade e morfologia de genótipos de caupi em diferentes densidades populacionais nos sistemas irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1977-1984, 2000.

SANTOS, V. S. Atividades desenvolvidas no programa de melhoramento de mandioca da Embrapa Mandioca e Fruticultura, nos projetos de Biofortificação. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

SAS (SAS INSTITUTE - Cary, Estados Unidos). **Software and services**: system for Windows, versão 8.0: software. Cary, 1999.

SCHEEREN, P. L.; CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R.; CAIERÃO, E.; CASTRO, R. L.; BASSOI, M. C.; ALBRECHT, J. C.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; MIRANDA, M. Z.; TORRES, G. A. M. Resultados das ações de melhoramento de trigo nos projetos HarvestPlus e BioFORT. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina, PI. **Anais**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

SILVA, C. A. **Potencial de linhagens de feijão com relação aos teores de proteína e minerais nas sementes**. 2011. 95 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, K. J. D.; CARVALHO, L. C. B.; ROCHA, M. M.; SOUSA, M. B.; PIRES, C. J.; SOUSA, C. M. B.; SILVA, J. D. L. Correlações fenotípicas em populações F2 para caracteres relacionados à produtividade em feijão-caupi. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 6., 2011, Búzios. Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil. **Anais**. Búzios: SBMP, 2011. 1 CD-ROM.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. Viçosa: UFV. 1981, p. 59-63.

SILVA, K. J. D. e. **Estatística da produção de feijão-caupi**. 2009. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=34241>. Acesso em: 03 mar. 2010.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, jul-set, 2011.

SINGH, B. B. Cowpea breeding at IITA: highlights of advances 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 genetic studies in cowpea. In: FATOKUN, C.A.; TARAWALI, S. A., SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMO, M. (editors). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA, 2002. p. 3-13.

SOUSA, V. F. Apresentação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (eds). **Feijão-caupi: Avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2005. p. 338-365.

STEELE, W. M.; MEHRA, K. L. Structure, evolution and adaptation to farming systems and environment in *Vigna*. In: SUMMERFIELD, D. R.; BUNTING, A. H. (Ed.) **Advances in legume science**. England: Royal Botanic Gardens, 1980. p. 459-468.

TEIXEIRA, S.M.; MAY, P.H.; SANTANA, A.C. de. Produção e importância econômica do caupi no Brasil. In: ARAUJO, J.P.P. de; WATT, E.E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Ibadan/Brasília: International Institute of Tropical Agriculture/Embrapa, 1988. p.99-136.

VERDCOURT, B. Studies in the Leguminosae-Papilionoideae for the flora of tropical East Africa IV. **Kew Bulletin**, v. 24, p. 597-569, 1970.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 55. p.353-364, 2004.

XAVIER-FILHO, J. Estudos bioquímicos desenvolvidos com caupi. In: ARAUJO, J.P.P. de; WATT, E.E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Ibadan/Brasília: International Institute of Tropical Agriculture/Embrapa, 1988. p. 405-430.

YOKOYAMA, L.P. **Tendências de mercado e alternativas de comercialização do feijão**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 2002. 4p. (EMBRAPA-CNPAP. Comunicado Técnico, 43).

ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. Prefácio. In: ZILLI, J. E.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. (Org.). **A cultura do feijão-caupi na Amazônia Brasileira**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. 356 p.

ANEXOS

Anexo 1 - Resultado da análise da amostra de solo (0 - 20 cm) da área do experimento de campo. Teresina, PI, 2012.

Parâmetros do solo	Resultados
pH água	5,7
pH CaCl ₂ (1:2,5)	5,0
Al	0,0 cmol _c dm ⁻³
Ca	1,7 cmol _c dm ⁻³
Mg	0,6 cmol _c dm ⁻³
H + Al	2,5 cmol _c dm ⁻³
K	0,40 cmol _c dm ⁻³
P	37,9 mg dm ⁻³
Cu	0,5 mg dm ⁻³
Fe	109,8 mg dm ⁻³
Mn	12,0 mg dm ⁻³
Zn	1,5 mg dm ⁻³
M.O.	13,28 g Kg ⁻¹
m	0%
V	52%