



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA – MEC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ – UFPI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PRPPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO - PPGAN**

CRISTINA ZITA DE MORAIS COSTA DIAS BARBOSA

**SELEÇÃO DE LINHAGENS ELITE DE FEIJÃO-CAUPI
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE FERRO
E ZINCO**

CRISTINA ZITA DE MORAIS COSTA DIAS BARBOSA

**SELEÇÃO DE LINHAGENS ELITE DE FEIJÃO-CAUPI
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE FERRO
E ZINCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN), da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Linha de Pesquisa: Qualidade de Alimentos

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

Co-orientadora: Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo (DN/PPGAN-UFPI)

Teresina – PI, 2015.

CRISTINA ZITA DE MORAIS COSTA DIAS BARBOSA

**SELEÇÃO DE LINHAGENS ELITE DE FEIJÃO-CAUPI
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE FERRO
E ZINCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN), da Universidade Federal do Piauí (UFPI), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Linha de Pesquisa: Qualidade de Alimentos

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

Co-orientadora: Dra. Regilda Saraiva dos Reis Moreira-Araújo (DN/PPGAN-UFPI)

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha (Embrapa Meio-Norte)
Orientador/Presidente

Profa. Dra. Maria Beatriz Abreu Glória (DA/UFMG)
1ª Examinadora

Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva (Embrapa Meio-Norte)
2º Examinador

A minha filha Isabelly o bem mais precioso da minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por proporcionar ânimo e forças para seguir e nunca desistir, sendo meu apoio e meu alicerce.

Aos meus pais José de Arimatéia e Valdemira Morais, por todo esforço dedicado em prol dos meus estudos, por abdicarem dos seus sonhos para realizar os meus, eu amo vocês.

Ao meu marido Adams Araújo e minha filha Isabelly, por entenderem que às vezes tive que me afastar para concretizar esse sonho acadêmico, me dando sempre forças para continuar.

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha, pela paciência do ensino, por se mostrar sempre disponível, orientando e buscando a melhor alternativa.

A minha co-orientadora Prof^a Dr^a. Regilda Saraiva dos Reis Moreira Araújo, pelos constantes ensinamentos durante todo o período do mestrado, estágio docente, ajudando sempre no propósito do trabalho ser desenvolvido da melhor maneira.

Aos membros da banca Prof^a Dr^a. Maria Beatriz de Abreu Glória e Prof. Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, por aceitarem o convite para participarem da banca, dando um pouco do seu conhecimento em busca de aperfeiçoar ainda mais este trabalho.

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), pelo incentivo e oferta de pós-graduações, podendo proporcionar e tornar mais acessível à inclusão de alunos em programas de Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN), pela oportunidade concedida na obtenção de novos conhecimentos.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo por um período para realização deste trabalho.

À Embrapa Meio-Norte, pelo fornecimento das amostras estudadas, pela disponibilidade da estrutura física de laboratórios para a condução da pesquisa.

Aos programas de biofortificação da Embrapa “BioFORT” e “HarvestPlus”, pelo apoio financeiro no fornecimento dos reagentes para a realização das análises.

Aos técnicos do laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte Msc. Luís José Duarte Franco e Antônio Carlos dos Santos, pelos ensinamentos e auxílio nas análises laboratoriais.

Aos colegas de curso Diego Sávio e Livia Bonfim, pela ajuda na concretização das análises.

As colegas de turma do Mestrado, por todos os momentos compartilhados juntos.

A todos os professores do mestrado e demais funcionários do Departamento de Nutrição que contribuíram nessa etapa de minha formação.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado, que acompanharam e torceram pela conquista dessa etapa na minha formação.

MUITO OBRIGADA!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Martin Luther King)

RESUMO

DIAS-BARBOSA, C.Z.M.C. **SELEÇÃO DE LINHAGENS ELITE DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE FERRO E ZINCO.** 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI.

Objetivou-se com o presente estudo selecionar linhagens elites de feijão-caupi para biofortificação de ferro e zinco e determinar as características físico-químicas do grão. Foram analisadas amostras de grãos secos de 33 genótipos de feijão-caupi, sendo 31 linhagens elites e duas cultivares biofortificadas (testemunhas). Os genótipos foram divididos com base no porte da planta, sendo 16 de porte semiereto e 17 de porte semiprostrado. Realizou-se uma seleção das 10 melhores linhagens em ferro e zinco, que juntamente com as testemunhas, foram analisados para composição centesimal e tempo de cocção. Os tratamentos foram analisados estatisticamente em delineamento inteiramente casualizados, em triplicata para os minerais (ferro e zinco) e em duplicata para as demais características (conteúdos de umidade, cinzas, lipídios, carboidratos, proteínas e valor energético total; tempo de cocção). Foram realizadas análises de variância; as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), os resultados foram expressos em média \pm desvio padrão e estimados os parâmetros genéticos para os conteúdos de ferro e zinco, além da correlação entre as características. Com relação aos conteúdos de ferro e zinco, os genótipos semiprostrados apresentaram as seguintes variações (v) e médias (m) para os seguintes constituintes: Ferro: $v = 5,39$ a $7,96 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, $m = 6,52 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$; Zinco: $3,78$ a $5,37 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, $m = 4,34 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, que foram maiores que as dos genótipos semieretos; todas as linhagens apresentaram alto teor de ferro e seis destas (19,25%), apresentaram alto teor de zinco. Os genótipos semieretos apresentaram maior variabilidade genética para o conteúdo de ferro, os semiprostrados, para o conteúdo de zinco e ambos o alto componente genético na expressão do fenótipo. Verificou-se que o melhoramento dos genótipos para aumento do conteúdo de proteínas levou a decréscimos nos conteúdos de lipídios, carboidratos e no valor energético total, já o aumento do conteúdo de carboidratos aumentou o valor energético total e, o aumento deste, proporcionou ganhos para o conteúdo de zinco. A linhagem MNC04-792F-146 apresentou alelos favoráveis para o aumento do conteúdo de carboidratos e do valor energético total, enquanto as linhagens MNC04-769F-26, MNC04-769F-31 e MNC04-774F-90 demonstraram ser boas fontes de genes para o aumento do conteúdo de proteínas, diminuição no conteúdo de lipídios e rápido cozimento. Conclui-se que as linhagens MNC04-762F-9, MNC04-792F-146 e MNC04-769F-55 apresentaram maior potencial para serem lançados como cultivares biofortificadas para ferro e zinco no grão.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; minerais, características nutritivas; cozimento.

ABSTRACT

DIAS-BARBOSA, C.Z.M.C. **SELECTION OF ELITE COWPEA LINES FOR IRON AND ZINC BIOFORTIFICATION.** 2015. 78 f. Thesis (Master) – Master's Program in Food and Nutrition, Federal University of Piauí, Teresina, PI.

The main of this study was to select cowpea elite lines for iron and zinc biofortification and physicochemical characteristics of the grain. Dry grain samples of 33 cowpea genotypes were analyzed, of which 31 elite lines and two biofortified cultivars (control). The genotypes were divided based on the plant type, being 16 semi-erect type and 17 semi-prostrate type. A selection of the 10 best lines in iron and zinc, which together with the witnesses was performed, and were analyzed for chemical composition and cooking time. The treatments were statistically analyzed in a complete randomized block design, in triplicate for minerals (iron and zinc) and in duplicate to the other characteristics (moisture content, ash, lipids, carbohydrates, protein, and total energy intake; cooking time). Analyses of variance were performed; the means were grouped by the Scott-Knott test ($p \leq 0.05$), with the results expressed as mean \pm standard deviation; and genetic parameters for iron and zinc contents, besides correlation between characteristics. With respect to iron and zinc content, semi-prostrate genotypes showed the following variation (v) and average (m): Iron: $v = 5.39$ to $7.96 \text{ mg. } 100\text{g}^{-1}$, $m = 6.52 \text{ mg. } 100\text{g}^{-1}$; Zinc: 3.78 to $5.37 \text{ mg. } 100\text{g}^{-1}$, $m = 4.34 \text{ mg. } 100\text{g}^{-1}$, which were higher than those of semi-erect genotypes; all lines showed high iron content and six of these (19.25%), high zinc content. The semi-erect genotypes showed greater genetic variability for the iron content, semi-prostrate genotypes for zinc content and in both genotype groups, a high genetic component of the phenotype expression. It was found that the improvement of genotypes for increased protein content has led to decreases in fat content, total carbohydrate and energy, have increased carbohydrate content increased the total energy value and increasing this afforded gains for the zinc content. The MNC04-792F-146 line showed favorable alleles for the increase in carbohydrate content and total energy value, while the MNC04-769F-26, MNC04-769F-31, and MNC04-774F-90 lines proved to be good sources of genes for increasing the protein content, low lipid content and fast cooking. The MNC04-762F-9, MNC04-792F-146, and MNC04-769F-55 lines showed greater potential to be released as biofortified cultivars for iron and zinc in the grain.

Key words: *Vigna unguiculata*; minerals, Nutritional characteristics; Cooking.

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
CVG	Coeficiente de Variação Genético
DEP	Desnutrição Energético Protéica
DP	Desvio Padrão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food And Agriculture Organization
Fe	Ferro
FFC	Farinha de Feijão-Caupi
IDR	Ingestão Diária Recomendada
IITA	Instituto Internacional de Agricultura Tropical
INERA	Instituto do Ambiente e da Investigação Agrícola
IRAD	Centro de Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento
ISRA	Instituto de Pesquisa Agrícola Senegalês
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
OMS	Organização Mundial de Saúde
TC	Tempo de Cocção
UC	Universidade da Califórnia
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
VET	Valor Energético Total
WHO	World Health Organization

LISTA DE TABELAS

1: Código, genealogia e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi de porte semiereto avaliadas.	39
2 Código, genealogia e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado avaliadas.	39
3: Código, genealogia, subclasse comercial e porte da planta das 10 linhagens elite de feijão-caupi selecionadas com altos conteúdos de ferro e zinco no grão.	41
4: Conteúdos de ferro e zinco e estimativas dos parâmetros genéticos, coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de determinação genotípica (H^2) e ganhos genéticos (Gs) esperados com a seleção, obtidos a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi de porte semiereto.	49
5: Conteúdos de ferro e zinco e estimativas de parâmetros genéticos, coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de determinação genotípica (H^2) e ganhos genéticos (Gs) esperados com a seleção, obtidos a partir da avaliação de 17 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado.	51
6: Composição centesimal, valor energético e tempo de cocção de 12 genótipos de feijão-caupi.	56
7: Coeficientes de correlações de Pearson entre as características conteúdo de proteínas, carboidratos, tempo de cocção (TC), valor energético total (VET), ferro e zinco, estimados a partir da avaliação de 12 genótipos de feijão-caupi.	61

LISTA DE FIGURAS

1. Fluxograma de preparo das amostras de grãos de genótipos de feijão-caupi. 37
2. Farinha de feijão-caupi obtida após o processo de trituração em moinho de zircônia. 37
3. Farinha de feijão-caupi armazenada em saco de polietileno identificado. 38
4. Amostras de grãos das 10 linhagens elite de feijão-caupi com os conteúdos mais altos de ferro e zinco e das duas cultivares testemunhas. 41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Deficiência em micronutrientes	18
2.1.1 Ferro	19
2.1.2 Zinco	21
2.2 Intervenções nutricionais.....	21
2.3 Feijão-caupi.....	23
2.3.1 Composição química do grão.....	26
2.3.2 Melhoramento genético.....	28
2.3.3 Biofortificação.....	29
2.3.4 Tempo de cocção	31
2.3.5 Parâmetros genéticos	32
3 OBJETIVOS	35
3.1 Geral	35
3.2 Específicos	35
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Local e período de estudo	36
4.2 Delineamento experimental	36
4.3 Colheita e preparo das amostras de grãos de feijão-caupi.....	36
4.4 Material experimental	38
4.5 Análises físico-químicas do grão	40
4.5.1 Ferro e zinco	40
4.5.2 Composição centesimal.....	42
4.5.2.1 Umidade	42
4.5.2.2 Cinzas	42
4.5.2.3 Lipídios	43
4.5.2.4 Proteínas	43
4.5.2.5 Carboidratos	44
4.5.2.6 Valor Energético Total (VET).....	44
4.5.3 Tempo de cocção	44
4.6 Parâmetros genéticos.....	45
4.6.1 Coeficiente de variação genética.....	45

4.6.2 Coeficiente de determinação genotípica.....	45
4.6.3 Ganho genético esperado com a seleção.....	46
4.6.4 Correlação entre características (rF).....	47
4.7 Análise estatística	47
4.7.1 Análise de variância e agrupamento de médias.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Ferro e zinco.....	48
5.1.1 Genótipos semieretos.....	48
5.1.2 Genótipos semiprostrados.....	50
5.1.3 Genótipos semieretos e semiprostrados.....	53
5.2 Composição centesimal.....	55
5.2.1 Umidade.....	55
5.2.2 Cinzas.....	57
5.2.3 Lipídios.....	57
5.2.4 Proteínas.....	58
5.2.5 Carboidratos.....	59
5.2.6 Valor energético total (VET)	59
5.3 Tempo de cocção.....	59
5.4 Correlação entre características.....	61
6 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

O mundo continuou a enfrentar problemas de pobreza, a fome e a desnutrição, embora um bom progresso tenha sido feito nesse sentido pelos governos nacionais e instituições internacionais de desenvolvimento. Ainda cerca de 795 milhões de pessoas sofrem de fome crônica e cerca de dois mil milhões de pessoas em todo o mundo são afetadas por deficiências de micronutrientes (FAO, IFAD and WFP, 2015). Entre as crianças, cerca de 162 milhões (um quarto) com menos de cinco anos de idade sofrem de malnutrição crônica, cerca de 99 milhões estão abaixo do peso, e quase 55 milhões estão gravemente desnutridas (SHARMA et al., 2016). Cerca de um terço das crianças pré-escolares nos países em desenvolvimento sofrem de desnutrição-causando a morte de 5-10 milhões destas crianças a cada ano (ANDERSEN, 2015).

A deficiência em micronutrientes, causada por não ingerir porções diárias suficientes de nutrientes cruciais na dieta, não é um problema apenas de países em desenvolvimento, mas também dos países desenvolvidos. Essas deficiências interferem no desenvolvimento do ser humano, do ponto de vista físico, social e econômico, causando maior suscetibilidade a doenças em crianças e adultos, menor coeficiente intelectual, cegueira e atrofia em crianças e risco para saúde das mães e dos bebês durante o parto. Crianças desnutridas reduzem o crescimento econômico geral, pois têm maior probabilidade de deixar a escola e ter menor renda na vida adulta (RIOS et al., 2009).

A densidade de minerais e vitaminas em alimentos básicos consumidos amplamente pelos pobres pode ser aumentada quer através do melhoramento de plantas convencional ou através da utilização de técnicas de transgenia, um processo conhecido como biofortificação (BOUIS et al., 2011). A Organização das Nações Unidas (FAO, 2013) é favorável que haja o enriquecimento das plantas em relação aos seus micronutrientes, para acabar com a desnutrição no mundo.

A biofortificação poderá complementar outras estratégias que estão sendo utilizadas para combater à desnutrição como a suplementação medicamentosa, a fortificação de alimentos e a diversidade alimentar. Muitos resultados já foram alcançados com a biofortificação, pois o desenvolvimento de plantas biofortificadas com maiores teores de micronutrientes podem ajudar a melhorar o teor de nutrientes da dieta humana. Estudos de retenção dos nutrientes nas plantas são importantes e devem ser realizados para verificar o potencial dos alimentos em preservar os nutrientes após o processamento. Dentre as culturas pesquisadas há um destaque para o feijão-caupi (VELOZZO, 2010).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) faz parte da dieta de milhões de pessoas no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, sendo um alimento importante da dieta básica de comunidades pobres de países em desenvolvimento. Por isso, este foi incluído no programa de biofortificação de alimentos da Embrapa, o BioFORT, visando a sua biofortificação, principalmente em relação aos teores dos micronutrientes ferro e zinco.

A existência de variabilidade no germoplasma de feijão-caupi para os conteúdos de ferro e zinco, composição centesimal e tempo de cocção tem sido constatada em vários trabalhos (CARVALHO et al., 2011; MOURA et al., 2011; ROCHA et al., 2011b; SANTOS; BOITEUX, 2013), o que evidencia a possibilidade de seleção rápida (“fast track”) de genótipos, uma das primeiras etapas de um programa de biofortificação (NUTTI et al., 2009).

Os estudos sobre as estimativas de parâmetros genéticos e o controle genético de características nutricionais têm auxiliado os melhoristas na escolha da melhor estratégia de seleção e biofortificação do feijão-caupi no Brasil (MOURA et al., 2011b; CARVALHO et al., 2011). Os primeiros cruzamentos foram realizados e as primeiras populações segregantes obtidas, os genitores possuíam altos conteúdos de ferro e zinco no grão, estes se encontram em fase de avanço de gerações (CARVALHO et al., 2011; MOURA et al., 2011a; SANTOS; BOITEUX, 2013; COSTA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014).

A determinação do conteúdo de nutrientes e o tempo de cocção dos grãos de feijão-caupi, fornecerão informações para a seleção de genótipos com

elevados teores de macro, micronutrientes e menor tempo para o cozimento dos grãos, que subsidiarão etapas posteriores do programa de melhoramento para o desenvolvimento de cultivares biofortificadas. As cultivares selecionadas poderão ser adotadas pelos produtores, consumidores e pelos órgãos públicos governamentais, sendo esta, uma das medidas de intervenção na prevenção de doenças decorrentes da carência de nutrientes em crianças, gestantes, entre outros, principalmente em populações de baixa renda.

Esta pesquisa representa uma das etapas iniciais do programa de biofortificação e teve como objetivo selecionar linhagens elite de feijão-caupi biofortificadas em ferro e zinco e características físico-químicas promissoras no grão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Deficiência em micronutrientes

A dieta humana é reconhecidamente rica em calorias e deficiente em vitaminas e minerais (WHITE; BROADLEY, 2009; THAVARAJAH et al., 2010). Segundo Rios et al., (2009) as deficiências nutricionais estão associadas ao quadro estrutural de pobreza, sendo as de maior importância epidemiológica, a desnutrição energético-proteica (DEP), a hipovitaminose A e as deficiências minerais.

A desnutrição energético-proteica é uma doença causada por muitos fatores, de alta letalidade para o organismo, capaz de promover diversas alterações fisiológicas, por induzir o organismo a tentar adaptar-se à escassez de nutrientes (LIMA et al., 2010). A hipovitaminose A, caracterizada pela carência de vitamina A, causa alguns sinais clínicos que vão desde a cegueira noturna até a cegueira nutricional irreversível, assim como, mancha de Bitot (manchas brancas acinzentadas na parte interna dos olhos) e ceratomalacia (amolecimento e opacidade da córnea) (RAMALHO; FLORES; SAUNDERS, 2002).

A deficiência em micronutrientes atinge mais de 3 bilhões de pessoas em todo o mundo. Na última década, cerca de 50 a 70% de todas as mortes de crianças nos países em desenvolvimento, foram causadas direta ou indiretamente pela fome e desnutrição. O ser humano requer pelo menos 49 nutrientes para satisfazer as suas necessidades metabólicas, porém, a deficiência ou o consumo inadequado de um desses elementos pode gerar distúrbios fisiológicos que resultam em doenças, aumento da taxa de mortalidade, baixo rendimento produtivo, retardo mental, crescimento inadequado, entre outros (RIOS et al., 2009).

Estratégias de baixo custo e relativamente simples têm sido propostas e aprovadas em uma tentativa de reduzir a ocorrência de deficiências de minerais, tais como, o fornecimento de suplementos, a fortificação de alimentos e mudanças nos hábitos alimentares (OSENDARP et al., 2003; DAVIDSSON; NESTEL, 2004;). No entanto, para as comunidades em áreas menos

desenvolvidas, sem sistema de saúde, estas intervenções nem sempre foram bem-sucedidas (WELCH; GRAHAM, 2005).

Entre os micronutrientes com maior prevalência de deficiência, o ferro e zinco se destacam e, portanto, foram elencados para este estudo. O ferro e o zinco possuem várias funções no organismo humano e suas deficiências podem levar a consequências graves, com grande impacto à saúde e no desenvolvimento econômico dos países (HUNT, 2005).

2.1.1 Ferro

O ferro é um mineral que participa de muitas funções celulares básicas nos tecidos do corpo, sendo de extrema importância para o cérebro, células vermelhas do sangue e para os músculos. A deficiência de ferro é a carência nutricional mais comum no mundo, causando no indivíduo a chamada anemia ferropriva. Essa carência diminui a aptidão e a capacidade de trabalho, pois influencia nos mecanismos que transportam oxigênio, diminuindo a eficiência respiratória dentro do músculo (RIOS et al., 2009).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que em todo o mundo há aproximadamente 2 (dois) bilhões de anêmicos e que em sua maioria, seja causado por deficiência de ferro. Estudos de base populacional no Brasil mostram que a prevalência de anemia seja superior a 53%. A deficiência de ferro ocorre quando há um balanço negativo entre a ingestão e o requerimento de ferro. Com isso, as reservas são esgotadas e sendo de forma severa desenvolve-se a anemia, que é considerada o distúrbio nutricional mais comum, afetando os grupos de alto risco, principalmente, crianças, mulheres grávidas, lactantes e idosos (JORDÃO, BERNARDI, FILHO, 2009).

Os índices de prevalência de anemia, segundo estudos na cidade de São Paulo, mostram-se em expansão, tendo-se elevado de 22% para 35% nos anos de 1974 a 1984, aumento foi de 46% em crianças de idade inferior a cinco anos, nesse período. No Estado da Paraíba, os índices de anêmicos em pré-escolares aumentaram de 19% para 36%, entre os anos de 1982 a 1991. Em Recife alunos de escolas públicas, entre 7 e 12 anos, foram avaliados e mostraram um aumento nos índices de anêmicos de 9% para 19%, entre 1982

a 2001, representando com isso, um aumento acima de 100%. Há em todo o mundo 0,8 milhão (1,5%) de mortes causadas pela deficiência de ferro, representando 1,3% de todas as mortes masculinas e 1,8% das mortes femininas (BATISTA FILHO, 2004).

No ano de 2011, mais de dois milhões de pessoas em todo o mundo possuíam déficit de ferro e não há uma única forma de intervenção suficiente que possa reduzir significativamente essa deficiência, somente uma ação que envolva estratégias diferentes de combate à anemia poderá melhorar os resultados (LIMA et al., 2012).

Para a prevenção da anemia causada pela deficiência de ferro e consequente morte, a fortificação de alimentos é umas das estratégias utilizadas, sendo considerada a melhor abordagem para aumentar a ingestão desse mineral. A fortificação é um processo no qual é acrescido ao alimento, dentro dos parâmetros legais, um ou mais nutrientes, contidos ou não naturalmente neste, com o objetivo de reforçar seu valor nutritivo e prevenir ou corrigir eventuais deficiências nutricionais apresentadas pela população em geral ou de grupos de indivíduos (MARQUES et al., 2012; MOREIRA-ARAÚJO et al., 2008).

A fortificação com ferro é utilizada em muitos países em alimentos que são comumente consumidos pela população. É considerada uma solução de baixo custo e prática para combater a carência do mineral. Dos alimentos mais comumente fortificados, as farinhas de cereais se destacam, mas também as massas, arroz, molhos, entre outros. No Brasil, desde junho de 2004 é obrigatório à fortificação das farinhas de trigo e milho com ferro e ácido fólico, seguindo exemplos de outros países (ASSUNÇÃO; SANTOS, 2007; SOUZA-FILHO et al., 2011; FUJIMORI, et al., 2011).

A ingestão diária recomendada de ferro por dia é de 14mg para adultos, 0,27mg a 9mg para lactentes e crianças, dependendo da idade, 27mg para gestantes e 15mg para lactantes, segundo a Resolução N^o 269 de 22 de setembro de 2005. Os alimentos considerados fontes desse mineral são: carne vermelha, miúdos, feijão, frutas secas, suco de tomate, frango, nozes, aspargos, clara de ovos, ostras e camarões (BRASIL, 2005).

2.1.2 Zinco

A deficiência de zinco está relacionada com sua má absorção ou consumo inadequado, e a diarreia contribui para as perdas adicionais deste mineral. Naquelas populações em que há limitações no consumo de produtos de origem animal, cuja biodisponibilidade é maior, e consumo de vegetais contendo elevadas concentrações de fitato, que são inibidores da absorção de zinco, exigirá maior consumo de zinco (LONNERDAL, 2000).

O zinco envolve-se em muitos processos no organismo humano como síntese de DNA e proteínas, processos mitóticos, expressão e ativação gênica, sendo essencial para a atividade de mais de 300 enzimas, o que enfatiza a importância do seu consumo por mulheres gestantes (LONNERDAL, 2000).

Um terço da população mundial é afetada pela deficiência de zinco, com estimativas que variam de 4 a 73%, a média para gestantes com esta deficiência, está em torno de 82%. A deficiência de zinco está associada a vários fatores como: redução do crescimento e do desenvolvimento do feto, problemas no desenvolvimento do sistema imunológico, perda de apetite, lesões na pele, prejuízos na acuidade do paladar, dificuldade nos processos de cicatrização, hipogonadismo, retardo na maturação sexual, anorexia, morbidade e mortalidade por doenças infecciosas (RIOS et al., 2009).

A ingestão diária recomendada de zinco por dia é de 7mg para adultos, de 2,8mg a 5,6mg para lactentes e crianças dependendo da idade, 11mg para gestantes e 9,5mg para lactantes, segundo a Resolução N^o 269 de 22 de setembro de 2005. Os alimentos considerados fontes são os crustáceos, ovos, carne, fígado, levedo de cerveja e sementes de abóbora (BRASIL, 2005).

2.2 Intervenções nutricionais

Intervenções nutricionais são necessárias em populações para as quais há acesso limitado a alimentos ricos em micronutrientes e há consumo em proporções inadequadas de antinutrientes e inibidores na dieta, causando assim deficiências nutricionais. Nos países em desenvolvimento, as principais estratégias que ajudam a combater deficiências nutricionais são: diversificação

da dieta, suplementação medicamentosa para mulheres grávidas e crianças com vitaminas e minerais, fortificação dos alimentos, introdução de produtos agrícolas biofortificados que possuem maior conteúdo de minerais e vitaminas, além do incentivo aos programas de intervenções nutricionais existentes. Estas estratégias proporcionam maior sustentabilidade e baixo custo para produtores e consumidores (LONG; BAZINGER; SMITH.,2004; MOREIRA-ARAÚJO et al., 2008).

As deficiências em micronutrientes ocorrem frequentemente na população humana, causando principalmente a desnutrição, que apresenta como principais causas: a baixa ingestão de grãos de leguminosas, frutas, hortaliças e produtos de origem animal; solos pobres em minerais e fatores antinutricionais presentes na dieta que atuam reduzindo a absorção dos nutrientes pelo organismo (OLIVEIRA, 2014).

Desenvolver alimentos com maiores teores de nutrientes, além de criar um novo produto ou melhorar as características dos já existentes, eleva a qualidade da alimentação e nutrição da população, sendo este efeito mais eficaz quando melhora a qualidade nutricional dos produtos que fazem parte do hábito de consumo diário da população. Esta estratégia atende as exigências do consumidor de optar por produtos que tragam benefícios para a saúde, tendo assim grande importância para a indústria de alimentos (FROTA et al., 2009).

Para atuarem nos programas de intervenções nutricionais, pesquisadores vêm desenvolvendo a farinha de feijão-caupi (FFC). A partir, da farinha é possível produzir bolos, macarrão, biscoitos, pães, pastéis e doces, com a vantagem de ser um alimento fortificado (OLIVEIRA, 2014).

Frota et al. (2010) ao avaliar produtos de panificação biscoitos e rocamboles contendo farinha de feijão-caupi (FFC), observaram que o emprego da FFC nos alimentos contribuiu para elevar a qualidade nutricional, principalmente em relação, ao teor de proteínas, ferro, zinco, magnésio, potássio e da vitamina piridoxina. Testes sensoriais demonstraram que adicionar FFC para melhorar o valor nutritivo dos alimentos, é viável, pois a maioria das formulações apresentou aceitação superior a 70%. Lima et al. (2013) obtiveram farinha de feijão-caupi com teor de proteína variando de

23,36% a 26,70% e utilizaram na elaboração de pastéis de forno, com aceitação satisfatória.

Fujimori et al.(2011) realizaram um estudo em cinco regiões do Brasil com mulheres grávidas entre os anos de 2004 a 2005 para verificar a ocorrência de anemia. Os resultados evidenciaram que a prevalência de anemia na região nordeste era de 37,4% e após a fortificação com ferro, o número de anêmicos reduziu para 28,7%.

Foi realizada uma intervenção nutricional em crianças pré-escolares, com biscoito enriquecido com farinha de feijão-caupi resultantes de cultivares biofortificadas para o controle da anemia ferropriva. Os resultados demonstraram que antes da intervenção a prevalência de anemia entre os participantes era de 11,5% e após a intervenção houve redução na prevalência de anemia para 4,2% (LANDIM, 2013).

2.3 Feijão-caupi

No Brasil, várias espécies de feijão são cultivadas, no entanto, somente as espécies feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* (L.)) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) são consideradas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como feijões (BRASIL, 2008).

O feijão-caupi, cultura de origem africana, foi introduzido no Brasil na segunda metade do século XVI por colonizadores portugueses pelo Estado da Bahia. A partir desse Estado, foi difundido para a toda região Nordeste e para outras regiões do país. É classificado botanicamente como uma planta dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *Catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (FREIRE FILHO et al., 2011). É conhecido vulgarmente como feijão-de-corda, feijão macassa ou feijão macassar, na região nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-estrada ou feijão-da-colônia, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul; feijão catador e feijão gurutuba, em algumas regiões do Estado

da Bahia e norte de Minas Gerais; e feijão fradinho, no Estado do Rio de Janeiro (NEVES et al., 2011).

Segundo o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o feijão-caupi pertence ao Grupo Comercial II e tem as seguintes classes: Branco, Preto, Cores e Misturado. Essas classes ainda se subdividem nas subclasses: Branco liso, Branco rugoso, Fradinho de halo preto, Fradinho de halo vermelho, Preto, Mulato, Sempre-verde, Canapu, Verde, Manteiga, Corujinha, Azulão, Rajada e Vinagre. As subclasses Branco liso, Branco Rugoso e Sempre-verde são consideradas as mais importantes em relação ao valor comercial. Em relação ao cultivo, as subclasses Canapu e Manteiga são as mais cultivadas no semiárido do Nordeste e na região Norte, respectivamente (FREIRE FILHO et al., 2005, 2011; SILVA et al., 2013).

O feijão-caupi apresenta elevada capacidade de adaptar-se a diferentes ecossistemas e de se desenvolver em solos com baixa fertilidade, tem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, baixa exigência hídrica e ciclo de maturação curto (BARROS, 2014).

Por apresentar certa tolerância à seca, o feijão-caupi pode ser cultivado em diferentes condições de clima e solo, com emprego de pouca tecnologia, sendo, por isso, tradicionalmente explorado por pequenos agricultores, normalmente descapitalizados, sendo a principal fonte de proteínas de famílias nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, tanto das zonas rurais como urbanas (NEVES et al., 2011).

Em 2104, segunda a FAO (FAOSTAT, 2016), o feijão-caupi apresentou uma área colhida de 12, 5 milhões de hectares, uma produção de 5,6 milhões de toneladas e uma produtividade de 446, 5 kg ha⁻¹. Os principais produtores mundiais de feijão-caupi em 2015 foram Nigéria, Níger e Burkina Faso, com produção média, respectivamente, de 2,1 milhões de toneladas, 1,6 milhões de toneladas e 571,3 mil toneladas. Nesse ano, o Brasil ocupou a 4ª colocação, com 189,1 mil toneladas.

No Brasil, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Norte e Nordeste, e está se expandindo para a região Centro-Oeste, principalmente para o Mato Grosso. Em 2015, os maiores produtores nacionais foram os estados do Mato Grosso, ocupando a 1ª posição, com uma produção de

179.991 toneladas; Ceará, ocupando a 2ª posição, com produção de 64.014 toneladas; e o Piauí, ocupando a 3ª posição, com produção de 47.531 toneladas (LSPA, 2015).

A área cultivada de feijão-caupi em 2015 no Brasil foi de 689.547 ha, com uma produção de 189.149 toneladas e produtividade de 274 kg ha⁻¹ (LSPA, 2015), considerando que o feijão-caupi corresponde a 37,53% e 15,48% da área e produção total de feijão das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil (FREIRE FILHO et al., 2011). Com base nesses dados, esta cultura gerou em 2015, 861.934 empregos (0,8 emprego/hectare/ano), supriu de alimento 10.387.095 pessoas (18,21 kg/pessoa/ano) e o valor da produção estimada foi de R\$ 252.198.667, 00. Deve-se comentar que a área e a produção de feijão-caupi acima, provavelmente estejam subestimadas, pois não considera a área e a produção nas demais regiões do Brasil (Sudeste e Sul), já que não há estatística oficial do IBGE para essa cultura.

O feijão-caupi pode ser comercializado como grãos secos (mercado principal), grãos imaturos (feijão verde), farinha e sementes (ROCHA, 2009). O mercado brasileiro apresenta boas perspectivas de expansão quanto ao processamento industrial e do seu consumo e traz rendimentos atrativos para o produtor (FREIRE FILHO et al., 2007; ROCHA, 2009), com destaque significativo, principalmente nos estados nordestinos onde há a maior concentração de consumidores, estimados em 29 milhões de pessoas (MOREIRA et al., 2008).

A planta do feijão-caupi pode ser totalmente aproveitada, os ramos e as folhas podem ser destinados como complemento da alimentação usada para animais e a sua massa verde pode ser fonte de matéria orgânica quando incorporada aos solos (OLIVEIRA JÚNIOR; MEDEIROS; MOREIRA, 2000; VIEIRA; VIEIRA; CALDAS, 2000).

Devido ao seu grande consumo na região Nordeste do Brasil, o feijão-caupi é um dos componentes principais da refeição da população de baixa renda, e por isso, tem sido objeto de melhoramento genético e biofortificação (NEVES et al., 2011). Segundo Santos et al. (2008), o melhoramento do feijão-caupi tem como objetivo principal: o aumento da produtividade, a resistência a doenças (virose) e a melhora da arquitetura da planta. Tão importante quanto

à produtividade e a resistência a doenças, a qualidade tecnológica para o cozimento do grão comercializado é uma das exigências do mercado que deve ser atendida.

Aumentar os teores de proteínas, ferro, zinco e fibras digestíveis dos grãos, assim como desenvolver cultivares com melhores características para processamento mínimo (resfriamento e congelamento) e processamento industrial (produção de farinha, produtos pré-cozidos e enlatados) fazem parte das metas a serem alcançadas a curto e médio prazo por meio do melhoramento genético do feijão-caupi (FREIRE FILHO et al., 2011).

2.3.1 Composição química do grão

A composição química do grão do feijão-caupi pode mudar, dependendo de variáveis como o tipo de cultivar, origem, localização, clima, condições ambientais, tipo de solo, armazenamento, processamento e variação genética. Outros fatores que podem influenciar são as práticas agrônômicas diferenciadas adotadas pelos produtores, manipulação genética, manejo pós-colheita, armazenamento, idade das sementes e tratamento aplicado na preparação para o consumo humano (MAPA, 2002; AFONSO, 2010).

O feijão-caupi destaca-se nas regiões tropicais quando comparado a outros produtos agrícola por seu elevado valor nutritivo e o seu baixo custo de produção. Apresenta em média 23 a 25% de proteínas no grão, sendo, portanto, uma importante fonte deste constituinte, contendo todos os aminoácidos essenciais, mas é pobre nos aminoácidos sulfurados, metionina e cisteína, e boa quantidade de carboidratos, 62% em média. Destacam-se também em relação aos altos teores de fibras alimentares, vitaminas, sendo excelente fonte de tiamina e niacina e têm quantidades razoáveis de riboflavina, piridoxina e folacina. Quanto aos minerais, representa uma boa fonte de ferro, zinco, potássio, fósforo e magnésio. Possui baixas quantidades de lipídeos, em média 2%, com a quantidade proporcional de ácidos graxos insaturados, maior do que a de ácidos graxos saturados e não contém colesterol (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

Na sua composição química, há a presença de substâncias antioxidantes, como os compostos fenólicos. Estes atuam na captura de radicais livres e estimulam a atividade das enzimas antioxidantes, ativando e/ou inibindo a expressão de algumas enzimas relacionadas com processos cancerígenos (SHAHIDI; HO, 2007).

Os nutrientes encontrados nos grãos de feijão-caupi são muito importantes e trazem efeitos positivos à saúde de quem os consomem. Com isso, estudos estão sendo realizados para avaliar as características nutricionais dos genótipos, principalmente no que diz respeito aos conteúdos de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais e fibras (ANDRADE, 2010).

Por ser considerado um alimento de alto valor nutritivo, a recomendação do guia alimentar para a população brasileira é de que o consumo de feijão, seja no mínimo, quatro vezes por semana, como fonte de proteínas da dieta (BRASIL, 2006). O consumo de leguminosas está associado à reduzida incidência de doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer, devido principalmente à presença de substâncias antioxidantes (OOMAH; TIGER; BALASUBRAMANIAN, 2006).

O valor nutritivo do feijão-caupi poderá sofrer interferência por causa da baixa digestibilidade de suas proteínas e por causa de efeitos adversos de componentes do grão sobre o metabolismo humano, efeito esse causado particularmente por fatores antinutricionais, como as lectinas, os inibidores de tripsina, taninos, dentre outros (OLIVERA-CASTILLO et al., 2007).

A farinha obtida do feijão-caupi pode ser usada na fabricação de alimentos para populações de diferentes grupos etários, enriquecendo diversos tipos de produtos alimentícios, como massas, pães, biscoitos, para aumentar a qualidade da alimentação e nutrição da população. Dessa forma, a farinha de feijão-caupi (FFC) tem sido usada na fortificação de alimentos e na elaboração de produtos da panificação (FROTA et al., 2010; LANDIM, 2013; SIMPLÍCIO, 2013). Na pesquisa realizada por Frota et al. (2010), a adição de 30% da FFC na elaboração de biscoitos aumentou em 2,4 vezes as quantidades de ferro e magnésio, e em quase três vezes os teores de zinco, mostrando a viabilidade da utilização do feijão-caupi no incremento do valor nutritivo.

Pesquisas e maiores investigações bioquímicas devem ser incentivadas para serem realizados em novas linhagens e cultivares, para que sejam selecionados grãos com as melhores características nutricionais, maiores teores de aminoácidos limitantes e com a redução de inibidores enzimáticos, melhorando assim sua qualidade, assim como, o aproveitamento nutricional e suas características agronômicas (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

2.3.2 Melhoramento Genético

O melhoramento genético do feijão-caupi tem sido realizado em várias instituições de pesquisa ao redor do mundo como a Universidade da Califórnia – UC (Riverside, Califórnia, Estados Unidos), Instituto Internacional de Agricultura Tropical – IITA (Ibadan, Nigéria, África) e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA. O Instituto de Pesquisa Agrícola Senegalês - ISRA vem conduzindo programas de melhoramento genético por mais de 20 anos, assim como, o Instituto do Ambiente e da Investigação Agrícola (INERA) em Burkina Faso, e o Centro de Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento (IRAD) localizado no Camarões.

No Brasil, o melhoramento do feijão-caupi era voltado, principalmente, para o rendimento do grão, objetivando seu aumento; em seguida, o melhoramento voltou-se para a resistência às doenças, principalmente viroses. Posteriormente, grande ênfase foi dada à qualidade e a arquitetura da planta (FREIRE FILHO et al., 2005). Rocha et al. (2013a) mencionaram que o atual programa de melhoramento da Embrapa Meio-Norte tem como principais objetivos: o desenvolvimento de cultivares com altos teores de proteínas e minerais, especialmente ferro e zinco; compostos bioativos; melhor qualidade comercial (cor, forma e aspecto do tegumento) e culinária do grão (cocção) e maior adequação à agroindústria e ao mercado de feijão-verde. Desde 1973, quando a Embrapa iniciou os trabalhos de melhoramento genético do feijão-caupi, foram lançadas até o ano de 2011, 71 cultivares de feijão-caupi (FREIRE FILHO et al., 2011).

2.3.3 Biofortificação

O crescente avanço de pesquisas científicas realizadas no campo da alimentação e saúde fez com que houvesse a necessidade de desenvolver alimentos fortificados/ biofortificados, aumentando o interesse de desenvolver alimentos que promovam a saúde e o bem-estar e, ao mesmo tempo, também previnam e reduzam os riscos de algumas doenças (VELOZZO, 2010).

A biofortificação é uma intervenção nutricional específica com o objetivo de aumentar o conteúdo de micronutrientes em alimentos por meio da utilização de práticas agronômicas (biofortificação agronômica) e de melhoramento de plantas (biofortificação genética convencional ou transgênica). Diferente da fortificação de alimentos, que ocorre durante o processamento, ela ocorre com o aumento do conteúdo de micronutrientes da planta. Beneficia tanto a família de agricultores que produzem para o consumo próprio, assim como as famílias urbanas e rurais que compram alimentos biofortificados (BOUIS et al., 2011). Na biofortificação genética, identificam-se os genótipos com elevados teores de minerais e outros elementos, avaliando seu desempenho em cruzamentos e a capacidade de transmitir suas características superiores, ou seja, identificando aquele genótipo que tem maior capacidade de extrair em níveis suficientes os minerais em quantidades adequadas para as necessidades humana (CARVALHO et al., 2011).

As atividades de biofortificação do feijão-caupi no Brasil conduzidas pela Embrapa Meio-Norte, tiveram início em 2006, dentro do programa internacional “HarvestPlus”, com a introdução de duas linhagens ricas em ferro e zinco do IITA, em Ibadan, Nigéria, África. Em 2009, as atividades foram ampliadas com o início do programa brasileiro BioFORT. Dentre os anos de 2007 a 2009, com base em avaliações rápidas (“fast track”) do germoplasma elite de feijão-caupi, foram lançadas linhagens como cultivares comerciais, sendo denominadas de BRS Aracê, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique (Feijão-caupi..., 2010).

O controle genético dos conteúdos de ferro e zinco no grão de feijão-caupi tem sido investigado e os resultados têm mostrado que envolve efeito materno (MOURA et al., 2011) e a herança é quantitativa, com predominância de ação gênica do tipo aditiva para o conteúdo de ferro (CARVALHO et al.,

2011; SANTOS; BOITEUX, 2015) e epistasia para o conteúdo de zinco (SANTOS; BOITEUX, 2015) com forte influência do ambiente e da interação genótipos x ambientes, principalmente para o conteúdo de ferro (ROCHA et al., 2009; COSTA et al., 2014; OLIVEIRA, 2014).

Os programas de biofortificação no Brasil “HarvestPlus” e BioFORT contemplam oito culturas básicas destinadas à alimentação humana: abóbora, arroz, batata-doce, feijão comum, feijão-caupi, mandioca milho e trigo (RIOS et al., 2009). No caso do feijão-caupi, inicialmente realiza-se um “screening” ou “fast track” do germoplasma disponível de feijão-caupi, com ênfase nos conteúdos de ferro e zinco no grão. Os melhores genótipos são cruzados entre si gerando populações segregantes com altos conteúdos de ferro e zinco, bem como alta produtividade de grãos (CARVALHO, 2011; MOURA, 2011; SANTOS; BOITEUX, 2013; COSTA et al., 2014; MONTEIRO, 2014;; OLIVEIRA, 2014). Nas etapas finais, as linhagens com alto conteúdo desses nutrientes são validadas em vários ambientes para verificar o efeito da interação genótipo x ambiente e subsidiar a seleção de genótipos com alta adaptabilidade e estabilidade (ROCHA et al., 2011c; 2013b).

Introduzir alimentos biofortificados na alimentação humana tem como objetivo o maior acesso da população principalmente de baixa renda a consumir alimentos com teores elevados de minerais, reduzindo a deficiência em micronutrientes, e conseqüente diminuição de doenças causadas por essa deficiência que comprometem tanto o crescimento físico quanto o crescimento intelectual (NUTTI et al., 2006). No Brasil o foco da biofortificação do feijão – caupi é maior nos estados do Maranhão e Sergipe, onde os registros de ocorrências de carência nutricional em parcelas da população são maiores (FRANCO et al., 2009; Feijão-caupi, 2010).

2.3.4 Tempo de cocção

Assim como outras leguminosas, o consumo de feijão-caupi requer tratamento térmico para inativar os fatores antinutricionais (inibidores de amilases e lecitinas), melhorar a digestibilidade e a palatabilidade (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008). Devido a isso, o cozimento torna-se a etapa de

preparo mais importante, pois além de inativar os fatores antinutricionais (BARAMPANA; SIMARD, 1994), ainda assegura os aspectos necessários para que este possa ser aceito na dieta humana, como: a textura, o sabor, o aroma e a coloração (LAM-SANCHEZ et al., 1990).

Devido ao tempo necessário para a cocção do feijão-caupi e ao restrito tempo disponível da população para o preparo das refeições, o consumo do feijão tem diminuído, ficando evidente obter cultivares que apresentem menor tempo de cocção. O tempo de cocção está diretamente relacionado com a capacidade de hidratação dos grãos que pode ser influenciada pela impermeabilidade do tegumento do feijão à água ou dos cotilédones à água (STANLEY; AGUILERA, 1985). Quanto maior a capacidade de hidratação em menor tempo, menor será o tempo de cocção (COELHO et al., 2007).

Identificar as cultivares que apresentem menor tempo de cocção com rápida capacidade de hidratação e alta expansão volumétrica com tegumentos que não se partam durante o cozimento é desejável. Além disso, períodos muito longos para a cocção causariam mudanças estruturais a nível celular, provocando assim perda de nutrientes (CARBONELL et al., 2003).

Na escolha de uma cultivar pelos consumidores, o tempo de cozimento é um fator muito importante a ser levado em consideração, devido à economia de gás, energia e tempo de preparo (CARVALHO et al., 2011). Com isso, estudos são realizados para a obtenção de novos métodos de processamento para melhorar o tempo de cozimento dos grãos, tornando-os mais facilmente aceitáveis para um maior grupo de consumidores (OLAPADE et al., 2001).

Os programas de melhoramento genético de feijão buscam obter cultivares que possuam forma, tamanho, cor e brilho aceitáveis no mercado, aliado a resistência a doenças e a alta produtividade. Além disso, os grãos devem ter características nutricionais e culinárias desejáveis pelo consumidor, como: facilidade de cocção, textura macia do tegumento, boa palatabilidade, capacidade de produzir caldo claro e denso e maior teor de proteínas e minerais (MESQUITA et al., 2007).

Inúmeros autores avaliaram o tempo de cocção (TC) em genótipos de feijão-caupi, sendo encontrada variabilidade para essa característica, o que permite o seu melhoramento genético. D'Albuquerque (2013), avaliando um

grupo de genótipos de feijão-caupi de porte semiereto, encontrou variação para o tempo de cocção de 13 a 20 minutos. Moura (2011) observou variação para o TC de 31 a 40 min em populações segregantes de feijão-caupi. Oliveira (2014) observou variação de 9 a 13 min em populações F₄ de feijão-caupi.

Devido ao alto consumo de feijão-caupi pela população nordestina de baixa renda, por ser um alimento de fácil acesso e de baixo custo, é importante a continuidade de execução dos programas de melhoramento genético para que sejam disponibilizadas cultivares com maior valor nutritivo, por se tratar de uma tradicional matéria prima da dieta da maioria das famílias. Além disto, em populações com carências nutricionais muito frequentes, a biofortificação, juntamente com as outras intervenções nutricionais tornam-se bastante necessárias. Aliado à qualidade nutricional, pode-se ainda agregar a essas cultivares, um menor tempo de cocção.

2.3.5 Parâmetros genéticos

Nas culturas, a variabilidade genética da concentração dos nutrientes que estão presentes nas partes comestíveis é muito importante para os programas de melhoramento convencional, pois possibilita a utilização de cultivares que tem maior eficiência em acumular nutrientes, sendo essencial para o desenvolvimento de cultivares biofortificadas e produtivas (WHITE; BROADLEY, 2005).

A relação entre os componentes da variabilidade genética é fundamental em qualquer programa de melhoramento genético, pois permite conhecer o controle genético do caráter e o potencial da população para a seleção (RAMALHO et al., 2012b). Estimativas confiáveis dos componentes de variação genética orientam os melhoristas na seleção de indivíduos superiores (BORÉM; MIRANDA, 2013).

O coeficiente de variação genético (CV_g) é um parâmetro que possibilita a comparação da variabilidade genética existente em diferentes populações, ou dentro da mesma população para diversos caracteres, este é estimado pela razão do desvio-padrão em relação à média e tem como objetivo informar sobre a variabilidade da população. Estimativas de coeficiente de variação

genético elevados indicam maior variabilidade para o caráter, sendo altamente promissor para a realização de seleção visando a obtenção de ganhos no melhoramento genético (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012).

Durante a seleção, cabe ao melhorista selecionar um genótipo em detrimento de outro. Essa etapa requer muito cuidado, pois pode-se estar eliminando genes de interesse ou repassando alelos desfavoráveis para a geração seguinte. Com isso, a herdabilidade (h^2) torna-se uma ferramenta indispensável no melhoramento genético, pois é um parâmetro que quantifica as relações das variâncias fenotípicas e genéticas (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Em termos de modelos estatísticos, a herdabilidade (h^2) pode ser estimada em populações oriundas de um mesmo cruzamento, geralmente de efeito aleatório. Quando os genótipos são considerados de efeito fixo, ou seja, passaram por etapas de seleção, a herdabilidade é denominada de coeficiente de determinação genotípica (H^2) (TORRES, 2015).

O coeficiente de herdabilidade pode variar de acordo com o caráter analisado, diversidade da população, nível de endogamia da população, tamanho da amostra e tipo de ambiente, unidade experimental e a precisão na condução do experimento e coleta de dados. Este é essencial para o melhorista por representar a proporção de variância genética presente na variabilidade total (fenótipo), pois permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção, como: estimar o ganho genético, escolher o método de seleção mais eficiente e as alternativas para se conduzir o processo seletivo (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2012a; RAMALHO et al., 2012b; BORÉM; MIRANDA, 2013).

Elevadas estimativas de herdabilidade refletem uma grande contribuição da variância genotípica, possibilitando em alguns casos o uso direto de seleção fenotípica. Entretanto, caracteres que possuem baixa herdabilidade podem ser melhorados por seleção indireta por meio da seleção de outros caracteres correlacionados com a mesma e que possuem alta herdabilidade (SHIMELIS; SHIRINGANI, 2010).

A correlação entre os caracteres mede o grau de associação entre duas variáveis e varia de -1 a +1. Esta é importante para determinar a associação entre os caracteres, direcionando a seleção de forma direta ou indireta em

caracteres de baixa herdabilidade. As correlações fenotípicas podem ter causas genéticas ou ambientais e são diretamente observadas (CRUZ, 2006; RAMALHO et al., 2012a).

O ganho genético com a seleção tem relação direta com o diferencial de seleção, o qual é dependente da média dos indivíduos selecionados e a média da população original. Entretanto, ao se tratar de caracteres quantitativos a seleção em um pequeno grupo de genótipos superiores resulta em um maior diferencial de seleção e, conseqüentemente um maior ganho genético devido a alta pressão exercida pela seleção (VENCOVSKY, 1987).

Devido a grande ocorrência de deficiências de micronutrientes na população, em especial ferro e zinco, ocasionada pelo consumo de uma dieta desbalanceada, é de suma importância que haja programas de intervenção nutricional. O feijão-caupi por representar uma das principais fontes de micronutrientes para a população de baixa renda do Nordeste brasileiro e apresentar bastante variabilidade para esses nutrientes e características culinárias, apresenta grande potencial para obtenção de ganhos com a seleção de genótipos e o melhoramento visando a biofortificação de ferro e zinco e rápido cozimento. Por meio da introdução da farinha obtida de cultivares biofortificadas em diversos alimentos, estes poderão ser usados em programas de intervenções nutricionais, o que resultará em efeitos benéficos no combate à desnutrição de populações carentes.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Selecionar linhagens elite de feijão-caupi para biofortificação do grão com ferro e zinco e analisar as características físico-químicas do grão.

3.2 Específicos

- Determinar o conteúdo dos minerais ferro e zinco nos grãos de linhagens elite de feijão-caupi;
- Selecionar as linhagens elite que apresentam altos teores de ferro e zinco;
- Analisar a composição centesimal e o valor energético total dos grãos de linhagens elite de feijão-caupi;
- Avaliar o tempo de cocção destas linhagens;
- Estimar parâmetros genéticos para auxiliar na seleção de linhagens elite e o lançamento de novas cultivares de feijão-caupi biofortificadas.
- Correlacionar os resultados obtidos entre si, avaliando o aumento e o decréscimo de uma característica com outra.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e período do estudo

O cultivo dos genótipos de feijão-caupi utilizados neste estudo e as análises laboratoriais foram realizados, respectivamente, no campo experimental e Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI. O cultivo foi conduzido entre os meses de março e maio de 2014 e as análises realizadas no período de julho de 2014 a janeiro de 2015.

4.2 Delineamento experimental

O ensaio foi conduzido utilizando o delineamento inteiramente casualizado com 33 tratamentos feitos em 3 repetições, representados por: 15 linhagens de porte semiereto, 16 linhagens de porte semiprostrado e duas cultivares comerciais (testemunhas). Cada tratamento foi representado por uma amostra de grãos colhida ao acaso de cada tratamento.

4.3 Colheita e preparo das amostras de grãos de feijão-caupi

A colheita das amostras de grãos dos genótipos de feijão-caupi foi realizada na fase de maturação fisiológica do grão, quando este apresentava em torno de 15% de umidade no campo. Após a colheita, as amostras foram secas ao sol, espalhadas em uma lona por cerca de 2h, até que a umidade ficasse em torno de 13%, porcentagem esta adequada para manter os grãos armazenados sem que haja apodrecimento ou o crescimento de microrganismos indesejáveis, e armazenadas em sacos de papel, sob refrigeração. Em seguida, estas foram transportadas para o Laboratório de Bromatologia em recipiente isotérmico.

Para as análises, as amostras de grãos foram lavadas com água destilada e levadas para estufa a 60°C durante 48h. Em seguida, os grãos foram triturados em moinho de bolas de zircônia, com a finalidade de obtenção de uma farinha. Essa farinha foi armazenada em saco fechado de polietileno identificado, e mantida em temperatura de refrigeração (4°C), segundo

metodologia descrita por Silva; Rocha; Brazaca (2009) com adaptações (Figuras 1, 2 e 3).

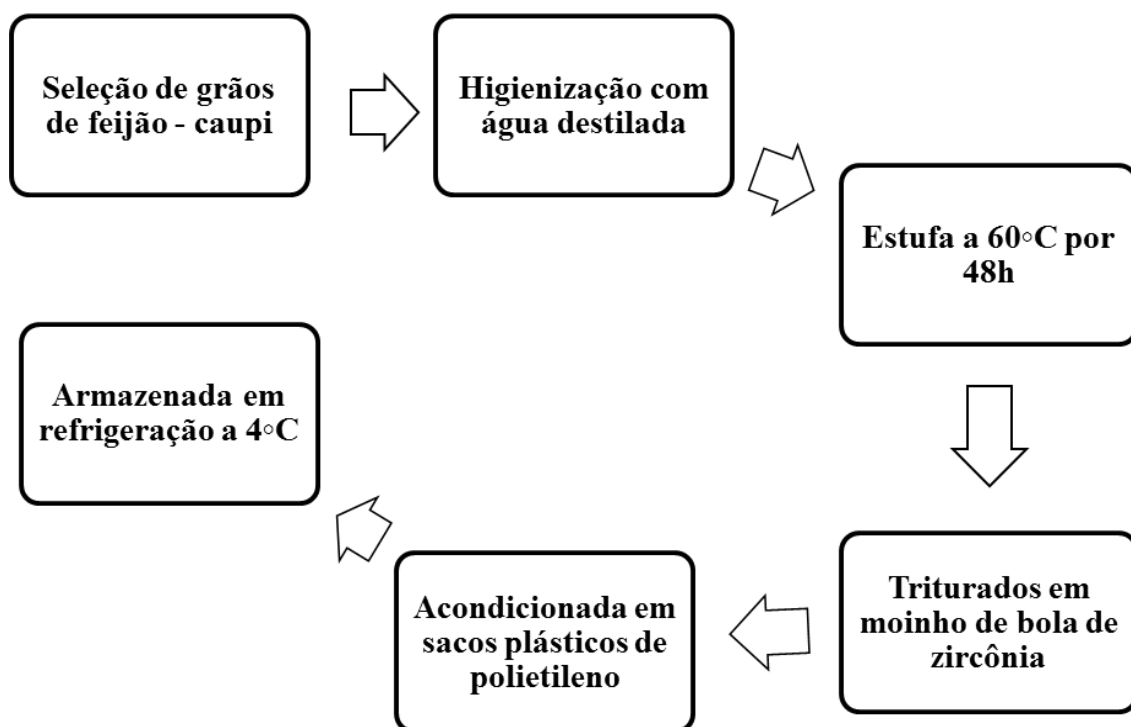


Figura 1: Fluxograma de preparo das amostras de grãos de genótipos elite de feijão-caupi para obtenção da farinha. Teresina, PI, 2014.

Fonte: Dados da Pesquisa.



Figura 2: Farinha obtida após a trituração dos grãos de genótipos de feijão-caupi em moinho de bola de zircônia. Teresina, PI, 2014.

Fonte: Arquivo pessoal



Figura 3: Farinha de feijão-caupi armazenada em saco de polietileno identificado. Teresina, PI, 2014.

Fonte: Arquivo pessoal.

4.4 Material experimental

Foram analisadas amostras de grãos de 31 linhagens elite de feijão-caupi e duas cultivares biofortificadas (BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque), utilizadas como testemunhas. As linhagens elite fazem parte dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) conduzidos entre os anos de 2013 a 2015, em ambientes das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Os ensaios de VCU representam a etapa final de avaliação de linhagens do programa de melhoramento genético e subsidiam o lançamento e a recomendação de novas cultivares de feijão-caupi para o mercado. A avaliação das 31 linhagens elite para os conteúdos de ferro e zinco no grão representa uma etapa do programa de biofortificação do feijão-caupi chamada avaliação rápida (“fast track”). Essa etapa subsidiará a etapa posterior do programa que é a validação das linhagens com altos conteúdos desses minerais em vários ambientes da região Meio-Norte do Brasil.

As linhagens e cultivares testemunhas de porte semiereto e semiprostrado encontram-se descritas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Código, genealogia e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi de porte semiereto avaliadas. Teresina, PI, 2015.

Linhagem/cultivar	Genealogia	Subclasse comercial
1-MNC04-762F-3	TE96-282-22G x (Te96-282-22G x Vita 7)	BL
2-MNC04-769F-30	CE-315 x TE97-304G-12	ML
3-MNC04-769F-48	CE-315 x TE97-304G-12	ML
4-MNC04-769F-62	CE-315 x TE97-304G-12	ML
5-MNC04-782F-104	(TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2) x TE97 309G-	SV
6-MNC04-792F-143	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	ML
7-MNC04-792F-144	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	SV
8-MNC04-792F-148	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	ML
9-MNC04-795F-153	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	ML
10-MNC04-795F-154	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	SV
11-MNC04-795F-155	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	ML
12-MNC04-795F-159	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	ML
13-MNC04-795F-168	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	BR
14-MNCO4-762F-9	TE96-282-22G x (Te96-282-22G x Vita 7)	BL
15-MNCO4-792F-146	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	ML
16-BRS Tumucumaque ²	TE96-282-22G x IT87D-611-3	BL

² Testemunha, ¹BL- Branco Liso, BR – Branco Rugoso, ML- Mulato, SV - Sempre-verde;
Fonte: Embrapa Meio-Norte.

Tabela 2: Código, genealogia e subclasse comercial dos genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado avaliadas. Teresina, PI, 2015.

Linhagem/cultivar	Genealogia	Subclasse comercial ¹
17-MNC04-768F-21	TE97-321G-2 x CE-315	ML
18-MNC04-769F-49	CE-315 x TE97-304G-12	ML
19-MNC04-768F-16	TE97-321G-2 x CE-315	ML
20-MNC04-768F-25	TE97-321G-2 x CE-315	ML
21-MNC04-769F-26	CE-315 x TE97-304G-12	SV
22-MNC04-769F-27	CE-315 x TE97-304G-12	ML
23-MNC04-769F-31	CE-315 x TE97-304G-12	ML
24-MNC04-769F-45	CE-315 x TE97-304G-12	SV
25-MNC04-769F-46	CE-315 x TE97-304G-12	ML
26-MNC04-769F-55	CE-315 x TE97-304G-12	ML
27-MNC04-774F-78	TE97-309G-18 x TE97-304G-4	ML
28-MNC04-774F-90	TE97-309G-18 x TE97-304G-4	SV
29-MNC04-782F-108	(TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2) x TE97-309G-	SV
30-MNC04-792F-123	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	ML
31-MNC04-792F-129	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	SV
32-MNC04-795F-158	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	SV
33-BRS Xiquexique ²	TE87-108-6G x TE87-98-8G	BL

² Testemunha ¹BL- Branco Liso, BR – Branco Rugoso, ML- Mulato, SV - Sempre-verde;
Fonte: Embrapa Meio-Norte.

4.5 Análises físico-químicas do grão

As análises dos conteúdos de ferro e zinco foram realizadas em triplicata, enquanto as análises da composição centesimal e tempo de cocção, em duplicata. Tendo em vista que o número de análises era muito grande, pois envolvia muitos genótipos, com alto custo de reagente e tempo para análises, optou-se por realizar em triplicata apenas as análises de ferro e zinco e os demais em duplicata.

4.5.1 Ferro e zinco

Os conteúdos de ferro e zinco foram determinados usando-se a técnica de espectrofotometria de emissão atômica com fonte de chamas, segundo Sarruge e Haag (1974), adaptada, após mineralização das amostras em forno mufla a 450°C.

Pesou-se aproximadamente 0,200g da amostra de feijão-caupi, adicionou-se a amostra ao tubo de ensaio, adicionado 5mL de uma mistura de ácido nítrico com ácido perclórico. Os tubos foram levados ao digestor onde permaneceram por 2 horas e após o resfriamento à temperatura ambiente, adicionou-se 20mL de água destilada e fez-se a homogeneização no agitador de tubos. Em seguida, levou-se a amostra para fazer a leitura. O extrato puro foi lido em espectrofotômetro de absorção atômica, selecionando o elemento (Fe, Zn) a ser analisado no programa do equipamento.

Com base nos conteúdos de ferro e zinco dos 33 genótipos avaliados, selecionaram-se as dez com os conteúdos mais altos em ferro e zinco no grão e ainda as duas cultivares testemunhas, descritas na Tabela 3 e na Figura 4. Estas foram avaliadas adicionalmente para a composição centesimal e o tempo de cocção.

Tabela 3: Código, genealogia e subclasse comercial e porte da planta das 10 cultivares e 2 testemunhas de feijão-caupi selecionadas com altos conteúdos de ferro e zinco no grão. Teresina, PI, 2015.

Linagem/Cultivar	Genealogia	Subclasse comercial ¹	Porte da Planta ³
1- MNC04-762F-9	TE96-282-22G x (Te96-282-22G x Vita 7)	BL	PSE
2- MNC04-792F-146	MNC00-553D-8-1-2-3 x TVx5058-09C	ML	PSE
3-MNC04-769F-26	CE-315 x TE97-304G-12	SV	PSP
4-MNC04-769F-31	CE-315 x TE97-304G-12	ML	PSP
5-MNC04-769F-45	CE-315 x TE97-304G-12	SV	PSP
6-MNC04-769F-55	CE-315 x TE97-304G-12	ML	PSP
7-MNC04-774F-78	TE97-309G-18 x TE97-304G-4	ML	PSP
8-MNC04-774F-90	TE97-309G-18 x TE97-304G-4	SV	PSP
9-MNC04-782F-108	(TE97-309G-24 x TE96-406-2E-28-2) x TE97-309G-24	SV	PSP
10-MNC04-795F-158	MNC99-518G-2 x IT92KD-279-3	SV	PSP
11-BRS Xiquexique ²	TE87-108-6G x TE87-98-8G	BL	PSP
12-BRS Tumucumaque ²	TE96-282-22G x IT87D-611-3	BL	PSE

¹BL- Branco Liso; ML - Mulato; SV - Sempre-verde; ²Testemunha; ³PSE: Porte Semiereto, PSP: Porte Semiprostrado.

Fonte: Embrapa Meio-Norte.

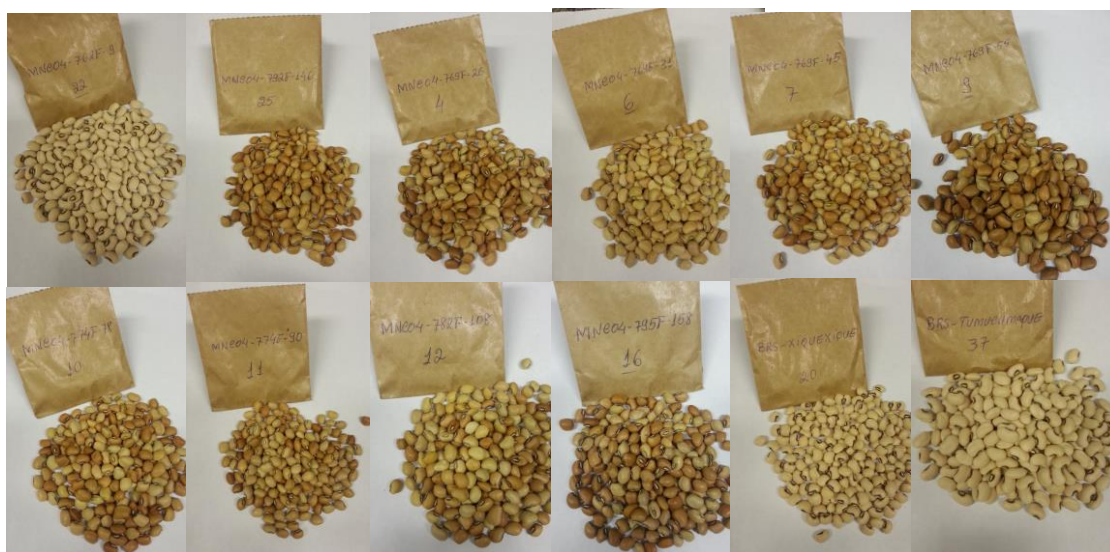


Figura 4: Amostras de grãos das 10 linhagens elite de feijão-caupi com os conteúdos mais altos de ferro e zinco e das duas cultivares testemunhas. Teresina, PI, 2015.

Fonte: Arquivo pessoal.

4.5.2 Composição centesimal

4.5.2.1 Umidade

O conteúdo de umidade foi determinado por gravimetria em estufa a 105°C, de acordo com AOAC (2008). Foram pesadas 2g da amostra homogeneizada, em cápsula de porcelana previamente pesada. Depois as amostras foram colocadas em estufa a 105°C por 4 horas, e em seguida transferidas para um dessecador e mantidas por 30 minutos. A operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até a obtenção do peso constante.

O conteúdo de umidade (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Conteúdo de umidade} = 100 \times N / P$$

sendo:

N = nº de gramas de umidade (perda de massa em g);

P = nº de gramas de amostra.

4.5.2.2 Cinzas

O conteúdo de cinzas foi determinado por incineração em mufla a 550°C, segundo a metodologia da AOAC (2008). Foram pesadas 2g da amostra, em cadinho previamente tarado. E depois transferidas para a mufla a 250°C, a temperatura foi aumentada progressivamente de 50 em 50°C até atingir 550°C para total incineração. Fez a pesagem final para o cálculo da porcentagem de cinzas.

O conteúdo de cinzas (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Conteúdo de cinzas} = 100 \times N / P$$

sendo:

N = nº de gramas de cinzas;

P = nº de gramas de amostra.

4.5.2.3 Lipídios

O conteúdo de lipídios ou fração extrato etéreo foi determinada em extrator intermitente de Soxhlet, utilizando-se Éter de petróleo P.A como solvente (AOAC, 2008). Foram pesadas cerca de 3g de amostra seca, em seguida transferidas para cartuchos. O extrator foi acoplado a um balão previamente tarado a 105°C, e pesado. Em seguida, adicionados 150mL de éter de petróleo. A extração contínua foi de cinco horas, com temperatura a 90°C. Após o término da extração, o balão com o resíduo extraído foi transferido para a estufa a 105°C, durante uma hora, e depois resfriado em dessecador até a temperatura ambiente e pesado.

O conteúdo de lipídios (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Conteúdo de lipídios} = 100 \times N / P$$

sendo:

N = nº de gramas de lipídios;

P = nº de gramas de amostra.

4.5.2.4 Proteínas

O conteúdo de proteínas foi baseado na determinação de nitrogênio, pelo método de *Kjeldahl*, segundo AOAC (2008), usando-se o fator de 6,25 como determinado pela ANVISA na Resolução-RDC nº 360 de 23 de Dezembro de 2003, para produtos vegetais.

Pesou-se cerca de 190mg da amostra em papel manteiga e em seguida a amostra foi transferida para tubos de ensaio. Foi adicionado 5mL de ácido sulfúrico concentrado e 2g de mistura catalítica (sendo 96% de sulfato de potássio e 4% de sulfato de cobre) e levou-se ao aquecimento em bloco digestor, até a solução se tornar azul-esverdeada, livre de material não digerido (pontos pretos). Esperou-se o resfriamento dos tubos e, em seguida, adicionou-se 10mL de ácido bórico 0,05 M e cerca de 10mL de água destilada e acoplaram-se os tubos no recipiente de destilação. No erlrmeyer foram adicionados 10mL do indicador (solução: 6mL de verde de bromocresol e 15mL vermelho de metila) e acoplado no destilador.

Adicionou-se ao frasco que continha a amostra digerida, por meio de um funil com torneira, 10mL de solução de hidróxido de sódio a 25% até garantir um ligeiro excesso de base. Após a ebulição ocorreu a destilação até a obtenção de 100mL do destilado. Em seguida o destilado foi titulado com ácido sulfúrico 0,05M.

O conteúdo de proteínas (%) foi obtido pela fórmula:

$$\text{Conteúdo de proteínas} = (\text{mL de ácido sulfúrico} * f) - (\text{mL NaOH} * f) * 0,14 * F / P$$

sendo:

mL de ácido sulfúrico = volume de ácido sulfúrico utilizado na titulação;

f = fator de correção da solução;

mL de NaOH = volume de NaOH gasto na titulação;

F = Fator de conversão do nitrogênio;

P = peso da amostra (g).

4.5.2.5 Carboidratos

O conteúdo de carboidratos foi determinado por diferença dos demais constituintes da composição centesimal (umidade, cinzas, proteínas e lipídios), segundo (AOAC, 2008).

$$\text{Carboidratos} = 100 - (\text{Umidade} + \text{Cinzas} + \text{Proteínas} + \text{Lipídeos})$$

4.5.2.6 Valor energético total (VET)

O valor energético total foi calculado segundo Watt e Merrill (1963), utilizando os fatores de conversão de Atwater (carboidratos = 4,0; lipídios = 9,0; proteínas = 4,0).

4.5.3 Tempo de cocção

O tempo de cocção (min) foi avaliado em duplicata. Foi determinado por meio do equipamento cozedor de Mattson, conforme Mattson (1946). Foi

utilizada uma amostra de 25 grãos/linhagem. As amostras permaneceram durante 18h horas imersas em temperatura ambiente na água destilada antes da realização das análises, conforme Tawo; Akambi; Ajibola (1997). Após o molho, os grãos foram colocados no equipamento e posicionado as varetas. A contagem de tempo no cronômetro foi iniciado somente quando o cozedor de Mattson estava totalmente imerso no becker, com água em ebulição. O tempo de cocção foi anotado quando treze varetas do total de vinte e cinco perfuraram totalmente os grãos.

4.6 Parâmetros genéticos

Foram estimados os parâmetros genéticos: coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de determinação genotípico (H^2), ganho genético esperado com a seleção (Gs) e a correlação entre características (rF), objeto do melhoramento genético do feijão-caupi.

4.6.1 Coeficiente de variação genético (CVg)

O coeficiente de variação genético (CVg) que expressa o grau de variabilidade genética dos genótipos para uma determinada característica é estimado pela fórmula abaixo, conforme Cruz (2006a):

$$CV_g = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{m} \times 100 \text{ sendo:}$$

$\hat{\sigma}_g^2$: é a variância genética;

m: é a média geral da característica.

4.6.2. Coeficiente de determinação genotípica (H^2)

O coeficiente de determinação genotípica (H^2) que expressa a proporção da variância fenotípica de uma característica devido à variância genética, (variância herdada de uma geração para outra com a seleção). Foi estimada pela fórmula:

$$H^2 = \hat{\sigma}_g^2 / \hat{\sigma}_f^2$$

sendo:

$\hat{\sigma}_g^2$: variância genética;

$\hat{\sigma}_f^2$: variância fenotípica.

4.6.3 Ganho genético esperado com a seleção (Gs)

Estimou-se o ganho genético esperado com a seleção (Gs) dos melhores genótipos para ferro e zinco, como o produto entre o diferencial de seleção (ds) e o coeficiente de determinação genotípico (H^2), conforme Ramalho et al. (2012), adaptada para o presente estudo. Este foi estimado segundo a fórmula:

$$Gs = ds \cdot H^2$$

sendo:

Gs = é o ganho esperado com a seleção;

ds: é o diferencial de seleção, estimado com base em dois parâmetros: 1) diferença entre a média das linhagens acima ou iguais à testemunha e a média geral da testemunha, e 2) diferença entre a média das linhagens acima ou iguais à testemunha e a média geral das linhagens; ambos para os conteúdos de ferro e zinco, dentro de cada grupo de porte da planta;

H^2 : é o coeficiente de determinação genotípica.

O ganho genético esperado com a seleção em termos percentuais foi estimado da seguinte forma:

$$Gs\% = \frac{Gs}{M_0} \times 100$$

sendo:

Gs%: percentual do ganho esperado com a seleção;

Gs: ganho esperado com a seleção dentro de cada porte da planta;

Mo: Média geral das linhagens dentro de cada porte da planta.

4.6.4 Correlação entre características (rF)

Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson, que representa a correlação fenotípica (rF) entre as características que se pretende melhorar, conforme Cruz; Regazzi; Carneiro, (2004), pela seguinte fórmula:

$$r_{F(xy)} = \frac{COV_{F(xy)}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{Fx}^2 \hat{\sigma}_{Fy}^2}}$$

sendo:

$r_{F(xy)}$: é a correlação fenotípica entre as características X e Y;

$COV_{F(xy)}$: é a covariância fenotípica entre as características X e Y;

$\hat{\sigma}_{Fx}^2$: é a variância fenotípica da característica X;

$\hat{\sigma}_{Fy}^2$: é a variância fenotípica da característica Y.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os programas computacionais GENES (CRUZ, 2013) e SAS (SAS INSTITUTE, 1999).

4.7 Análise estatística

4.7.1 Análises de variância e agrupamento de médias

Foram realizadas análises de variância e agrupamento de médias pelo teste de Scott-knott ($p \leq 0,05$). Adotou-se como fixo o efeito de genótipos e o seguinte modelo de delineamento inteiramente casualizados para as análises de variância:

$$Y_{ij} = m + t_i + e_{ij}$$

sendo:

Y_{ij} : é a observação associada ao i-ésimo genótipo da j-ésima repetição, com $i = (1, 2, \dots, 33)$ ou $j = (1, 2, 3)$;

t_i : observação do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 33$ ou $i = 1, 2, \dots, 12$);

m: média geral;

e_{ij} : erro experimental médio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ferro e zinco

5.1.1 Genótipos semieretos

Os resultados obtidos para os conteúdos de ferro e zinco nos grupos de genótipos de porte semiereto e encontram-se, na Tabela 4. Com relação às estimativas do coeficiente de variação experimental (CV), no geral, a precisão experimental foi boa para ambas as características (4-5%).

A média do conteúdo de ferro dos genótipos semieretos variou de 4,70mg 100g⁻¹ a 7,30mg 100g⁻¹, com média geral de 5,59mg 100g⁻¹ (Tabela 4). Carvalho et al. (2012) observaram variação para o conteúdo de ferro de 6,1 a 8,1mg 100g⁻¹ em um estudo envolvendo 30 genótipos brasileiros de feijão-caupi, variação essa, maior do que a verificada no presente trabalho. Costa et al. (2014), avaliaram 160 populações F₃ de feijão-caupi e também obtiveram uma variação maior (3,76mg 100g⁻¹ a 12,13mg 100g⁻¹) do que a do presente trabalho.

Os genótipos semieretos foram agrupados em cinco grupos de acordo com as médias do conteúdo de ferro, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Destacaram-se as linhagens MNC04-762F-9 e MNC04-792F-146, respectivamente com médias de 6,86mg 100g⁻¹ e 7,30mg 100g⁻¹, superiores à média da testemunha biofortificada (BRS Tumucumaque).

A média do conteúdo de ferro obtida para a cultivar BRS Tumucumaque (6,43mg 100g⁻¹) (Tabela 4) foi maior que as médias obtidas nos estudos realizados por Costa (2014) e Barros (2014), que obtiveram, médias, respectivamente, de 6,15mg 100g⁻¹ e 4,67mg 100g⁻¹. Já Carvalho et al. (2012), obtiveram média de 7,5mg 100g⁻¹, maior do que a observada neste trabalho.

A média do conteúdo de zinco dos genótipos semieretos variou de 3,53mg 100g⁻¹ a 4,67mg 100g⁻¹, com média geral de 4,17mg 100g⁻¹ (Tabela 4). Essa média é maior do que a média verificada por Somavilla, Oliveira e Storck (2011), que foi de 3,16mg 100g⁻¹.

Tabela 4: Conteúdos de ferro e zinco e estimativas dos parâmetros genéticos coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de determinação genotípica (H^2) e ganho genético (Gs) esperado com a seleção, obtidos a partir da avaliação de 16 genótipos de feijão-caupi de porte semiereto. Teresina, PI, 2015.

Genótipo	Ferro (mg 100g ⁻¹)	Zinco (mg 100g ⁻¹)
1 - MNC04-762F-3	5,98±0,17c	4,22±0,22b
2 - MNC04-762F-9	6,86±0,26a	4,42±0,17a
3 - MNC04-769F-30	5,57±0,09d	4,11±0,04b
4 - MNC04-769F-48	5,30±0,32d	4,10±0,24b
5 - MNC04-769F-62	5,97±0,28c	4,64±0,09a
6 - MNC04-782F-104	5,34±0,13d	4,02±0,10b
7 - MNC04-792F-143	4,86±0,36e	3,53±0,67b
8 - MNC04-792F-144	4,91±0,08e	4,03±0,09b
9 - MNC04-792F-146	7,30±0,18a	4,67±0,02a
10 - MNC04-792F-148	5,83±0,20c	4,51±0,05a
11 - MNC04-795F-153	5,21±0,48d	3,89±0,28b
12 - MNC04-795F-154	5,37±0,18d	4,34±0,13a
13 - MNC04-795F-155	4,89±0,50e	3,99±0,41b
14 - MNC04-795F-159	4,70±0,01e	3,88±0,08b
15 - MNC04-795F-168	4,96±0,09e	3,93±0,10b
16 - BRS Tumucumaque ¹	6,43±0,17b	4,47±0,05a
Média dos genótipos	5,59±0,22	4,17±0,17
Média das linhagens (Mo)	5,54±0,22	4,15±0,18
Linhagens selecionadas	2, 9	2, 5, 9, 10, 12
Média das linhagens selecionadas (Ms)	7,08±0,22	4,52±0,12
CV (%)	4,62	5,67
CVg	13,29	6,80
H^2 (%)	89,20	81,20
Gs 1 (%) ²	9,02	0,91
Gs 2 (%) ³	24,79	7,24

Médias com diferentes letras na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); ¹Testemunha; ²Ganho genético esperado com a seleção das linhagens com médias iguais ou acima da média da testemunha; ³Ganho genético esperado com a seleção das linhagens com médias iguais ou acima da média geral das linhagens.

Fonte: Dados da Pesquisa.

Os genótipos semieretos foram agrupados em dois grupos de acordo com as médias do conteúdo de zinco, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As linhagens MNC04-792F-146, MNC04-769F-62, MNC04-792F-148, MNC04-762F-9 e MNC04-795F-154 foram semelhantes à testemunha biofortificada (BRS Tumucumaque), e juntas, destacaram-se dos demais genótipos, com médias acima de 4,0mg 100g⁻¹.

A média do conteúdo de zinco obtida por Costa (2010) no grão da cultivar BRS Tumucumaque ($5,13\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) não difere significativamente do que a observada no presente trabalho ($4,47\text{mg } 100\text{g}^{-1}$). Já na pesquisa realizada por Carvalho et al. (2012), essa cultivar apresentou média inferior ($3,6\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) à verificada neste trabalho.

As estimativas do coeficiente de variação genético (CVg) e coeficiente de determinação genotípica (H^2) indicam que existe maior variabilidade genética e maior expressão do componente genético no fenótipo para o conteúdo de ferro (89,20%), relativamente ao conteúdo de zinco (81,20%) (Tabela 4). A estimativa de H^2 observada no presente trabalho para o conteúdo de ferro foi bem maior que a do estudo de Costa (2013), que obteve herdabilidade (h^2) baixa para o conteúdo de ferro (31,71), no entanto, esse autor avaliou 160 populações segregantes (F_2) de feijão-caupi, sendo o efeito aleatório para genótipos.

O ganho genético esperado com a seleção (Gs %), foi maior para o conteúdo de ferro, com Gs 1 (em relação à média da testemunha biofortificada BRS Tumucumaque) de 9,02%. Em relação à média das linhagens, o Gs 2 foi bem maior (24,79%). Esses ganhos foram menor e maior, respectivamente, do que os resultados de Costa (2013), que obteve Gs de 11,22% ao avaliar 160 populações F_2 de feijão-caupi resultante do cruzamento entre as cultivares BRS Xiquexique e BR 17-Gurguéia.

5.1.2 Genótipos semiprostrados

A média do conteúdo de ferro dos genótipos semiprostrados variou de $5,39\text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ a $7,96\text{ mg } 100\text{g}^{-1}$, com média geral de $6,52\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ (Tabela 5). Foram formados três grupos de acordo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). A linhagem MNC04-769F-55 apresentou conteúdo de ferro similar à testemunha biofortificada (BRS Xiquexique) e, juntas, se destacaram dos demais genótipos.

Em outro estudo conduzido por Costa (2014) com a cultivar BRS Xiquexique, esse autor determinou uma média de $10,23\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de ferro, maior do que a obtida no presente trabalho ($7,50\text{mg } 100\text{g}^{-1}$). Já Barros (2014)

verificou um teor médio de ferro um pouco maior para essa cultivar ($7,60\text{mg } 100\text{g}^{-1}$).

Tabela 5: Conteúdo de ferro e zinco e estimativa dos parâmetros genéticos coeficiente de variação genético (CVg), coeficiente de determinação genotípica (H^2) e ganho genético (Gs) esperado com a seleção, obtidos a partir da avaliação de 17 genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado. Teresina, PI, 2015.

Genótipo	Ferro ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)	Zinco ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$)
1 - MNC04-768F-21	5,39±0,15 _c	3,88±0,11 _d
2 - MNC04-769F-49	5,50±0,32 _c	3,93±0,22 _d
3 - MNC04-768F-16	6,14±0,33 _c	4,20±0,09 _c
4 - MNC04-769F-25	6,26±0,44 _c	4,20±0,07 _c
5 - MNC04-769F-26	6,41±0,29 _c	4,20±0,03 _c
6 - MNC04-769F-27	6,30±0,28 _c	4,29±0,03 _c
7 - MNC04-769F-31	6,47±0,04 _c	4,42±0,08 _c
8 - MNC04-769F-45	6,79±0,22 _b	4,27±0,13 _c
9 - MNC04-769F-46	5,96±0,26 _c	3,78±0,12 _d
10 - MNC04-769F-55	7,96±1,45 _a	4,13±0,06 _c
11 - MNC04-774F-78	7,00±0,15 _b	4,20±0,23 _c
12 - MNC04-774F-90	6,83±0,39 _b	4,78±0,16 _b
13 - MNC04-782F-108	7,24±0,56 _b	5,21±0,40 _a
14 - MNC04-792F-123	6,07±0,21 _c	4,27±0,07 _c
15 - MNC04-792F-129	6,20±0,52 _c	3,95±0,48 _d
16 - MNC04-792F-158	6,91±0,17 _b	4,73±0,04 _b
17 - BRS Xiquexique ¹	7,50±0,39 _a	5,37±0,29 _a
Média dos genótipos	6,52±0,33	4,34±0,15
Média das linhagens (Mo)	6,46±0,36	4,28±0,29
Linhagens selecionadas	10	13
Média das linhagens selecionadas (Ms)	7,96	5,21
CV (%)	7,24	4,65
CVg	9,48	9,87
H^2 (%)	83,73	93,11
Gs 1 (%) ²	0,51	-2,77
Gs 2 (%) ³	19,44	20,23

Médias com diferentes letras na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); ¹Testemunha; ²Ganho genético esperado com a seleção das linhagens com médias iguais ou acima da média da testemunha; ³Ganho genético esperado com a seleção das linhagens com médias iguais ou acima da média geral das linhagens.

Fonte: Dados da Pesquisa

O conteúdo médio de zinco dos genótipos semiprostrados variou de $3,78\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ a $5,37\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, com média geral de $4,34\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ (Tabela 5). Estes foram agrupados em quatro grupos de acordo com as médias do

conteúdo de zinco, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). A linhagem MNC04-782F-108 apresentou conteúdo de zinco similar à testemunha biofortificada (BRS Xiquexique) e, juntas, destacaram dos demais genótipos.

O conteúdo médio de zinco observado por Costa (2010), Carvalho et al. (2012) e Barros (2014) para a cultivar BRS Xiquexique ($5,08 \text{mg } 100\text{g}^{-1}$, $3,3 \text{mg } 100\text{g}^{-1}$ e $3,24 \text{mg } 100\text{g}^{-1}$) foram menores do que a obtida no presente trabalho ($5,37 \text{mg } 100\text{g}^{-1}$).

As estimativas do coeficiente de variação genético dos genótipos semiprostrados (CVg) indicam que a variabilidade genética foi similar para os conteúdos de ferro (9,48%) e zinco (9,87%). Esses valores foram maiores do que os determinados por Oliveira (2014), que foi, respectivamente, 1,33% e 2,29%. Monteiro (2014) obteve estimativas de CVg de 13,5% para o conteúdo de ferro, maior do que a obtida no presente trabalho; no entanto, obteve estimativa menor para conteúdo de zinco (3,84%).

O coeficiente de determinação genotípica (H^2) nos genótipos semiprostrados foi maior para o conteúdo de zinco (93,11%), relativamente ao conteúdo de ferro (83,73%), havendo com isso, maior expressão do componente genético no fenótipo para o conteúdo de zinco (Tabela 4). A magnitude desses valores indica que existe um alto componente genético na expressão do fenótipo de ambas as características. O conteúdo de ferro foi maior que nos genótipos semieretos, contrariamente ao conteúdo zinco que foi maior nos genótipos semiprostrados (Tabelas 4 e 5). O valor de H^2 observado para o conteúdo de ferro foi maior que o reportado por Costa (2013) para a herdabilidade (h^2), que obteve valor de 31,71%,

O ganho genético esperado com a seleção em relação à média da testemunha (Gs 1) foi maior para o conteúdo de ferro (0,51%), porém mais baixo que o Gs 1 obtido nos genótipos semieretos (Tabelas 4 e 5), sendo menor que o teor obtido por Costa (2013), que foi de 11,22%.

O ganho genético esperado com a seleção em relação à média da testemunha (Gs 1) para o conteúdo de zinco foi negativo (-2,77%) (Tabela 5), tendo em vista que a média da testemunha biofortificada BRS Xiquexique foi superior à média da melhor linhagem em zinco. Neste caso, é preferível avaliar o Gs com base na média das linhagens, que foi positivo e alto (19,44%).

O ganho esperado com a seleção em relação à média das linhagens (Gs 2) foi alto e positivo para ambos os minerais (19,44% e 20,23%), sendo maior que o Gs determinado para ferro (11,22%) por Costa (2013), que também foi com base na média dos genótipos.

5.1.3 Genótipos semieretos e semiprostrados

Observou-se que os genótipos de porte semiprostrado apresentaram conteúdo de ferro maior que os genótipos de porte semiereto. Isso sugere que os genótipos semiprostrados foram mais hábeis em extrair o ferro do solo e acumular esse mineral no grão. Uma possível explicação é que os genótipos semiprostrados, geralmente, apresentam ciclo de maturação maior que os genótipos de porte semieretos e, portanto, têm um maior período de acúmulo de matéria seca no grão e, conseqüentemente, do conteúdo de ferro.

As médias para o conteúdo de zinco foram similares entre os genótipos semieretos e semiprostrados, onde o maior ou menor acúmulo de matéria seca, devido ao ciclo de maturação diferencial dos grupos de portes, não teve influência no conteúdo de zinco, diferindo dos resultados para o conteúdo de ferro.

Após a análise estatística, selecionaram-se os dez melhores genótipos em ferro e zinco, sendo dois de porte semiereto (MNC04-762F-9 e MNC04-792F-146) e oito de porte semiprostrado (MNC04-769F-26, MNC04-769F-31, MNC04-769F-45, MNC04-769F-55, MNC04-774F-78, MNC04-774F90, MNC04-782F-108 e MNC04-795F-158). Estes foram avaliados, juntamente com as duas testemunhas para a composição centesimal e o tempo de cocção.

A média geral para o conteúdo de ferro dos 10 genótipos selecionados foi $6,98\text{mg } 100\text{g}^{-1}$. Esse resultado é maior do que o apresentado por Frota et al. (2010), que obtiveram média de $4,52\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ e Costa (2013), que obteve média de $5,55\text{mg } 100\text{g}^{-1}$. Já a média geral do conteúdo de zinco dos genótipos selecionados foi de $4,57\text{mg } 100\text{g}^{-1}$, semelhante à média obtida por Guimarães (2014) ao avaliar populações segregantes F_5 de feijão-caupi.

As linhagens estudadas ainda foram classificadas em relação aos seus teores de minerais, como “fonte” ou “alto teor”, conforme a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 54 de 12 de novembro de 2012 da Agência

Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) que dispõe sobre as condições para declaração técnica sobre informação nutricional complementar de conteúdo absoluto referente a vitaminas e minerais. Essa RDC estabelece que os alimentos pertencentes a essas duas classes podem ser atribuídos como “fonte”, quando 100 g do produto apresentam mais de 15% da ingestão diária recomendada (IDR) para o nutriente desejado e, como “alto teor”, quando 100g do produto apresentam duas vezes o valor para ser considerado “fonte”, ou seja, mais de 30% da IDR (BRASIL, 2012).

A IDR para o ferro e o zinco são $14\text{mg}/\text{dia}^{-1}$ e $15\text{mg}/\text{dia}^{-1}$, 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) apresenta teores de ferro e zinco, respectivamente, de $2,1\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ (15% da IDR) e $2,25\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ (15% da IDR), o alimento pode ser considerado como “fonte” desses minerais e quando esses teores forem o dobro, ou seja, $4,2\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de ferro e $4,5\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de zinco, o alimento pode ser considerado como possuidor de “alto teor” desses minerais (COSTA, 2013).

Com base nos resultados encontrados nesta pesquisa e comparando-os com a IDR, pode-se afirmar que todas as linhagens estudadas (semieretas e semi-prostradas) apresentam altos teores de ferro no grão, pois apresentaram mais do que 30% da ingestão diária recomendada, com destaque para o grupo semiprostrado, que apresentou maior média para esse mineral ($6,52\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) destacando-se a linhagem MNC04-769F-55 com $7,96\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$, que apresentou o maior teor dentre todos os genótipos. As cultivares testemunhas (BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique) também apresentaram alto teor, confirmando a característica de serem biofortificadas para ferro (BRS Xiquexique..., 2008; BRS Tumucumaque..., 2009; BRS Xiquexique..., 2008; Feijão-caupi..., 2010), pois apresentaram conteúdo desse mineral acima de $4,2\text{mg } 100\text{g}^{-1}$

Com relação ao conteúdo de zinco, dentre as 15 linhagens de porte semiereto, 12 (80%) apresentaram-se como fonte de zinco e 3 (20%) como alto teor de zinco (MNC04-769F-62, MNC04-792F-146 e MNC04-792F-148). Dentre as 16 linhagens de porte semiprostrado, 13 (81,25%) apresentaram-se como

fonte de zinco e 3 (18,75%) como alto teor (MNC04-774F-90, MNCO4-782F-108 e MNCO4-792F-158); a testemunha BRS Xiquexique confirmou alto teor (5,37mg 100g⁻¹) e sua característica de biofortificada para zinco (BRS Xiquexique..., 2008).

5.2 Composição centesimal

A variabilidade do conteúdo de nutrientes no grão de feijão-caupi tem sido o foco de muitos trabalhos que visam subsidiar a seleção e o desenvolvimento de cultivares biofortificadas. Os resultados da composição centesimal (umidade, cinzas, lipídeos, proteínas e carboidratos) e do valor energético total das amostras de grãos crus dos genótipos (linhagens e cultivares) de feijão-caupi são mostrados na Tabela 6.

5.2.1 Umidade

O teor de umidade variou de 5,93% (MNC04-782F-108) a 8,04% (MNC04-769F-55), com uma média geral de 7%. As médias do conteúdo de umidade foram agrupadas em dois grupos, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Sete linhagens diferiram em termos de umidade em relação às testemunhas.

A média do teor de umidade encontrada nesta pesquisa foi inferior à verificada por Barros (2014), que foi de 10,23% e aquelas observadas por Souza e Silva et al. (2002), que foi de 9 a 15%. Castellón et al. (2003) e Pinheiro (2012), obtiveram variação, respectivamente, de 11 a 16% e de 12,91% a 16,52%, maior do que a observada no presente trabalho.

A umidade é um dos fatores que ajudam no desenvolvimento de microrganismos nos alimentos, então, quanto menor umidade, menor probabilidade de desenvolvimento microbiano; com isso, grãos que apresentem menores porcentagens de umidade, tem vida de prateleira maior, o que é bastante desejável pelo produtor. A umidade também não poderá ser muito baixa, pois poderá influenciar no tempo de cocção dos grãos (GOMES; SILVA, 2003).

Tabela 6: Composição centesimal, valor energético e tempo de cocção de 12 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2015.

Genótipo	Umidade (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Proteínas (%)	Carboidratos (%)	VET (kcal 100g ⁻¹)	Tempo de cocção (min.)
1 - MNC04-762F-9	7,12 ± 0,02a	3,22 ± 0,08a	1,20 ± 0,07d	23,22 ± 0,17a	65,23 ± 0,13c	365,62±0,12c	27,79 ± 0,79a
2 - MNC04-792F-146	6,74 ± 0,57b	1,05 ± 0,57c	2,42 ± 0,03a	19,21 ± 0,28d	70,58 ± 1,46a	380,96±0,59a	18,18 ± 1,40b
3 - MNC04-769F-26	7,11 ± 0,11a	3,63 ± 0,40a	0,60 ± 0,15e	23,26 ± 0,38a	65,38 ± 0,37b	359,99±0,30c	20,80 ± 5,31b
4 - MNC04-769F-31	7,46 ± 0,12a	3,63 ± 0,11a	0,71± 0,21e	23,80 ± 0,64a	64,39 ± 0,14c	359,19±0,33c	19,59 ± 0,78b
5 - MNC04-769F-45	7,55 ± 0,26a	3,42 ± 0,06a	1,67 ± 0,14c	22,15 ± 0,06b	65,20 ± 0,41c	364,66±0,20c	21,43 ± 1,21b
6 - MNC04-769F-55	8,04 ± 0,16a	3,24 ± 0,15a	1,86 ± 0,09b	21,58 ± 0,03c	65,25 ± 0,49c	364,12±0,20c	23,24 ± 1,60b
7 - MNC04-774F-78	7,72 ± 0,13a	3,52 ± 0,36a	1,61 ± 0,04c	21,39 ± 0,27c	65,75 ± 0,81c	363,02±0,37c	18,41 ± 0,19b
8 - MNC04-774F-90	7,61 ± 0,19a	3,54 ± 0,11a	1,69 ± 0,11c	23,26 ± 0,40a	63,89 ± 0,59c	363,84±0,37c	15,66 ± 2,18b
9 - MNC04-782F-108	5,93 ± 0,49b	3,42 ± 0,65a	1,98 ± 0,02b	21,29 ± 0,24c	67,38 ± 1,41c	372,48±0,56b	21,14 ± 1,48b
10 - MNC04-795F-158	6,46 ± 0,11b	2,90 ± 0,65a	1,70 ± 0,17c	21,26 ± 0,15c	67,66 ± 0,74b	371,04±0,35b	17,94 ± 0,61b
11 - BRS Xiquexique ¹	6,26 ± 0,66b	2,02 ± 0,14b	2,26 ± 0,07a	21,83 ± 0,19b	67,61 ± 0,78b	378,18±0,35a	29,24 ± 1,65a
12 - BRS Tumucumaque ¹	6,01 ± 0,97b	2,60 ± 0,60b	1,56 ± 0,13c	23,35 ± 0,20a	66,47 ± 1,03c	373,30±0,45b	15,32 ± 1,72b
Média Geral	7,00±0,32	3,06±0,32	1,60±0,54	22,14±1,29	66,23±1,89	368,03±7,11	20,73±4,46
CV (%)	4,52	11,29	7,42	1,04	1,21	0,67	9,69

Médias com diferentes letras na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); ¹Testemunha; VET = valor energético total.
Fonte: Dados da Pesquisa

5.2.2 Cinzas

O conteúdo de cinzas variou de 1,05% (MNC04-792F-146) a 3,63% (MNC04-769F-26 e MNC04-769F-31), com média geral de 3,06%. As médias do conteúdo de cinzas foram agrupadas em três grupos, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Nove linhagens foram superiores em cinzas em relação às testemunhas.

A variação do conteúdo de cinzas obtida no presente trabalho é maior do que as do estudo de Costa (2014), que obteve variação de 1,56% a 1,66%; Dinis et al. (2001), que observaram variação de 1,27% a 1,77%; e Salgado et al. (2005), que obtiveram média de 1,63%. No entanto, a variação acima foi inferior às descritas por Barros (2014), que observou variação de 3,55% a 4,03%; Pinheiro (2013), que obteve variação de 3,56% a 3,79%; Ramirez-Cardenas; Leonel e Costa (2008), que verificaram variação de 3,36 a 4,22%; e El-Jasser (2011), que analisou grãos de feijão-caupi e observou um conteúdo de cinzas de 3,17%.

O conteúdo de cinzas prediz a concentração de minerais existentes no produto analisado. As diferenças entre os resultados obtidos no presente estudo e nos trabalhos citados podem ser explicadas pelo fato das análises de alguns dos trabalhos terem sido realizadas em grãos verdes, além da variação genética, que é intrínseca a cada genótipo.

5.2.3 Lipídios

O conteúdo de lipídios variou de 0,60% (MNC04-769F-26) a 2,42% (MNC04-792F-146), com média geral de 1,60%. As médias deste conteúdo foram agrupadas em cinco grupos, de acordo com o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As linhagens MNC04-769F-26, MNC04-769F-31 destacaram-se dos demais genótipos por apresentarem os menores conteúdos de lipídios.

A média do conteúdo de lipídios obtida nesta pesquisa foi inferior às médias descritas na Taco-Unicamp (2011), que menciona conteúdo médio de lipídios de 2,4%; Frota; Soares e Arêas (2008), que constataram média de 2,2%; e Barros (2014), que encontrou média de 2,27%. Os resultados de variação do presente trabalho estão dentro dos limites obtidos por Costa

(2014), que foi de 1,30 a 2,18%, Carvalho et al. (2012), que verificaram uma variação de 1,2% a 1,4%; e Pinheiro (2012), que observaram variação de 1,65 a 2,54%. Para a cultivar BRS Xiquexique, a média verificada no presente trabalho (2,26%) foi maior do que as constatadas por Barros (2014), que foi de 2,16% e de El-Jasser (2011), que observou média de 1,3%.

Os conteúdos de lipídios encontrados nas linhagens analisadas neste trabalho são considerados baixos. Uma possível justificativa para tal fato é que essa pequena quantidade poderia ser consequência da formação de um complexo lipídio-proteínas (AKPAPUNAM; ACHINEWHU, 1985).

5.2.4 Proteínas

A quantidade de proteínas variou de 19,21% (MNC04-792F-146) a 23,80% (MNC04-769F-31), com média geral de 22,14%. As médias do conteúdo de proteínas foram agrupadas em quatro grupos, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As linhagens MNC04-762F-9, MNC04-769F-26, MNC04-769F-31 e MNC04-774F-90 foram semelhantes à testemunha BRS Tumucumaque, que juntas, destacaram-se dos demais genótipos, com os maiores conteúdos de proteínas.

A variação de proteínas verificada neste trabalho foi maior do que a reportada por: Costa (2014), que obteve variação de 9,93% a 11,70%; e Diniz et al. (2001) de 7,48 a 9,12%. No entanto, a variação foi menor do que a obtida por: Carvalho et al. (2012), que variou de 17,4% a 28,3%; Sousa e Silva (2002), que variou de 20% a 26%; e Pinheiro (2012), que variou de 25 a 31%.

A média geral do conteúdo de proteínas (22,14%) foi maior do que as médias determinadas por Salgado et al. (2005), que foi 9,65%; Nunes et al. (2005), 10,28% e Furtunato, Magalhães e Maria (2000), 10,3%. No entanto, foi inferior às médias do estudo de El-Jasser (2011), que obteve 22,93%; Barros (2014), de 23,21%; e Philips (2003), de 25%.

As diferenças observadas no conteúdo de proteínas encontrados nos diferentes estudos são devido ao efeito de genótipo e às condições ambientais durante o desenvolvimento da planta (CASTELLÓN et al., 2003; RIBEIRO, 2010, BARROS, 2014).

5.2.5 Carboidratos

O conteúdo de carboidratos nesta pesquisa variou de 63,89% (MNC04-774F-90) a 70,58% (MNC04-792F-146), com uma média geral de 66,23%. As médias do conteúdo de carboidratos foram agrupadas em três grupos, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). A linhagem MNC04-792F-146 destacou-se dos demais genótipos, com o maior conteúdo de carboidratos.

A variação do teor de carboidratos foi maior do que as obtidas por: Costa (2014), que variou de 26,53% a 29,69%; Piedade et al (2011), que foi de 18,52 a 22,69% e Pinheiro (2012), de 47% a 53%. A média geral do presente trabalho foi maior do que as médias verificadas por: Salgado et al. (2005), que foi de 21,54%; Diniz et al. (2001), de 21,95%; e Barros (2014), de 60,61%.

O elevado conteúdo de carboidratos no feijão-caupi era esperado, uma vez que apresenta um teor médio de 64% no feijão cru (ROCHA, 2009). Esse alto teor, confirma ser o feijão-caupi um alimento de boa fonte energética.

5.2.6 Valor energético total

Os genótipos de feijão-caupi avaliados apresentaram valor energético total (VET) variando de 350kcal.100g⁻¹ a 380kcal.100g⁻¹, com média de 368,03kcal.100g⁻¹ (Tabela 6). Essa variação foi maior do que a obtida por Costa (2014), que foi de 159kcal.100g⁻¹ a 170kcal.100g⁻¹. As médias do VET foram agrupadas em três grupos, segundo o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). A linhagem MNC04-792F-146 foi semelhante à testemunha BRS Xiquexique, que juntas, destacaram-se dos demais genótipos em valor energético total.

O valor energético observado nas linhagens estudadas neste estudo está correlacionado com os altos teores de carboidratos, já que VET é resultado do produto deste nutriente, lipídeos e proteínas; no entanto, o teor de carboidratos tem maior valor entre os demais.

5.3 Tempo de cocção

Os tempos de cocção dos genótipos de feijão-caupi avaliados nesta pesquisa variaram de 15,32 min. (BRS Tumucumaque) a 29,24 min. (BRS

Xiquexique), com média geral de 20,73 min (Tabela 6). Essa variação foi inferior a determinada por Lima et al. (2003), que avaliou quatro cultivares de feijão-caupi, observaram variação de 44 a 60 min.; Pereira et al. (2014) de 26 a 33 min, Mashi (2006) de 28 a 46 min, Moura (2011) de 31 a 40 min; e D'Albuquerque (2013) de 13 a 20 min. No entanto a variação obtida no presente trabalho foi maior que a apresentada por Freire Filho et al. (2011), que foi de 13 a 23 min. Com base em uma avaliação de nove cultivares de feijão-caupi lançadas entre 2008 e 2009.

As médias do tempo de cocção foram agrupadas em dois grupos, conforme o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Nove linhagens foram semelhantes à testemunha BRS Tumucumaque com relação ao menor tempo de cocção.

O tempo de cocção é um parâmetro culinário muito importante, pois o genótipo com menor tempo de cocção tem vantagens perante os demais, pois com isso, há uma redução do tempo gasto para o preparo do feijão-caupi e do consumo de qualquer tipo de energia usada durante seu preparo. Além disso, o longo tempo de cocção pode provocar mudanças indesejáveis na sua estrutura a nível celular, acarretando perdas de nutrientes, justificando assim, a busca de alternativas para reduzir ao máximo esse processo (BARROS, 2014).

Os resultados para o tempo de cocção determinados no presente trabalho indicam que há linhagens elites que apresentam cozimento rápido, portanto, apresentam potencial para cultivar visando atender à demanda para essa característica pelo consumidor.

Os materiais com tempo de cocção abaixo de 20 min podem ser considerados de rápido cozimento. É o caso das linhagens MNC04-792F-146 (18,18 min.), MNC04-769F-31 (19,59 min.), MNC04-774F-78 (18,41 min.), MNC04-774F-90 (15,66 min.) e MNC04-792F-158 (17,94 min.), que apresentaram o mesmo padrão da testemunha Tumucumaque que apresenta rápido cozimento (15,32 min.) e foi dentre as oito últimas cultivares lançadas pelo programa de melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, a de cozimento mais rápido, segundo FREIRE FILHO et al. (2011).

As diferenças observadas nos resultados reportados na literatura consultada para o tempo de cocção podem estar relacionadas aos diferentes estádios de maturação dos grãos, decorrentes das condições edafoclimáticas

de cada região, bem como do tempo e forma de armazenamento e, também, do método utilizado para a sua determinação.

5.4 Correlação entre características

As correlações fenotípicas entre o conteúdo de proteínas, carboidratos, tempo de cocção, valor energético total, ferro e zinco, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Coeficientes de correlações de Pearson entre os conteúdos de proteínas, carboidratos, tempo de cocção (TC), valor energético total (VET), ferro e zinco, estimados a partir da avaliação de 12 genótipos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2015.

	Proteínas	Carboidratos	TC	VET	Ferro	Zinco
Lipídios	-0,76**	0,62**	0,09 ^{ns}	0,78**	0,63**	0,48*
Proteínas		-0,81**	0,01 ^{ns}	-0,65**	-0,51*	-0,21 ^{ns}
Carboidratos			-0,01 ^{ns}	0,89**	0,27 ^{ns}	0,36 ^{ns}
TC				0,08 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,22 ^{ns}
VET					0,35 ^{ns}	0,55**
Ferro						0,23 ^{ns}

^{ns} Não significativo; *, **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t. Fonte: Dados da Pesquisa.

Segundo Costa (2013) as estimativas do coeficiente de correlação (r_F) podem ser classificadas conforme a sua magnitude. Quando as estimativas de $r_F < 0,4$, considera-se que ela é de baixa magnitude; quando $0,4 < r < 0,7$, a correlação é de média magnitude e, quando $r_F > 0,7$, ela é de alta magnitude. Com base nesses parâmetros, pode-se destacar as correlações entre lipídios e valor energético total e entre carboidratos e valor energético total, que são consideradas de alta magnitude com $r_F = 0,78$ e $r_F = 0,89$, respectivamente (Tabela 7). As correlações consideradas de média magnitude são as de lipídios com carboidratos, lipídios com ferro e lipídios com zinco, com $r_F = 0,62$, $r_F = 0,63$ e $r_F = 0,48$, respectivamente. As demais correlações entre as características avaliadas são consideradas de baixa magnitude.

As correlações positivas e significativas entre o conteúdo de lipídios e o conteúdo de carboidratos, VET, conteúdo de ferro ($p \leq 0,01$) e conteúdo de zinco

($p \leq 0,05$) indicam que o aumento dessas características pode levar a um aumento de lipídios no grão.

O conteúdo de lipídios apresentou correlação negativa e significativa ($p \leq 0,01$) com o conteúdo de proteínas. Isso indica que a seleção para aumento do conteúdo de proteínas pode levar a redução do conteúdo de lipídios, o que é desejável no melhoramento do feijão-caupi.

O conteúdo de proteínas apresentou correlação negativa e significativa com as características conteúdo de carboidratos, conteúdo de ferro e VET, indicando que o aumento do conteúdo de proteínas pode levar à diminuição dos conteúdos desses nutrientes. O resultado da correlação do conteúdo de proteínas com o conteúdo de ferro obtido no presente trabalho discorda dos resultados de Moura et al. (2012) e Oliveira (2014), que obtiveram estimativas positivas e significativas de r_F , respectivamente, de 0,55 e 0,63, ao avaliarem populações segregantes de feijão-caupi para biofortificação de ferro e zinco no grão. Santos e Boiteux (2013) não encontraram correlação entre essas duas características, ao avaliar seis cruzamentos em feijão-caupi para biofortificação de proteína e minerais.

O conteúdo de carboidratos apresentou correlação positiva e significativa com o VET, sugerindo que o aumento do conteúdo de carboidratos leva paralelamente ao aumento do valor energético do grão.

O tempo de cocção apresentou correlações baixas e não significativas com todas as demais características, indicando que essa característica não tem influência sobre as demais e, portanto, a redução do tempo de cocção não trará nenhum decréscimo ou acréscimo às demais características do presente estudo. O mesmo comportamento foi observado entre os conteúdos de ferro e zinco. A falta de correlação entre o tempo de cocção e os conteúdos de ferro e zinco e entre o conteúdo de ferro e o conteúdo de zinco também foi verificada nos trabalhos de Andrade et al. (2013), Oliveira (2014) e Moura et al. (2012).

O valor energético total (VET) apresentou correlação positiva e significativa ($p \leq 0,01$) com o conteúdo de zinco. Isso indica que o aumento no valor energético total levará também a um aumento do conteúdo de zinco no grão, o que é favorável para o melhoramento simultâneo de ambas as características.

Os resultados do presente trabalho subsidiarão a próxima etapa do programa de biofortificação da Embrapa Meio-Norte, que é a validação das 10 melhores linhagens em ferro e zinco em vários ambientes da região Meio-Norte do Brasil. A validação objetiva verificar a adaptabilidade e a estabilidade das linhagens que se destacaram para ferro e zinco frente às variações ambientais com o intuito de selecionar uma ou duas com potencial para o lançamento como cultivar biofortificada para esses minerais.

6 CONCLUSÕES

Todas as linhagens estudadas apresentam altos teores de ferro no grão, pois apresentaram mais do que 30% da ingestão diária recomendada, com destaque para o grupo semiprostrado com a linhagem MNC04-769F-55 com 7,96mg 100g⁻¹.

Dentre as linhagens de porte semiereto, 80% apresentaram-se como fonte e 20% com alto teor de zinco, já para as linhagens de porte semiprostrado, 81,25% apresentaram-se como fonte de zinco e 18,75% com alto teor.

As linhagens avaliadas possuem baixo conteúdo de umidade, lipídios e bons níveis de proteína, assim como alto conteúdo de carboidratos, refletindo assim no alto conteúdo do valor energético total que variou de 359Kcal.100g⁻¹ a 170Kcal.100g⁻¹.

Os genótipos que atenderam mais aos anseios do consumidor quanto à rapidez no cozimento foram as linhagens MNC04-792F-146, MNC04-769F-31, MNC04-774F-78, MNC04-774F-90 e MNC04-792F-158.

O melhoramento dos genótipos para aumento do conteúdo de proteínas levará a decréscimos nos conteúdos de lipídios, carboidratos e no valor energético total; já o aumento do conteúdo de carboidratos trará aumento ao valor energético total e, o aumento deste, proporcionará ganhos para o conteúdo de zinco.

A linhagem MNC04-792F-146 apresenta alelos favoráveis para o aumento do conteúdo de carboidratos e do valor energético total, enquanto as linhagens MNC04-769F-26, MNC04-769F-31 e MNC04-774F-90 representam boas fontes de genes para o aumento do conteúdo de proteínas, baixo conteúdo de lipídios e rápido cozimento.

As linhagens MNC04-762F-9, MNC04-792F-146 e MNC04-769F-55 apresentam maior potencial para serem lançados como cultivares biofortificadas para ferro e zinco no grão.

REFERÊNCIAS

AFONSO, S. M. E. **Caracterização físico-química e atividade antioxidante de novas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2010. 44 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar) - Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2010.

ANDERSEN, P. P. **Eradicating poverty and hunger as a national security issue for the United States**. 2015. Disponível em: www.wilsoncenter.org/sites/default/files/ACF59B4.doc . Acesso em: 31 Jan 2015.

ANDRADE, D. F. **Estatística para as ciências agrárias e biológicas: com noções de experimentação**. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2010, 470 p.

ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; SILVA, L. R. A.; DAMASCENO-SILVA, K. J. Variabilidade e correlações em linhagens de feijão-caupi de tegumento e cotilédones verdes avaliadas para feijão-verde. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 3, 2013, Recife. **Anais**. Recife, PE: IPA, 2013. 1 CD-ROM.

AKPAPUNAM, M. A.; ACHINEWHU, S. C. Effects of cooking, germination and fermentation on the chemical composition of Nigerian Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 35, n. 4, p. 353-358, 1985.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17 ed., v. 2, Chapter 50, p.15-18, 2008.

ASSUNÇÃO, M. C. F.; SANTOS, I. S. Efeito da fortificação de alimentos com ferro sobre anemia em crianças: um estudo de revisão. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.23, n.2, p.269-281, 2007.

BALTUSSEN, R.; KNAI, C.; SHARAN, M. Iron fortification and iron supplementation are cost-effective interventions to reduce iron deficiency in four subregions of the world. **Journal of Nutrition**, v.134, p. 2678-2684, 2004.

BARAMPANA, Z.; SIMARD, R. E. Oligosaccharides, antinutritional factors and protein digestibility of dry bean as affected by processing. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, n. 4, p. 833-838, 1994.

BARROS, N. V. A. **Influência do cozimento na composição centesimal, minerais, compostos bioativos e atividade antioxidante de cultivares de feijão-caupi**. 2014. 90f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

BOUIS, H. E.; HOTZ, C.; McCLAFFERTY, B.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. H. Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 3, n. 2, 31-40, 2011.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Secretaria de Atenção à Saúde. Guia Alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31 mar. 2008. Seção 1, p. 11-14.

BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi com altos teores de ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 1 Folder.

CARBONELL, S. A. M.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CARVALHO, L. C. B.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M.; FRANCO, L. J. D.; SILVA, L. R. A.; CARVALHO, J. S.; SOUSA, M. B.; PIRES, C. J.

Obtenção de populações de feijão-caupi visando a biofortificação para os teores de ferro, zinco e proteína. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 5p. 1. CD ROM.

CARVALHO, A. F. U.; SOUSA, N. M.; FARIAS, D. F.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; SILVA, R. M. P.; VIANA, M. P.; GOUVEIA, S. T.; SAMPAIO, S. S.; SOUSA, M. B.; LIMA, G. P. G.; MORAIS, S. M.; BARROS, C. C.; FREIRE FILHO, F. R. F. Nutritional ranking of 30 Brazilian genotypes of cowpeas including determination of antioxidante capacity and vitamins. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 26, n. 1-2, p. 81-88, 2012.

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

COELHO, C. M. M.; ZÍLIO, M.; PIAZZOLI, D.; FARIAS, F. L.; SOUZA, C. A.; BORTOLUZZI, R. L. C. Influência das características morfológicas e físicas dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na sua capacidade de hidratação e cocção. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 105-107, 2007.

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

COSTA, M. M.; BRITO, M. F. F.; MONTEIRO, P. O.; SILVA, I. C. V.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. de M. Potencial de populações F3 de feijão-caupi para biofortificação de ferro no grão. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 24., 2014. Aracaju. **Anais...**Campinas: SBCTA, 2014. p.14 . 1 CD-ROM.

COSTA, N. Q. **Características nutritivas e sensoriais de formulações de baiões-de-dois elaboradas a partir de arroz integral e feijão-caupi biofortificados**. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271- 276, 2013.

D'ALBUQUERQUE, C. L. C. **Adaptabilidade e estabilidade produtiva e características tecnológicas de genótipos de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. 2013. 119f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

DAVIDSSON, L.; NESTEL, P. Efficacy and effectiveness of interventions to control iron deficiency and iron deficiency anemia. **Washington: International Nutritional Anemia Consultative Group**, 2004.

DINIZ, M. C.; SILVA, C. L.; ARAGÃO, N. L. L.; MUNIZ, M. B.; FERREIRA, G. M.; OLIVEIRA, M. R. T. Caracterização química e tecnológica de 4 variedades de feijão macasar verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) comercializadas e consumidas no município de Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.3, n.1, p. 91-100, 2001.

EL-JASSER, A. S. H. Chemical and biological properties of local cowpea seed protein grown in Gizan Region. **International Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 1, n. 2, p. 68-75, 2011.

Feijão-caupi: cultivares ricas em ferro e zinco. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2010. 1 Folder.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. International Fund for Agricultural Development. World Food Programme. **The state of the food insecurity in the world.** Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome: FAO/IFAD/WFP, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf>. Acesso em: 11 março 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - STATISTICS DIVISION. **Production/Crops/Cow peas, dry.** 2014. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 11 março 2016.

FRANCO, L. J. D.; BARRETO, A. L. H.; ROCHA, F. B.; SANTOS, A. C. dos; MEDEIROS, A. M.; ASSUNÇÃO FILHO, J. R. de; ROCHA, M. de M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; FREIRE FILHO, F. R.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de. Avaliação dos teores de ferro, zinco e proteína em linhagens de feijão-caupi tipo fradinho. In: REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 3, 2009, Aracajú, SE. **Anais.** Aracajú, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009. 1 CD – ROM.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. de F. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão – caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.03, p. 286-290, 2007.

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. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 28-92.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO V. Q.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M. S.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil:**

produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, C. A. A. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 29-92.

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**, Campinas, v. 30, p. 44-50, 2010.

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

FUJIMORI, E.; SATO, A, P, S.; SZARFARC, S. C.; VEIGA, G. V.; OLIVEIRA, V. A.; COLLI, C.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. Anemia in Brazilian pregnant women before and after flour fortification with iron. **Revista de Saúde Pública**, 2011.

FURTUNATO, A. A.; MAGALHÃES, M, M dos A.; MARIA, Z, L. Estudo do feijão verde (*Vigna Unguicunlata* (L.) Walp.) minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.20, n.3, p.299-301, 2000.

GOMES, C.J.; SILVA, C.O. Elaboração e Análises físico-químicas de farinha de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.50, n.292, p.687-697, 2003.

HUNT, J.M. The potential impact of reducing global malnutrition on poverty reduction and economic developmente. **Asian Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v.14, p. 10-38, 2005.

KBATOUNIAN, C.A. **Produção de alimentos para consumo doméstico no Paraná: caracterização e culturas alternativas**. Londrina: IAPAR, 155p., 1994. (Circular, 81).

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 grão de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus angularis* (Wild) Wright e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 2, n. 1, p. 35-44, 1990.

LANDIM, L. A. S. R. **Utilização de biscoito enriquecido com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) biofortificado em pré-escolares para controle da anemia ferropriva**. 2013. 94f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro: IBGE, v.29, n. 12, 2015. 88p.

LIMA, E. D. P. A.; JERÔNIMO, E. S.; LIMA, C. A. A.; GONDIM, P. J. S.; ALDRIGUE, M. L.; CAVALCANTE, L. F. Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão-caupi para processamento tipo conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n.1, p.129-134, 2003.

LONG, J. K.; BANZIGER, M.; SMITH, M. E. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. **Crop Science**, v. 44, p. 2019-2026, 2004.

LÖNNERDAL, B. Dietary factors influencing zinc absorption. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1378-1383, 2000.

MASHI, D. S. **Genetic studies on seed coat texture and cooking time in some varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.)**. 2006, 131 f. Thesis

(Doctor Science) – Faculty of Natural Sciences, Federal University of Technology, Yola.

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

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloid-chemical and biochemical study. **Acta Agriculturae Suecana**, v.2, p.185-190, 1946.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1114-1121, 2007.

MONTEIRO, P. O. **Composição química do grão de um cruzamento de feijão-caupi**. 2014. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

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

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; FROTA, K. M.; MENESES, N. A.; MARTINS, L. S.; ARAÚJO, M. A. M. Utilização de biscoito à base de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em pré-escolares com anemia ferropriva. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI. 2., 2009. Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio Norte, 2009. 1 CD-ROOM.

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

MOURA, J. O.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; 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.

NEVES, A. C.; CÂMARA, J. A. S.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; SOBRINHO, C. A. **Cultivo do feijão-caupi em sistema agrícola familiar**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 15p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 51).

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V.; WATANABE, E. Biofortificação como ferramenta para combate a deficiências em micronutrientes. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE GEOLOGIA MÉDICA, 2005, Rio de Janeiro. Geologia médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente: **Anais**. Rio de Janeiro: CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2006. p. 43-47.

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

OLAPADE, A.A.; OKAFOR, G.I.; OZUMBA, A.U.; OLATUNJI, O. Characterization of common Nigerian cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) varieties. **Journal of Food Engineering**, v.55, p.101-105, 2001.

OLIVEIRA, D. G. **Seleção simultânea para produção, biofortificação e culinária em populações segregantes de feijão-caupi**. 2014. 71f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

OLIVERA-CASTILLO, L.; PEREIRA-PACHECO, F.; POLANCO-LUGO, E.; OLIVERA-NOVOA M.; RIVAS-BURGOS, J. George Grant. Composition and bioactive factor content of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) raw meal and protein concentrate. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v.87, p.112-119, 2007.

PEREIRA, E. J.; CARVALHO, L. M. J.; DELLAMORA-ORTIZ, G. M.; CARDOSO, F. S. N.; CARVALHO, J. L. V.; VIANA, D. S.; FREITAS, S. C.; ROCHA, M. M. Effects of cooking methods on the iron and zinc contents in cowpea (*Vigna unguiculata*) to combat nutritional deficiencies in Brazil. **Food and Nutrition Research**, v. 58, n. 20694, 2014.

PHILLIPS, R. D.; MCWATTERSA, K. H.; CHINNANA, M. S.; HUNGA, Y.; BEUCHATA, L. R., SEFA-DEDEHB, S.; SAKYI-DAWSONB, E.; NGODDYC, P.; NNANYELUGOD, D.; ENWEREC, J.; KOMEYA, N. S.; LIUE, K.; MENSA-WILMOTF, Y.; NNANNAG, I. A.; OKEKEC, C.; PRINYAWIWATKULH, W.; SAALIAA, F. K. Utilization of cowpeas for human food. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 193-213, 2003.

PIEIDADE, J. BRIGIDE, P.; BRAZACA, S. G. C.; SILVA, M. A. Compostos fenólicos: capacidade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e biofortificado. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. **Palestras e Resumos...**Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 1 CD-ROM.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 5ª. ed., Lavras: Ed. UFLA, 2012b. 565p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2ª. ed. Lavras: UFLA, 2012, 305p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ABREU, A. F. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 1ª. ed. Lavras: Editora UFLA, 2012a. 522p.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 28, n. 1, p. 200-213, 2008.

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

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; CARVALHO, H. L.; VILARINHO, A. A.; SANTOS, A. M. F.; FRANCO, L. J. D. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi para os teores de ferro e zinco no grão. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1. CD ROM.

ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; FREIRE FILHO, F. R.; CARVALHO, H. W. L.; VILARINHO, A. A.; FRANCO, L. J. 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. **Palestras e Resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

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: IV REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011. Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD ROM.

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

ROCHA, M. de M. **O feijão-caupi para consumo na forma de feijão fresco.** 2009. Disponível em: <<http://agrosoft.com/pdf.php/?node=212374>>. Acesso em: dez. 2014.

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; ANDRADE, S. A. C.; LIVERA, A. V. S. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 525-530, 2005.

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

SANTOS, C. A. F.; BOITEUX, L. S. Breeding biofortified cowpea lines for semi-arid tropical areas by combining higher seed protein and mineral levels. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6782-6789, 2013.

SANTOS, C. A. F.; BOITEUX, L. S. Genetic control and transgressive segregation of zinc, iron, potassium, phosphorus, calcium, and sodium accumulation in cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. Breeding biofortified cowpea lines for semi-arid tropical areas by combining higher seed protein and mineral levels. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 1, p. 259-268, 2015.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 56p.

SAS INSTITUTE. **SAS/ETS® User's Guide, Version 7-2**. Cary: SAS Institute, 1999. 1550p.

SHAHIDI, F.; HO, C. T. **Antioxidant measurement and applications**. Washington: American Chemical Society, 2007. p. 2-7. (ACS Symposium Series 956).

SHARMA, P.; DWIVEDI, S.; SINGH, D. Global poverty, hunger, and malnutrition: a situational analysis. In: SING, U.; PRAHARAJ, C.S.; SINGH, S.S.; SINGH, N.P (ed.). **Biofortification of food crops**. New Delhi: Springer, 2016. p. 19-30.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, C. N. Rendimentos de feijão verde e maduro de cultivares de caupi. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 11, n. 2, p. 133-135, 1993.

SIMPLÍCIO, A. P. M. **Desenvolvimento de pão integral enriquecido com farinha de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SOMAVILLA, M.; OLIVEIRA, V. R.; STORCK, C. R. Composição centesimal e de minerais no congelamento e uso associado de micro-ondas para descongelamento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Disciplinarium Scientia**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 103-114, 2011.

SOUZA e SILVA, S. M.; MAIA, J. M.; ARAÚJO, Z. B.; FREIRE FILHO, F. R. **Composição química de 45 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata***

(L.) Walp.). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 2p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 149).

STANLEY, D. W.; AGUILERA, J. M. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - the influence of structure and composition. **Journal of Food Biochemistry**, v.9, p. 277-290, 1985.

TAIWO, K. A.; AKAMBI, C.; AJIBOLA, O. O. The effects of soaking and cooking time on the cooking properties of two cowpea cultivars. **Journal of Food Engineering**, v. 33, p. 337-346, 1997.

VELLOZO, E. P.; FISBERG, M. A contribuição dos alimentos fortificados na prevenção da anemia ferropriva. **Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia**, São Paulo, v.32, p.140-147, 2010.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; CALDAS, M. T. Comportamento do feijão-fradinho na primavera-verão na zona da mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1359-1365, 2000.

WATT, B.; MERRILL, A. L. **Composition of foods**: raw, processed, prepared. Washington DC: Consumer and Food Economics Research, 1963. (Agriculture Handbook, 8).