

Universidade Federal do Piauí

**Obtenção de população base em programa de seleção recorrente
para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi**

Erina Vitória Rodrigues

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

**Teresina
2012**

Erina Vitório Rodrigues
Engenheira Agrônoma

**Obtenção de população base em programa de seleção recorrente
para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi**

Orientador:
Dr. MAURISRAEL DE MOURA ROCHA
Co-orientadores:
Dr. KAESEL JACKSON DAMASCENO E SILVA
Dr. EDSON ALVES BASTOS

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

Teresina
2012

FICHA CATALOGRÁFICA
Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

R696o Rodrigues, Erina Vitório.

Obtenção de população base em programa de seleção
recorrente para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi /
Erina Vitório Rodrigues. – 2012.

100 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento,
2012.

“Orientador: Prof. Dr. Maurisrael de Moura Rocha”.

Obtenção de população base em programa de seleção recorrente para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi

Erina Vitório Rodrigues

Engenheira Agrônoma

Aprovada em 30/08/2012

Comissão julgadora:

Dr. José Baldin Pinheiro - ESALQ

Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva – Embrapa Meio-Norte
(Co-orientador)

Dr. Edson Alves Bastos – Embrapa Meio-Norte
(Co-orientador)

Maurisrael de Moura Rocha - Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer”.

(Mahatma Gandhi)

*A minha mãe (avó) Geralda Silva,
razão do meu viver.*

Ofereço.

*A meus orientadores Maurisrael de Moura
Rocha, Francisco Rodrigues Freire Filho,
Regina Lúcia Ferreira Gomes e Kaesel Jackson
Damasceno e Silva, minha base acadêmica e
profissional.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha fortaleza, onde encontro conforto nos momentos difíceis;

À Universidade Federal do Piauí, pela formação acadêmica;

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

À Embrapa Meio-Norte, pela oportunidade de estágio e infraestrutura para realização do trabalho;

Ao pesquisador Dr. Maurisrael de Moura Rocha pela orientação durante a graduação e mestrado, disponibilidade para conversar, valiosa contribuição na minha formação e, além disso, pelo o excelente ser humano, exemplo de humildade, compreensão e paciência;

Ao pesquisador Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, que tenho enorme respeito e o considero como um pai, pelos valiosos ensinamentos, incentivo à pós-graduação, compreensão, companheirismo, contribuição no desenvolvimento deste trabalho, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis e pelos sábios conselhos, exemplo a ser seguido;

Ao pesquisador Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva, pela co-orientação e colaboração no desenvolvimento deste trabalho, pelos ensinamentos, pela contribuição na minha formação, pelo incentivo à pós-graduação e pela exploração constante do meu potencial;

Ao pesquisador Dr. Edson Alves Bastos, pela co-orientação, pela imensa colaboração, compartilhamento de conhecimentos, paciência, humildade, dedicação e compromisso, motivos de profundo respeito e admiração;

À professora Dra. Regina Lúcia Ferreira Gomes, pelo apoio incondicional durante minha vida acadêmica, incentivo ao estágio na Embrapa, hombridade, carinho, amizade, cuidado, palavras sábias, motivos de referência para mim;

À coordenadora do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento Dra. Ângela Celis Lopes, pela compreensão, seriedade, atenção e flexibilidade;

Aos pesquisadores Dr. Aderson Soares, pela amizade, ensinamentos, colaboração e disponibilidade; Dr. Rafael Vivian, pela atenção, seriedade e compromisso, pelo compartilhamento de conhecimentos e ajuda quanto à inviabilidade da mensuração de caracteres fisiológicos no experimento; Dr. Paulo Vieira, pela compreensão,

atenção, participação na banca de qualificação e disponibilidade para contribuir para melhoria do trabalho;

À equipe do laboratório do feijão-caupi, Manoel Gonçalves pela imensa ajuda, pela amizade e valiosos conhecimentos compartilhados; Ivo Pinto (aposentado), pelos ensinamentos teóricos e práticos e pela amizade e apoio; Agripino Ferreira, por quem guardo enorme respeito e admiração; Paulo Monteiro, pela amizade e pelas palavras de incentivo; Adão Cabral, pela amizade, apoio e os bons momentos de descontração; Ana Lúcia, pelo ombro amigo, disponibilidade para conversar e por sempre transmitir palavras de fé e conforto; Francisco Gregório e Antônio José, pela ajuda; Clodeildes Nunes, pelos conhecimentos compartilhados e enorme colaboração no Curso de Excel;

Aos estagiários da equipe do feijão-caupi, Lígia Almeida; Camila Campelo; Rosana Mendes; Carlos Misael, Laíze Lemos, Fernanda Freitas, Cristiana, Michel Barros, Jackeline Santos, Jaqueline Luz, Jéssica Lustosa, Mário Henrique, Massaine Bandeira, Caroline Pires, Karla Anielle, Tayane Santos, Ueslei Leão, Akemi, Leane Fialho, e, especialmente, a Mariane Moraes e Andrea Barros, pela amizade, confidências compartilhadas, presentes que Deus me deu.

Às “mulheres” do Caupi, especialmente a D. Graça, D. Francisca D. Agostinha, que cuidaram muito bem de mim e as demais mulheres pela enorme ajuda no trabalho;

Aos estagiários da equipe da Irrigação, Ramilos Rodrigues e Darlan Braga pelos valiosos ensinamentos sobre o manejo da irrigação; Eveline, pela amizade; Dônavan Nôleto, pela ajuda; Ricardo, pelos conhecimentos compartilhados, Roberto, Valber Mendes e Eddie Leal;

A Francisco das Chagas Sousa (Mandi) e Wilames, pelo apoio no manejo de irrigação;

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, Sérgio Emílio, Gleice Ribeiro, Antônio Aécio, Paulo Sarmanho, Fábio Brito, João Batista, Ana Paula Peron, Valdomiro Aurélio (*in memoriam*) e José Ernandes pelos valiosos ensinamentos transmitidos e colaboração na minha formação;

Àos meus familiares: minha avó, Geralda Maria da Silva, pelo imensurável esforço em prol da minha formação; minha mãe, Bernadete Vitória Rodrigues, pelo apoio; minha tia e “mãe” Maria José do Nascimento Silva e família, pelo apoio incondicional durante a realização do curso, por quem tenho enorme orgulho, carinho e

admiração; meus tios, especialmente Luciana Rodrigues, Lúcia Rodrigues, Sérgio Rodrigues, Antônio Rodrigues, Ana Lina Rodrigues, Antônio Valton Rodrigues;

Aos amigos do curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento: José Ribamar, pela amizade e paciência; Hendrie Nunes e Ellida Silvestre pela amizade, madrugadas de estudo, conhecimentos compartilhados e pelos bons momentos de descontração; Cláudia Oliveira, Michele Ferreira, Jeane Moura, Isis Gomes, Raimundo Nonato, Verônica, João Paulo, Joseane Inácio, Mara Danielle, Kátia Carvalho e Kaline Gonzalez, pela amizade;

A todos que contribuíram direto ou indiretamente na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2. 1 Importância socioeconômica do feijão-caupi.....	17
2. 2 Déficit hídrico em feijão-caupi	20
2. 3 Tolerância ao déficit hídrico.....	22
2. 4 Seleção recorrente	28
2. 5 Análise dialética.....	31
2. 6 Correlações entre caracteres em feijão-caupi.....	34
Referências	37
3 VARIABILIDADE E CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO-CAUPI SOB DÉFICIT HÍDRICO E IRRIGAÇÃO PLENA	
Resumo.....	47
Abstract.....	48
3.1 Introdução	49
3.2 Material e Métodos	51
3.3 Resultados e Discussão	61
3.4 Conclusões.....	74
Referências	75
4 ANÁLISE DIALÉTICA VISANDO À OBTENÇÃO DE POPULAÇÕES DE FEIJÃO- CAUPI TOLERANTES AO DÉFICIT HÍDRICO	
Resumo.....	79
Abstract.....	80

4.1 Introdução	81
4.2 Material e Métodos.....	82
4.3 Resultados e Discussão	89
4.4 Conclusões.....	97
Referências	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção, área e produtividade de feijão-caupi nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, referente ao período de 2005 a 2009. (Freire Filho et al., 2011).....	18
Figura 2 - Produção e área de feijão-caupi nos estados da região Nordeste do Brasil, referente ao período de 2005 a 2009. (Freire Filho et al., 2011).....	19
Figura 3a - Croqui da área do ensaio sem déficit hídrico, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2011.....	56
Figura 3b - Croqui da área do ensaio com déficit hídrico, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2011.....	57
Figura 4 - Precipitação, temperaturas máxima, média e mínima ocorridas durante a condução dos experimentos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.....	61
Figura 5 – Variação da umidade do solo nas camadas 0-10 cm, 0-20 cm, 0-30 cm e 0-40 cm, a) experimento sem déficit hídrico, b) experimento com déficit hídrico e c) umidade média nos dois experimentos.....	63
Figura 6 . Associação entre o índice de produção relativa e o índice de tolerância ao estresse em genótipos de feijão-caupi submetidos à deficiência hídrica e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Descrição dos seis genitores de feijão-caupi utilizados nos cruzamentos dialélicos. Teresina, PI, 2011.....	51
Tabela 3.2 Genótipos de feijão-caupi avaliados sob deficiência hídrica e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.....	52
Tabela 3.3 - Características físicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).....	54
Tabela 3.4 - Características químicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).....	54
Tabela 3.5. Resumo da análise de variância para os caracteres número de dias para o início de floração (NDIF), número de dias para a maturidade (NDMD), número de dias para a maturação (NDM), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), número de vagens por pedúnculo (NVPed), peso de vagens por planta (PVP), peso da vagem (PV), comprimento de vagem (COMPV), número de grão por vagem (NGV), peso de grãos por vagem (PGV), produção de grão (PG), peso de 100 grãos (P100G) e índice de grãos (IG), referente a dois experimentos, Ensaio com déficit hídrico (ECDH) e Ensaio sem déficit hídrico (ESDH), de avaliação de genótipos de feijão-caupi. Teresina-PI, 2011.....	65
Tabela 3.6 Valores da produção de grãos, percentual de redução da produção, índice de produção relativa e índice de tolerância ao estresse em genótipos de feijão-caupi submetidos à deficiência hídrica e irrigação plena em feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.....	68
Tabela 3.7 Estimativa do coeficiente de correlação fenotípica entre caracteres de feijão-caupi avaliados sob déficit hídrico e irrigação plena em Teresina, PI, 2011...71	71
Tabela 4.1. Descrição dos seis genitores de feijão-caupi utilizados nos cruzamentos dialélicos. Teresina, PI, 2011.....	82
Tabela 4.2 Genótipos de feijão-caupi avaliados sob deficiência hídrica e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.....	83

Tabela 4.3 - Características físicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).....	85
Tabela 4.4 - Características químicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).....	85
Tabela 4.5. Resumo da análise de variância para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), referente ao experimento de avaliação do cruzamento dialélico envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi, as respectivas populações F ₂ e os recíprocos. Teresina, PI, 2011.....	90
Tabela 4.6. Estimativa da capacidade geral de combinação (CGC) para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), segundo o método 1, proposto por Griffing (1956) para o dialelo envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.....	92
Tabela 4.7. Estimativa da capacidade de combinação específica (CEC) e efeito recíproco para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG) e peso de 100 grãos (P100G) segundo o método 1, proposto por Griffing (1956) para o dialelo envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.....	95

RESUMO

RODRIGUES, E. V. **Obtenção de população base em programa de seleção recorrente para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi. 2012.** 100p. Dissertação (Mestrado/Genética e Melhoramento) – UFPI, Teresina, 2012.

A baixa adoção de tecnologias pelos agricultores e a ocorrência de estresses bióticos e abióticos são fatores que limitam a produção do feijão-caupi na região Nordeste do Brasil. A tolerância de cultivares ao déficit hídrico é uma das formas para diminuir os efeitos negativos dos estresses sobre a produtividade. Por se tratar de um caráter complexo, a obtenção de sucesso com a seleção em um único ciclo seletivo é muito baixa e uso da seleção recorrente é mais eficaz na obtenção de ganhos via melhoramento. Dessa forma o presente estudo teve os seguintes objetivos: avaliar populações segregantes na geração F_2 para obter uma população base com o propósito de iniciar um programa de seleção recorrente para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi; identificar genitores e combinações promissoras com maior probabilidade de gerarem populações segregantes de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico; e estimar correlações fenotípicas entre caracteres em populações de feijão-caupi. Foi realizado um dialelo completo envolvendo seis genótipos de feijão-caupi e conduzidos dois ensaios onde foram avaliadas 30 populações F_2 , juntamente com seus genitores, sendo um sob déficit hídrico, e outro sob irrigação plena, ambos no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, no ano de 2011. Utilizou-se o delineamento experimental látice triplo, com parcela de 6 linhas de 2 m, sendo amostradas 16 plantas por parcela. Foram obtidos dados para 14 caracteres agrônômicos e submetidos à análise de variância e, utilizando-se das médias, obtiveram-se as estimativas de capacidade geral e específica de combinação. O déficit hídrico reduziu em 29,83 % a produção de grãos. As populações apresentaram variabilidade para a maioria dos caracteres, sendo menor sob déficit hídrico. A seleção indireta via número de vagem por pedúnculo, comprimento de vagem, peso de grão por vagem e peso de 100 grãos pode aumentar a produção de grãos tanto sob déficit hídrico quanto irrigação plena. Os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos, sendo também constatada a presença de herança materna. Os genótipos BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2 e MNC99-510F-16-1 foram mais promissores para serem usados em programa de seleção recorrente visando tolerância ao déficit hídrico. As combinações híbridas 2x3, 3x5, 4x6, 6x1 e 6x2 apresentam potencial para produtividade e tolerância ao déficit hídrico.

Palavras chaves: *Vigna unguiculata*, estresse abiótico, dialelo, Griffing.

ABSTRACT

RODRIGUES, E. V. **Obtainment of base population in recurrent selection program for tolerance to water deficit in cowpea. 2012.** 100p. Dissertation (Msc. / Genetics and Breeding) – UFPI, Teresina, 2012.

The low adoption of technologies by farmers and the occurrence of biotic and abiotic stress are factors that limit the production of cowpea in Northeast Brazil. The tolerance of cultivars to water deficit is one way to decrease the negative effects of stress on yield. Because it is a complex trait, obtaining successful selection in a single selective cycle is very low and the use of recurrent selection is more effective in achieving gains through breeding. The present study had the following objectives: to evaluate cowpea segregating populations in F₂ generation for get a base population for the purpose of initiating a program of recurrent selection for tolerance to water deficit in cowpea; identify parents and promising combinations with higher probability of generate cowpea segregating populations tolerant to water deficit; and to estimate phenotypic correlations among traits in cowpea populations. It was performed a complete diallel involving six cowpea genotypes and carried out two experiments where was evaluated in 30 F₂ populations, together with their parents, being one under water deficit, and another under full irrigation, both in the experimental field of Embrapa Mid-North in Teresina, Piaui, Brazil, in 2011. Experimental design lattice triple with plot was used and consisted of 6 lines of 2 m, which sampled 16 plants per plot. It was obtained data for 14 agronomic traits and submitted to analysis of variance and, using averages, we obtained estimates of general and specific combining capacity. Water deficit reduced 29.83% in grain production. Populations presented variability for the most traits, being low under water deficit. The indirect selection by number of pods per peduncle, pod length, grain weight per pod, and 100-grain weight can increase grain yield under both water deficit as full irrigation. The additive effects were more important than non-additive effects, and also found the presence of maternal inheritance. BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2, and MNC99-510F-16-1 genotypes were the most promising for use in recurrent selection program aiming water deficit tolerance. The hybrid combinations 2x3, 3x5, 4x6, 6x1 and 6x2 have potential for yield and water deficit tolerance.

Key words: *Vigna unguiculata*, abiotic stress, diallel, Griffing.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, é uma leguminosa importante e amplamente cultivada em diversas partes do mundo. A produtividade de feijão-caupi na região Nordeste é baixa (330 kg·ha⁻¹). No entanto, já foram obtidas, em condições experimentais, produtividades superiores, evidenciando assim o potencial genético da cultura. Dentre os fatores que limitam a sua produção, estão baixa adoção de tecnologias e a ocorrência de estresses bióticos e abióticos. A maior parte da produção de feijão-caupi, no Brasil, é obtida sob condições de sequeiro, sem o aporte tecnológico da irrigação, propiciando condições de riscos à cultura em função da possibilidade de ocorrência de veranicos e ou precipitação abaixo dos níveis exigidos pela cultura.

Nesse contexto, é de suma importância o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a períodos de déficit hídrico, bem como o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de estiagem, pois serão essenciais na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial em níveis que possam alimentar uma população em constante crescimento. O melhoramento genético constitui função essencial neste processo, associado a outras áreas de conhecimento. Por se tratar de um caráter complexo, os programas de melhoramento visam estratégias que possibilitem maior sucesso, o uso da seleção recorrente, pode ser mais eficaz na obtenção de ganhos via melhoramento.

Até o momento, segundo o levantamento bibliográfico realizado, inexistem relatos na literatura sobre o uso da seleção recorrente em feijão-caupi. Uma das etapas essenciais deste processo, após a seleção de genitores é a escolha de populações segregantes promissoras; para isso, há vários métodos, dentre eles, os cruzamentos dialélicos. O conhecimento do potencial genético de um cruzamento, obtido por mais de um método, permite que os esforços e recursos financeiros sejam investidos naqueles mais promissores.

Frente à intensidade de ocorrência do déficit hídrico nos últimos anos, faz-se necessário o desenvolvimento de cultivares com potencial para tolerância a este estresse em regiões sujeitas a veranicos ou mesmo com baixa pluviosidade, como o semiárido nordestino. Dessa forma o presente estudo teve os seguintes objetivos: avaliar populações segregantes na geração F₂ para obtenção de uma população base com o propósito de iniciar um programa de seleção recorrente para tolerância

ao déficit hídrico em feijão-caupi; identificar genitores e combinações promissoras com maior probabilidade de gerarem populações segregantes tolerantes ao déficit hídrico; e estimar as correlações fenotípicas entre caracteres em populações segregantes de feijão-caupi.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância socioeconômica do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é originário do continente africano, mais precisamente da Nigéria, seu centro de origem e diversidade (NG; MARÉCHAL, 1985). Esta espécie foi introduzida no Brasil no século XVI, pelos colonizadores portugueses, no estado da Bahia, se expandindo, posteriormente, para outros estados (FREIRE FILHO et al., 2005). É uma planta Dicotyledonea, pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (PADULOSI; NG, 1997).

O feijão-caupi é uma leguminosa importante e amplamente cultivada em diversas partes do mundo. É um componente essencial dos sistemas de cultivo nas regiões mais secas dos trópicos, ocupando partes da Ásia e Oceania, Oriente Médio, Sudeste da Europa, África, Sudeste dos Estados Unidos e América Central e do Sul (SINGH et al., 2002). A planta é pouco exigente em fertilidade do solo e apresenta boa capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, através da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* (RIBEIRO, 2002).

A cultura do feijão-caupi é fixadora de mão de obra e desempenha papel fundamental na produção agrícola do Brasil, constituindo-se como alimento básico das populações rurais e urbanas das regiões Norte e Nordeste (FREIRE FILHO et al., 2011). Em virtude do seu valor nutritivo, é cultivado principalmente para produção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano, *in natura*, na forma de conserva ou desidratado (FREIRE FILHO et al., 2005). É um alimento rico em proteínas (cerca de 25%), carboidratos (cerca de 65%), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas (FROTA et al., 2008). Além da utilização na alimentação humana, pode ser utilizado na alimentação animal, como forragem verde, feno, ensilagem e como adubo verde, possibilitando proteção e recuperação da fertilidade de solo pobre ou esgotado pelo uso intensivo (RIBEIRO, 2002).

Os maiores produtores mundiais de feijão-caupi são Nigéria, Níger e Brasil (Freire Filho et al., 2011). Segundo estimativas apresentadas pelo mesmo autor, com base nos dados do IBGE, no período de 2005 a 2009, a área e produção média desta cultura no Brasil foram de 1.391.386 ha e 513.619 t, respectivamente

concentrando-se nas regiões Norte e Nordeste e se expandindo para a região Centro-Oeste, principalmente para os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A região Nordeste tem maior participação na produção (426.367 t), contudo, apresenta baixa produtividade ($330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) o que evidencia a necessidade de investimento em tecnologia. Na região Norte, a área cultivada e a produção são menores, no entanto, a produtividade é expressiva ($831 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Na região Centro-Oeste, a produtividade é de $960 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, superior à média brasileira; isso ocorre em virtude do cultivo altamente tecnificado (Figura 1).

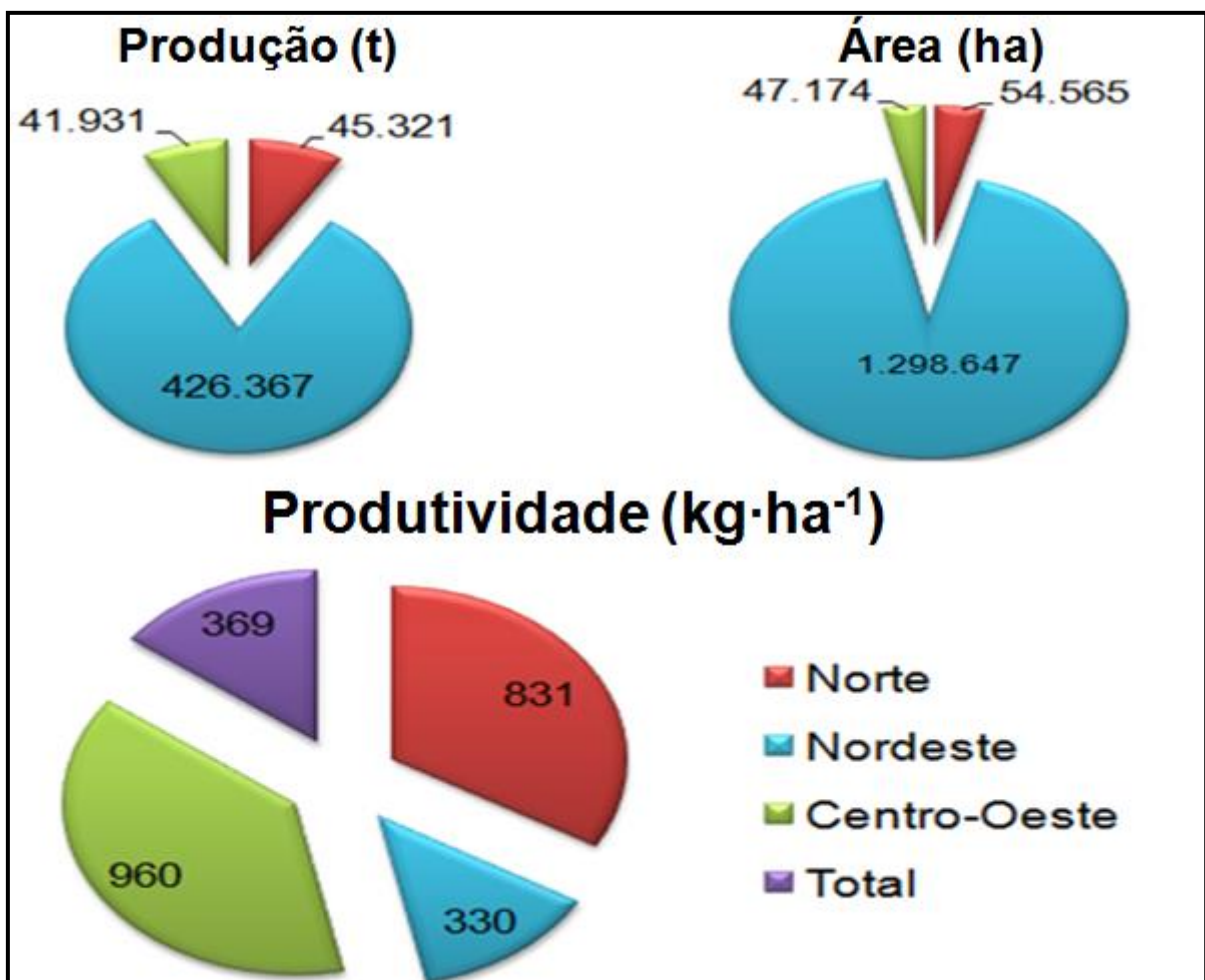


Figura 1 - Produção, área e produtividade de feijão-caupi nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, referente ao período de 2005 a 2009. (Freire Filho et al. 2011)

O Estado do Ceará é o maior produtor de feijão-caupi do Brasil. O Piauí ocupa a segunda posição no *ranking* dos maiores produtores da região Nordeste, com área e produção média de 229.408 ha e 56.090 t, respectivamente (Figura 2).

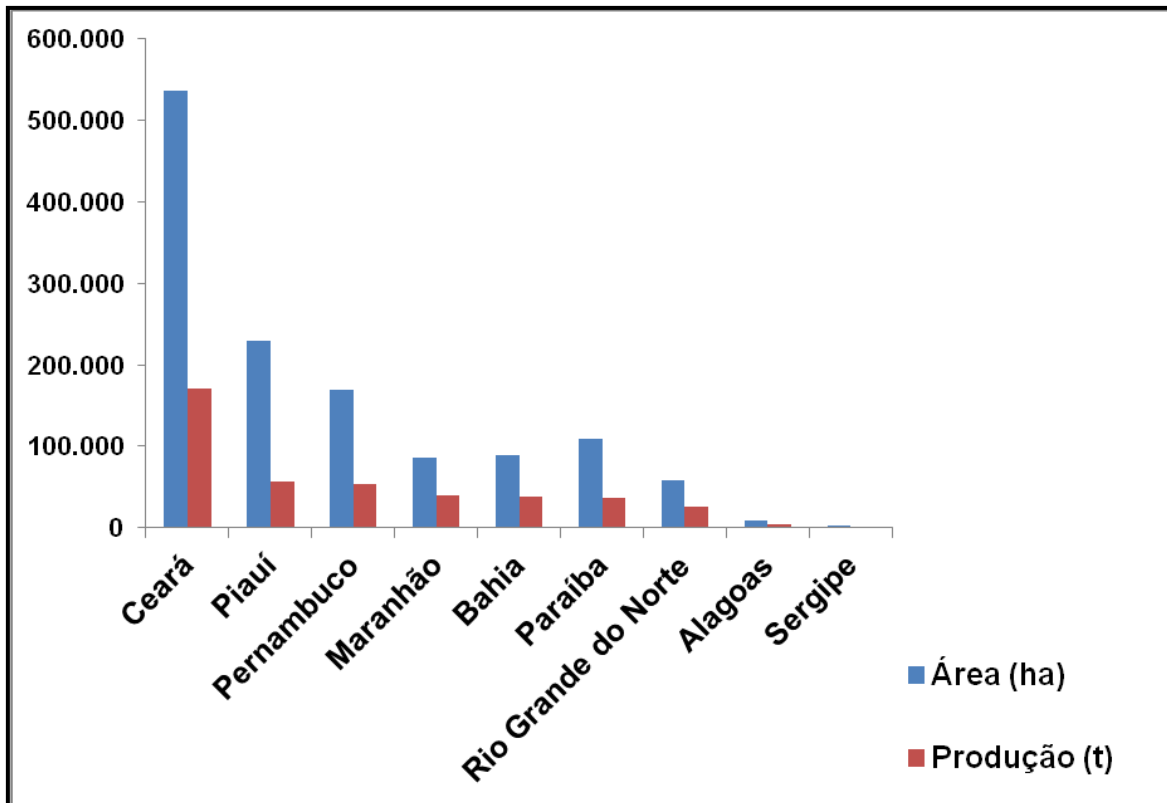


Figura 2 - Produção e área de feijão-caupi nos estados da região Nordeste do Brasil, referente ao período de 2005 a 2009. (Freire Filho et al., 2011)

A produção de feijão-caupi na região Nordeste é baixa ($330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). No entanto, já foram obtidas, em condições experimentais, produtividades de grãos secos acima de $3.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (BEZERRA, 1997). Esse dado comprova que a cultura tem potencial genético para alcançar produtividade superior e que o aprimoramento do manejo e, principalmente, a seleção de genótipos bem adaptados às diferentes regiões do país são os caminhos para alcançar esse objetivo (FREIRE FILHO et al., 2005). Dentre os fatores que limitam a sua produção, estão baixa adoção de tecnologias e a ocorrência de estresses bióticos e abióticos. A maior parte das safras de feijão-caupi, no Brasil, é obtida sob condições de sequeiro, sem o aporte tecnológico da irrigação, propiciando condições de riscos à cultura em função da possibilidade de ocorrência de veranicos e ou precipitação abaixo dos níveis exigidos pela cultura. Conseqüentemente, o déficit hídrico é o fator mais limitante, entre os abióticos, para o incremento na produção de feijão-caupi no Brasil.

2.2 Déficit hídrico em feijão-caupi

Nos últimos anos, as perdas relacionadas ao déficit hídrico têm sido o principal desafio para a produção de grãos, sendo o fator ambiental que mais limita a produtividade das culturas em todo mundo, especialmente nas regiões semiáridas (FRITCHE-NETO; BORÉM, 2011). As plantas estão sujeitas a condições adversas durante o seu desenvolvimento, que são conhecidas como estresse. Este termo é definido como desvio das condições ótimas para o crescimento, desenvolvimento e suas chances de sobrevivência (LARCHER, 2000). O estresse causado pelo déficit hídrico é bastante amplo, englobando déficits pouco pronunciados, que não são percebidos; até aqueles casos em que as plantas tornam-se completamente murchas, sendo, portanto, um processo irreversível.

A necessidade hídrica varia de acordo com a cultivar, condições edafoclimáticas e estádios fenológicos da cultura. O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001). As exigências hídricas do feijão-caupi variam de 300 a 450 mm/ciclo, distribuídas de maneira que atenda a necessidade de cada estágio de desenvolvimento da espécie (FREIRE FILHO et al., 2005). É de suma importância o manejo correto da irrigação, de forma a proporcionar à cultura condições de disponibilidade hídrica que permitam expressar o seu potencial genético de produtividade. Diante disso, deve-se identificar a época e a quantidade de água a ser aplicada.

Os efeitos do déficit hídrico iniciam quando a evapotranspiração supera a quantidade de água do solo, absorvida pela planta. Este é um dos fatores que acometem a produção agrícola com maior frequência e de forma complexa, pois afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal, incluindo modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. Isso leva a um aumento da resistência difusiva ao vapor de água, mediante o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e o suprimento de dióxido de carbono para o processo fotossintético, diminuição do crescimento celular e aumento da fotorrespiração (BEZERRA et al., 2003; FONTANA et al., 1992; OLIVEIRA et al., 2008; SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007).

A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio

de desenvolvimento da planta (SANTOS et al., 1998). Assim sendo, trabalhos têm sido realizados para verificar o efeito do déficit hídrico, principalmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos, sobre o rendimento de feijão-caupi.

Costa et al. (1997) estudaram o efeito do déficit hídrico aplicado nas fases vegetativa e reprodutiva sobre os componentes de produção, rendimento, crescimento e distribuição do sistema radicular em três cultivares de feijão-caupi (Pitiúba, Setentão e Epace-10) cultivadas em casa de vegetação. Em condições de déficit, as cultivares aprofundaram o sistema radicular. Quanto à imposição do déficit nos estádios fenológicos, apresentaram os seguintes resultados: fase vegetativa, as cultivares prorrogaram o início da floração; fase reprodutiva, as cultivares sofreram reduções no comprimento de vagens e no número de grãos por vagem e nos dois estádios, o déficit reduziu número de vagens, peso de vagens e produção de grãos.

Bastos et al. (2002) avaliando o crescimento e o desenvolvimento de duas cultivares de feijão-caupi, submetidas a diferentes regimes hídricos, nos municípios de Teresina e Parnaíba, verificaram que, sob baixa disponibilidade de água, houve redução da matéria seca, número de folhas e índice de área foliar. Constataram, ainda, que, para o desenvolvimento satisfatório da cultura, devem-se aplicar lâminas de irrigação entre 274 e 330 mm, em Parnaíba; e entre 200 e 403 mm em Teresina.

Bezerra et al. (2003) estudaram o efeito do déficit hídrico sobre os componentes de produção nas fases fenológicas do feijão-caupi, no município de Fortaleza-CE. Verificaram que o estágio de enchimento de grão foi o mais sensível ao déficit hídrico, reduzindo 59% da produção. Os caracteres número de vagens por planta e o número de grãos por vagem foram afetados pela deficiência hídrica, no entanto o comprimento de vagem e o peso de 100 grãos não foram comprometidos.

Em um experimento em casa de vegetação, em Botucatu-SP, utilizando a cultivar de feijão-caupi EMAPA-821, Leite e Virgens Filho (2004) avaliaram o efeito de variação na disponibilidade de água no solo em diferentes estádios de desenvolvimento sobre a produção de matéria seca total e de raízes, folhas e frutos. Estes observaram um acentuado decréscimo nos valores de matéria seca das diversas partes da planta com o aumento da duração do déficit hídrico. A duração do período de déficit revelou-se mais importante do que a época de ocorrência.

Silva et al. (2010a) realizaram estudos sobre diferentes níveis de déficit hídrico na cultivar de feijão-caupi BRS Xiquexique, utilizando três tratamentos: T_0 – reposição de 100% da evapotranspiração, T_1 – reposição de 50% e T_2 – reposição

de 25%. Estes observaram que plantas de feijão-caupi submetidas à reposição de 50% da água perdida por evapotranspiração não apresentaram danos no aparelho fotossintético, e as plantas que receberam reposição de 25% sofreram reduções nos níveis de assimilação fotossintética, condutância estomática e transpiração.

Nascimento et al. (2011) estudaram o efeito do déficit hídrico sobre as características fisiológicas e produtivas em 20 genótipos de feijão-caupi e avaliaram os seguintes caracteres: condutância estomática, potencial hídrico foliar, temperatura das folhas e produtividade de grãos. Os autores aplicaram metade da lâmina requerida pela cultura na fase reprodutiva e verificaram que houve redução de 62% no potencial hídrico foliar, 72% na condutância estomática, 60% na produtividade de grãos e um aumento de 11,7% na temperatura foliar. Os genótipos BRS Paraguaçu, Pingo de Ouro-1-2, Canapu-BA, CNCx-698-128G e TE898 apresentaram características fisiológicas e produtivas de tolerância ao déficit hídrico, pois mantiveram um potencial hídrico maior que os demais, evidenciando um maior controle na abertura estomática. Os genótipos Tracuateua-192 e Santo Inácio apresentaram maior redução no potencial hídrico foliar, ocasionando perda de turgescência e maior fechamento dos estômatos, consequentemente, maior redução na produção de fotossintatos e menor rendimento de grãos.

Diante das diversas perdas provocadas pelo déficit hídrico, as plantas desenvolvem mecanismos morfológicos e fisiológicos para responder e adaptar-se a este estresse, permitindo sua sobrevivência frente às condições adversas. Durante a resposta e adaptação a estresse, uma cascata de genes inter-relacionados são induzidos e os níveis de determinadas proteínas de tolerância são aumentados (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007). Assim, faz-se necessária a identificação e caracterização de genótipos, bem como estudos sobre interação de mecanismos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares.

2.3 Tolerância ao déficit hídrico

Os mecanismos que as plantas utilizam para suportar o déficit hídrico podem ser agrupados em três categorias: escape do déficit hídrico - capacidade de uma planta completar seu ciclo de vida antes de ocorrer déficits de água no solo e na planta; evitar o déficit hídrico - capacidade da planta de manter o potencial hídrico relativamente alto nos tecidos, mesmo com baixa umidade no solo; e tolerância ao

déficit hídrico - capacidade das plantas tolerarem ao déficit com baixo potencial de água nos tecidos (AGBICODO et al., 2009).

Apesar do feijão-caupi ser considerado uma cultura tolerante ao déficit hídrico, estudos têm mostrado que este pode reduzir o rendimento. Esse fato mostra a necessidade do desenvolvimento de cultivares tolerantes (ANYIA; HERZOG, 2004; FATOKUN, 2009). Ashley (1993) define tolerância ao déficit hídrico como a capacidade que a planta tem para viver, crescer e produzir satisfatoriamente com suprimento limitado de água no solo ou sob deficiência hídrica periódica. A tolerância ao déficit hídrico é um caráter complexo que envolve vários genes e rotas bioquímicas (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007). Estudos de expressão gênica têm mostrado que os níveis de manifestação de centenas de genes são alterados em resposta ao déficit hídrico (OZTURK et al., 2002; TALAMÉ et al., 2006; ZHOU et al., 2007).

Ao longo de sua evolução, as plantas desenvolveram muitos mecanismos morfofisiológicos de adaptação e tolerância ao déficit hídrico, possibilitando que certas espécies se fixassem em ambientes adversos. Dentre estes mecanismos, citam-se: aprofundamento de raízes; redução da área foliar, que está relacionada com a diminuição da capacidade fotossintética; fechamento estomático; aumento da espessura da cutícula; aceleração da senescência; abscisão foliar, acumulação de prolina e decréscimo da produção, os quais envolvem toda a planta e são devidos a expressões multigênicas (BERGAMASCHI, 2006; MAGLOIRE, 2005).

Diferentes caracteres são utilizados para inferir sobre a tolerância ao déficit hídrico em plantas, incluindo rendimento, características fenológicas, fisiológicas, morfológicas e bioquímicas. Geralmente, as plantas que vivem em ambientes com carência de água desenvolvem maior sistema radicular para absorvê-la nos horizontes mais profundos do solo e suas raízes apresentam plasticidade morfológica em respostas a condições físicas do solo. No entanto, é necessário compreender os fatores que limitam a disponibilidade de água no solo, bem como o custo metabólico realizado pela planta para desenvolver e manter um sistema radicular mais vigoroso (TUBEROSA, 2011). Além disso, a mensuração deste caráter, em campo, representa um fator limitante para estes estudos, tendo em vista que se deve dispor de várias técnicas para avaliação, incluindo métodos destrutivos (predominantes) e não destrutivos. Em ambientes controlados torna-se mais fácil, porém, os resultados são menos consistentes.

A área foliar é um parâmetro que está diretamente relacionado com a capacidade fotossintética e que traz consequências na produção. Segundo Kunz et al. (2007), em condições de déficit hídrico, há diminuição da expansão celular, pois o limiar de turgescência ou potencial de pressão pode não ser atingido e, conseqüentemente, há redução do índice de área foliar (IAF), razão entre a área foliar da planta e a área do solo ocupada por ela. O IAF tem relação direta com a capacidade fotossintética da planta por estar relacionado à área de assimilação do vegetal de CO₂ e de interceptação de radiação solar (MULLER, 2005). Bastos et al. (2011) avaliando genótipos de feijão-caupi para tolerância e sensibilidade ao déficit hídrico, verificaram que o IAF foi reduzido em 20%.

A maior parte da água absorvida pelo sistema radicular é evaporada e, portanto, apenas uma pequena quantidade fica retida na planta, principalmente, por meio dos estômatos, que estão localizados na epiderme foliar. Segundo Paiva et al. (2005), o controle estomático é uma importante propriedade fisiológica por meio do qual as plantas limitam a perda de água, ocasionando reduções na condutância estomática e, geralmente, reduzindo as trocas gasosas frente às condições de déficit hídrico. O fechamento estomático é o primeiro mecanismo fisiológico de defesa contra a falta de água, que provoca reduções na taxa fotossintética em função da reduzida disponibilidade de CO₂ (MAGLOIRE, 2005; PINTO, 2006; SANTOS et al., 2004; 2009).

Em condições de déficit hídrico, há um aumento no teor do ácido abscísico (ABA), sendo translocado das raízes para a parte aérea através do xilema, causando assim, o fechamento estomático (GOMES et al., 2004). O ABA é sintetizado em baixas quantidades nas células do mesófilo foliar e tende a se acumular nos cloroplastos. Quando este tecido torna-se desidratado, ocorrem dois eventos: primeiro, uma determinada quantidade de ABA, armazenada nas células do mesófilo, é liberada para o apoplasto, possibilitando que a corrente transpiratória conduza parte dessa quantidade para as células guardas; em seguida, a taxa da síntese líquida de ABA é elevada e o fechamento estomático é iniciado pela migração desse hormônio dos cloroplastos para o apoplasto (MARQUES, 2005).

Labuschagne et al. (2008) avaliaram a tolerância ao déficit hídrico em vinte genótipos de feijão-caupi com base no comportamento estomático e na estabilidade da membrana. Evidenciou-se uma correlação significativa entre o número de estômatos e a transpiração, ou seja, os genótipos com menor número de estômatos

evidenciaram uma menor taxa de transpiração, sendo associada, também, com maior tolerância ao déficit hídrico. Genótipos tolerantes apresentaram menor lesão nas membranas celulares e menor abertura estomática, o que reduziu a transpiração.

Singh e Reddy (2011) avaliaram a regulação da condutância estomática, fotossíntese, fluorescência e uso eficiente da água em feijão-caupi sob déficit hídrico. Esses autores verificaram que a fotossíntese e a fluorescência diminuíram linearmente com o conteúdo de água no solo, enquanto a eficiência do uso da água pelos genótipos aumentou; adicionalmente, constataram que a condutância estomática foi o principal fator limitante para a quantificação da taxa fotossintética. Anyia e Herzog (2004) avaliaram a variabilidade genotípica e o desempenho de genótipos de feijão-caupi quanto ao uso eficiente da água, área foliar e condutância estomática, após déficit hídrico no estágio de floração. Esses autores verificaram redução na produção e variabilidade genética para tolerância ao déficit hídrico. Além disso, constataram redução no potencial hídrico foliar e condutância estomática, sugerindo que o fechamento estomático tenha sido o principal responsável pelo declínio nas taxas de assimilação de gás carbônico. Apesar de o déficit hídrico ter causado reduções consideráveis nos parâmetros avaliados, os genótipos foram capazes de se recuperar após a reposição de água via irrigação.

Pimentel et al. (2002) estudaram a variação do conteúdo relativo de água e, sobretudo, da tolerância protoplasmática foliar em dois genótipos de feijão-caupi, Epace-10 e Mouride. Avaliaram, ainda, a possibilidade de utilização desse parâmetro para seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico. A cultivar Epace-10 apresentou maior tolerância protoplasmática foliar, no entanto sofreu uma redução de 90% da produção. Ao passo que, a cultivar Mouride teve redução de 77%. Este fato ressalta a importância de avaliar vários caracteres fisiológicos, morfológicos e fenológicos para inferir se um genótipo é tolerante ou não ao déficit hídrico.

O conhecimento dos mecanismos genéticos envolvidos na resposta ao déficit hídrico é importante, pois permite a identificação dos genes expressos nessas condições e a manipulação dessas informações para a obtenção de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico (LARCHER, 2000; TERRA, 2008). Abordagens em genômica funcional sobre o conjunto de genes relacionados ao metabolismo da água são importantes para identificar caracteres que possam ser modificados via

biotecnologia, nesse sentido, QTLs (Locos de caracteres quantitativos) de caracteres agrônômicos associados com deficiência hídrica têm sido descrito em várias espécies (FRITCHE-NETO; BORÉM, 2011). Muchero et al. (2010) ressaltam a importância do uso do mapeamento genético na identificação de regiões genômicas associadas com tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. No entanto, estudos de investigação de genes candidatos ao longo do genoma das espécies ainda são escassos.

As respostas morfofisiológicas são muito importantes na identificação de genótipos com tolerância ao déficit hídrico. Alguns métodos têm sido utilizados para avaliar a tolerância ao déficit hídrico, dentre eles, a mensuração do potencial hídrico, da condutância estomática e do teor de clorofila. No entanto, a maioria destes métodos são caros, morosos e ineficientes para avaliação de um grande número de plantas em populações segregantes (SINGH; MATSUI, 2002). Assim sendo, os componentes de produção são fundamentais no que tange a este tipo de avaliação, pois são de fácil obtenção e fornece uma resposta direta. Alguns pesquisadores têm atentado para este fato e têm sido feito estudos integrando parâmetros morfofisiológicos e componentes de produção.

Ferreira et al. (1991) estudaram as respostas fisiológicas adaptativas das cultivares de feijão-caupi BR-1 e Pitiúba ao déficit hídrico aplicado durante as fases vegetativa ou reprodutiva, correlacionando-as com os parâmetros de produção. Mensurou-se os seguintes caracteres: potencial hídrico, teor de proteínas, teor de lipídios, área foliar, número de vagens, peso de 100 grãos, produção e produtividade. As cultivares estudadas tem excelentes mecanismos de fuga ao déficit hídrico, pois de todos os caracteres mensurados, somente os teores de proteínas sofreram reduções significativas, restritas a cultivar Pitiúba e não foram capazes de induzir decréscimo no crescimento ou produção de grãos.

Fatokun et al. (2009) avaliaram linhagens de feijão-caupi do banco de germoplasma do IITA quanto à tolerância ao déficit hídrico, o experimento compreendeu dois regimes hídrico: irrigação até a maturação e o outro foi irrigado durante cinco semana após o plantio. Observaram que as linhagens apresentaram respostas variadas. Verificaram, ainda, a redução de doze dias para o florescimento e redução do rendimento médio de grãos em 67,28%. No entanto, os caracteres peso de 100 grãos e número de grão por vagem não foram afetadas pelo déficit hídrico. Este estudo possibilitou a identificação de genótipos que poderiam ser

utilizados como genitores em cruzamentos para gerar populações segregantes e selecionar variedades tolerantes ao déficit hídrico.

Bastos et al. (2011) avaliaram o efeito do déficit hídrico sobre características fisiológicas e produtivas do feijão-caupi para selecionar genótipos tolerantes. O déficit hídrico, que foi obtido aplicando-se aproximadamente metade da lâmina requerida pelo feijão-caupi, reduziu em 20% o índice médio de área foliar, 16% o índice médio de clorofila, 175% o número médio de vagens por planta e em 60% a produção de grãos.

Diversas metodologias têm sido desenvolvidas para avaliação de genótipos tolerantes ao déficit hídrico. Nesse sentido, há necessidades de pesquisas multidisciplinares, envolvendo estudos moleculares, fisiológicos e melhoramento genético clássico. Geneticamente, um dos métodos mais eficientes para assegurar o rendimento da cultura frente às variações climáticas é a incorporação de genes de tolerância ao déficit hídrico em linhagens de maturidade precoce (AGBICODE et al., 2009). A elucidação dos mecanismos de tolerância ao déficit hídrico facilitará o processo de desenvolvimento de novas cultivares, além de contribuir para o desenvolvimento de técnicas de seleção capazes de reduzir o tempo e o trabalho para avaliação de genótipos para tolerância a esse estresse abiótico (TERRA, 2008).

Singh et al. (1999) relatam um método simples de avaliação para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi. O método consiste em avaliar genótipos em estágio de plântula, utilizando-se caixas de madeira, diminuindo assim, o tempo de avaliação, os recursos empregados e, além disso, evitam as precipitações pluviais que dificultam o processo de avaliação em campo. Semearam-se sementes de 12 variedades de feijão-caupi, cada linha constituiu uma variedade. As plantas foram irrigadas até o décimo sexto dia, posteriormente interrompeu-se a irrigação e realizou-se uma contagem diária das plantas permanentemente murchas em cada genótipo até que as suscetíveis apareceram mortas. Reiniciou-se a irrigação para determinar a percentagem de regeneração para cada genótipo. Realizou-se contagem de plantas permanentemente murchas e o percentual de recuperação em cada variedade. Com base no número de dias para recuperação, os genótipos foram classificados em tolerantes ou suscetíveis ao déficit hídrico. Posteriormente eles foram avaliados em campo, mensurando os seguintes caracteres: início da floração, senescência, produção de vagens, produção e produtividade. Os resultados

mostraram uma correlação positiva entre os genótipos tolerantes no estágio de plântula e estágio reprodutivo. Segundo o autor, o método é bastante simples e não destrutivo, tem sido bastante usado em feijão-caupi e está sendo avaliado em outras culturas.

Hall (2004) faz uma abordagem geral quanto à adaptação ao déficit hídrico e ao calor e relata a importância do melhoramento no desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi tolerantes ao déficit hídrico, bem como suas limitações frente às variações climáticas; o autor cita que os caracteres maturidade precoce e porte da planta, são importantes no desenvolvimento de cultivares tolerantes ao déficit hídrico. Além disso, enfatiza a eficiência da utilização do método de avaliação no estágio de plântula, utilizando caixas de madeira.

Assim como a maioria dos caracteres de interesse agrônômico, a tolerância ao déficit hídrico é controlada por vários genes, o que torna impossível a obtenção de sucesso em um único ciclo seletivo. Tendo em vista sua complexidade, os programas de melhoramento visam estratégias que possibilitem maior sucesso, a principal alternativa é o uso de seleção recorrente.

2.4 Seleção recorrente

A seleção recorrente é um processo cíclico de melhoramento que envolve obtenção de progênies, avaliação e recombinação das melhores. Em consequência, é esperado aumento na frequência dos alelos favoráveis que se expressam por meio da melhoria do caráter sob seleção. Nesse método, selecionam-se os melhores indivíduos, para, posteriormente, recombiná-los e formar uma população melhorada, mantendo-se a média e a variabilidade genética da população (BORÉM, 2009; RAMALHO, 2012).

A seleção recorrente foi proposta inicialmente por Hull (1945), em plantas alógamas; contudo, passou a ser empregada nas últimas décadas com sucesso, em programas de melhoramento de espécies autógamas, tais como: arroz (RANGEL, 1998), aveia (HOLLAND et al. 2000) e feijão-comum (RAMALHO, 2003; CUNHA et al., 2005). Diversos trabalhos relatam a importância e a eficiência do emprego da seleção recorrente na obtenção de genótipos superiores, principalmente para caracteres quantitativos, os quais representam maior importância econômica.

A condução de um programa de seleção recorrente envolve as seguintes etapas: formação da população base, avaliação e seleção das famílias e o

intercruzamento das melhores progênies. Em todas estas etapas há inúmeras metodologias e cabe ao melhorista optar por aquela que seja adequada à sua população de trabalho. A primeira etapa é considerada uma das mais importantes, pois dela depende o sucesso das etapas posteriores. A população base deve ser constituída por genitores que apresentem alto desempenho para o caráter de interesse e variabilidade genética, pois são condições indispensáveis para obter sucesso com a seleção (RAMALHO et al., 2001).

Outro aspecto importante é o número de genitores envolvidos, pois se for um número muito grande, a probabilidade de encontrar todos os genitores com boa expressão para o caráter, é muito pequena. Além disso, a contribuição dos alelos de cada genitor seria tão pequena, que a maioria seria perdida após os primeiros ciclos seletivos. No entanto, se o número for muito pequeno, a probabilidade de associar a maioria dos alelos favoráveis, para o caráter sob seleção, é também pequena (RAMALHO et al., 2012); assim, recomenda-se utilizar entre 10 e 20 genitores.

De acordo com Geraldi (1997) as principais vantagens do emprego da seleção recorrente no melhoramento de plantas autógamas são: obtenção de maior variabilidade genética por meio do intercruzamento de múltiplos genitores; maior oportunidade de recombinação devido aos sucessivos cruzamentos; maior eficiência no acúmulo de alelos favoráveis devido ao processo repetitivo de seleção e maior facilidade para incorporar germoplasma exótico na população.

Rangel et al. (2002) estimaram o ganho genético para produtividade de grãos na cultura do arroz após três ciclos de seleção recorrente. O ganho observado do primeiro ciclo foi de apenas 0,28%, sendo, portanto, não significativo. Já o ganho observado do segundo ciclo foi de 6,65%, significativo e de elevadas magnitudes. Os resultados obtidos demonstraram que, por meio do emprego da seleção recorrente aplicada em populações geneticamente divergentes, podem-se obter ganhos consideráveis para a produtividade de grãos.

O método de seleção recorrente é bastante empregado no melhoramento genético do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*), e tem se mostrado muito eficiente. Ramalho et al. (2003) estimaram o progresso genético em feijão-comum após quatro ciclos de seleção recorrente. As cinco melhores linhagens obtidas de cada ciclo foram avaliadas para estimar a eficiência da seleção recorrente quanto à qualidade e produtividade de grãos. O ganho estimado por ciclo foi de 7,4% para produção de grãos e de 10,5% para qualidade de grão.

Cunha et al. (2005) empregaram a seleção recorrente visando obter linhagens de feijão-comum com grãos tipo carioca, alta produtividade e porte ereto da planta. A partir do cruzamento entre dez linhagens em um esquema dialélico, o ganho obtido foi de 3,1% após um ciclo de seleção, confirmando a eficiência da seleção empregada. Segundo os autores, as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos nas diferentes gerações associadas ao desempenho médio das famílias permitiram prever o sucesso com a seleção recorrente em ciclos futuros. Dando continuidade ao referido trabalho, Menezes Júnior et al. (2008), avaliaram três ciclos de seleção recorrente e verificaram ganho genético de 3,1 % por ciclo; os autores concluíram que a variabilidade genética presente na população evidenciou a possibilidade de continuar obtendo sucesso com a seleção, tendo em vista, a manutenção da mesma proporção do ganho genético.

Um dos fatores que acometem a produtividade do feijão-comum é a incidência de doenças, dentre elas a mancha angular, causada pelo patógeno *Phaeoisariopsis griseola*, que tem se destacado devido aos expressivos danos causados à cultura. Amaro et al. (2007) avaliaram a eficiência da seleção recorrente na obtenção de progênies resistente à *P. griseola* e ao mesmo tempo verificaram o efeito da seleção realizada na produtividade de grãos. O ganho estimado com a seleção para mancha angular foi de 6,4% e 8,9% para produtividade de grãos. Evidenciou-se assim que a seleção recorrente foi eficiente na seleção de linhagens de feijão-comum com resistência a *P. griseola* e alta produtividade de grãos.

A busca por genótipos precoces tem sido bastante visada em função das inúmeras vantagens que estes apresentam. Assim, Silva et al. (2007) realizaram um estudo objetivando verificar a eficiência da seleção recorrente fenotípica, em relação ao número dias para o florescimento e o efeito da resposta correlacionada à seleção em outros caracteres de importância, na cultura do feijão-comum. Os resultados permitem inferir que a seleção recorrente foi efetiva em reduzir o número de dias para o florescimento e o progresso com a seleção recorrente foi de 2,2% ao ano.

Silva et al. (2010b) estimaram o progresso genético após oito ciclos de seleção recorrente para produtividade em feijão-comum. A população base foi obtida a partir de dez genitores diferindo em vários caracteres. A estimativa de progresso genético foi de 3,3% por ciclo evidenciando que a seleção recorrente para produtividade de grãos foi eficiente.

Machado et al. (2010) avaliaram a utilização da seleção recorrente como estratégia de melhoramento para tolerância ao estresse térmico na cultura do trigo. Foram realizados dois ciclos de seleção recorrente com experimentos conduzidos em duas épocas (verão e inverno). O ganho genético obtido e a existência de variabilidade evidenciam a possibilidade de se obter sucesso com a seleção recorrente para tolerância ao calor em trigo.

A seleção recorrente promove o aumento gradual da frequência dos alelos favoráveis, sem exaurir a variabilidade genética da população. No entanto, observa-se que este processo de seleção provoca mudanças nas frequências alélicas, na distribuição da variabilidade genética e na estrutura genética da população original. Estudos indicam redução na variabilidade genética após alguns ciclos de seleção recorrente, geralmente, em virtude da redução no tamanho da população (HALLAUER, 1971). Assim, estudos visando a verificação da diversidade genética fazem-se necessário. Reis et al. (2011) avaliaram a variabilidade genética em dois ciclos de seleção recorrente no maracujazeiro amarelo e o impacto da seleção de progênies selecionadas via alterações nas frequências alélicas, detectadas com o uso de marcadores microssatélites. Os resultados indicaram pequena perda de variabilidade e alterações nas frequências alélicas; porém, esta oscilação pode ser considerada normal quando se pratica seleção.

Diante do exposto, observa-se que o método de seleção recorrente é bastante empregado no melhoramento genético de diversas culturas e tem sido bastante eficiente. Até o momento, segundo o levantamento bibliográfico realizado, inexitem relatos na literatura sobre o uso da seleção recorrente em feijão-caupi. Uma das etapas essenciais deste processo, após a seleção de genitores é a escolha de populações segregantes promissoras; para isso, há várias metodologias, dentre elas, os cruzamentos dialélicos.

2.5 Análise dialélica

Em programa de melhoramento, envolvendo hibridações, a seleção de genitores constitui uma das etapas mais importantes. É essencial que a escolha destes seja feita criteriosamente, pois quando é baseada apenas em caracteres agrônômicos desejáveis, não assegura a obtenção de progênies com alto potencial genético. O conhecimento do potencial genético de um cruzamento, obtido por mais de um método, permite que os esforços e recursos financeiros sejam investidos

naqueles mais promissores. Uma técnica que auxilia nesta escolha com base nos seus valores genéticos e, principalmente, considerando a sua capacidade de se combinarem em híbridos que produzam populações segregantes promissoras, é a de cruzamentos dialélicos, que corresponde ao inter cruzamento de n genótipos, dois a dois, produzindo n^2 combinações possíveis, onde $n(n-1)/2$ representa os híbridos simples e $n(n-1)/2$ os recíprocos, perfazendo uma tabela dialélica completa (RAMALHO et al., 1993).

As metodologias de análise dialélica têm por finalidade analisar o delineamento genético, estimando parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres. Entre os métodos mais comumente utilizados citam-se o proposto por Griffing (1956), pelo qual são estimados os efeitos e as somas de quadrado de efeito de capacidade geral e específica de combinação; Gardner e Eberhart (1966), no qual são avaliados os efeitos de variedades e heterose varietal; e o proposto por Hayman (1954), que dá informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos genitores utilizados e do limite de seleção.

O método desenvolvido por Griffing (1956) estima a capacidade geral de combinação (CGC) e a capacidade específica de combinação (CEC) dos genótipos provenientes de cruzamentos dialélicos. A primeira é a medida do comportamento relativo de uma linhagem em uma série de cruzamentos e está associada a efeitos genéticos aditivos, enquanto a segunda caracteriza o comportamento de combinações híbridas específicas em relação à média dos genitores e está relacionada a efeitos de dominância, epistasia e vários tipos de interações gênicas (MARCHESAN, 2008).

Segundo Cruz et al. (2004), esta metodologia pode ser classificada em quatro métodos experimentais, de acordo com a inclusão ou não dos genitores e ou híbridos F_1 's recíprocos, descritos a seguir:

Método 1: são incluídas as p^2 combinações (genitores, híbridos F_1 's e seus recíprocos);

Método 2: são incluídas $p(p+1)/2$ combinações, excluindo-se os recíprocos;

Método 3: são incluídas $p(p-1)$ combinações, excluindo-se os genitores;

Método 4: são incluídas $p(p-1)/2$ combinações, excluindo-se os genitores e os híbridos F_1 's recíprocos.

Estatisticamente, estes métodos podem ser analisados segundo um modelo fixo ou aleatório, dependendo da natureza amostral dos genitores. No modelo fixo, os genitores são escolhidos, permitindo estimar os efeitos da capacidade de combinação e obter erros padrões apropriados para as diferenças entre efeitos; neste caso, as conclusões são inerentes ao material genético estudado, não podendo ser generalizado. Já no modelo aleatório, as linhagens genitoras são consideradas como sendo uma amostra ao acaso de uma população de referência, permitindo estimar os componentes de variância genéticos e ambientais da referida população (LOPES, 2001; MARCHESAN, 2008).

Os tipos de cruzamentos dialélicos podem ser dialelos balanceados (completo ou de meia tabela; dialelos parciais e dialelos incompletos). O dialelo completo é bastante utilizado; neste incluem os híbridos F_1 's entre todos os pares de combinações dos genitores, seus híbridos recíprocos e, algumas vezes, outras gerações relacionadas, como F_2 's. Com a utilização deste tipo de dialelo é possível fazer inferências quanto à herança materna (CRUZ et al., 2004)

Freire Filho et al. (2002) avaliaram o potencial de um cruzamento dialélico envolvendo oito genótipos de feijão-caupi e os efeitos dos genes *gt* e *gc* nos caracteres número de dias para floração e peso de 100 sementes por planta. Além disso, identificaram as melhores combinações para formar uma população de base genética ampla para selecionar linhagens que persistisse a cor verde após a secagem. Os resultados indicaram que os genes *gt* e *gc* não afetaram os caracteres estudados.

Romanus et al. (2008) analisaram a capacidade de combinação e associação dos componentes de produção em linhagens de feijão-caupi. Avaliaram 21 híbridos obtidos a partir de cruzamentos dialélicos entre sete linhagens, juntamente com os genitores. Os resultados mostraram efeitos significativos das capacidades geral e específica de combinação para a maioria dos caracteres avaliados. Os caracteres comprimento de vagem, número de sementes por vagem e rendimento foram identificados como os melhores critérios de seleção para a produtividade em feijão-caupi.

Ushakumari et al. (2010) avaliando o vigor híbrido e a capacidade de combinação para produtividade de grãos entre 10 linhagens de feijão-caupi, identificaram genitores com boa capacidade de combinação; segundo os autores, os cruzamentos que se destacaram podem ser recomendados para plantio comercial.

Carvalho (2011) avaliando, por meio de cruzamentos dialélicos oito genótipos de feijão-caupi ricos em ferro, zinco e proteína visando identificar os melhores genitores capazes de gerar populações com boa produtividade e elevados teores desses nutrientes. Constatou que os efeitos aditivos foram mais importantes do que os não aditivos para determinação destes teores.

Tchiagam et al. (2011) estudaram o controle genético do teor de proteína e seu conteúdo de fração solúvel de sementes de feijão-caupi através de um dialelo 5x5. Os resultados mostraram que os efeitos aditivos e não aditivos foram responsáveis pela variação genética. No entanto, os efeitos de genes não aditivos foram predominantes.

2.6 Correlações entre caracteres em feijão-caupi

O coeficiente de correlação é um parâmetro estatístico que mede o grau de associação entre dois caracteres. Os valores desse coeficiente variam de -1 a +1 e quanto mais próximo desses valores for a magnitude da estimativa da correlação, implica na existência de associação forte entre dois caracteres. A correlação negativa indica que os caracteres são inversamente relacionados, enquanto que a correlação positiva implica que os caracteres variam em mesma direção (RAMALHO et al., 2012).

O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldade, em razão da baixa herdabilidade e, ou, tenha dificuldade na mensuração e identificação. A correlação que pode ser diretamente mensurada a partir de medidas de dois caracteres, em certo número de indivíduos da população, é a correlação fenotípica. Esta tem causas genéticas e ambientais, porém só as genéticas envolvem uma associação de natureza herdável (CRUZ et al., 2004).

Assim, em estudos genéticos, é essencial distinguir causa de correlação genética e ambiental. A correlação genética pode ser decorrente da pleiotropia e/ou ligação dos genes que controlam os caracteres. A pleiotropia é um fenômeno pelo qual um gene afeta dois ou mais caracteres, de forma que, se o gene estiver segregando, causará variação simultânea nos caracteres que ele afeta. O ambiente é uma causa de correlação quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições ambientais (FALCONER, 1987).

A correlação causada pela ligação ocorre quando os genes que têm efeito nos caracteres estão no mesmo cromossomo e próximos. Se no cromossomo estiver o alelo favorável para um caráter e o alelo desfavorável para outro caráter, a estimativa da correlação entre estes caracteres será negativa. Estando os dois alelos favoráveis ou desfavoráveis juntos, a associação será positiva. A magnitude da estimativa da correlação depende da distância entre os genes nos cromossomos, quanto mais próximos estiverem maior será a estimativa da correlação (RAMALHO et al., 2012).

A correlação simples possibilita avaliar a magnitude e direção da relação entre dois caracteres; desta forma, se os caracteres apresentam correlação favorável, é possível obter ganhos para um deles por meio da seleção indireta no outro associado. Em alguns casos, a seleção indireta, com base na resposta correlacionada, pode levar progressos mais rápido do que a seleção direta do caráter desejado (CRUZ et al., 2004).

O conhecimento da associação entre caracteres agronômicos e morfológicos é essencial na seleção simultânea de dois caracteres. Assim, Lopes et al. (2001) identificaram alguns componentes que estão associados à produção de grãos. Os resultados mostraram que as correlações genóticas foram superiores às fenotípicas e às de ambientes. A alta correlação entre produtividade e valor agronômico sugere que a seleção para este caráter pode ser tão eficiente quanto à seleção direta para aumentar a produtividade.

Rocha et al. (2003) avaliaram parâmetros genéticos em 23 genótipos de feijão-caupi de tegumento branco em Teresina, PI. Os resultados mostraram que os genótipos apresentaram maior variabilidade genética para os caracteres valor agronômico, número de grãos por vagem, peso de 100 grãos e produtividade de grãos. Além disso, observaram que a seleção indireta através dos caracteres valor agronômico número de vagem por planta e peso de 100 grãos pode ser eficiente na obtenção de ganhos para produtividade de grãos.

Souza et al. (2007) avaliaram a variabilidade genética em linhagens de feijão-caupi e a estimativa de correlação fenotípica, genotípica e ambiental entre caracteres morfoagronômicos com potencial para produção de grãos verdes. Os autores detectaram variabilidade em todos os caracteres estudados. A seleção para o aumento do número de vagens por planta pode proporcionar ganhos para a produtividade de grãos.

Um estudo foi conduzido por Andrade et al. (2010) com genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão verde. Os autores evidenciaram alto componente genético na expressão fenotípica dos caracteres avaliados e a seleção de genótipos produtivos e precoces é mais fácil do que a seleção de genótipos produtivos e tardios, no melhoramento para feijão verde.

Silva e Neves (2011) avaliaram 20 genótipos de feijão-caupi, de porte semi-prostrado, quanto ao potencial de rendimento e seus componentes, em cultivo de sequeiro e irrigado, nas condições edafoclimáticas de Teresina, Piauí. Os resultados mostraram que as correlações genotípicas apresentaram valores superiores às suas correspondentes correlações fenotípicas e de ambientes, tanto em cultivo de sequeiro quanto irrigado.

Referências

- AGBICODO, E. M.; FATOKUN, C. A.; MURANAKA, S. VISSER, R. G. F.; C. G. LINDEN VAN DER, C. G. Breeding drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. **Euphytica**, v.167, p.353-370, 2009.
- AMARO, G. B.; ABREU A. F. B.; RAMALHO, M. A. P. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetic and Molecular Biology**, v.30, n.3, p.584-588, 2007.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M. GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.253-258, 2010.
- ANYIA, A. O.; HER ZOG, H. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. **European Journal of Agronomy**, v.20, p.327-339, 2004.
- ASHLEY, J. Drought and crop adaptation. In: ROWLAND, J. R. J. (Ed) **Dryland farming in Africa**. Macmillan Press, UK, p.46-47, 1993.
- BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.100-107, 2011.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.43-50, 2002.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A. COMIRAN, F; BERGONCI, J. I.; MÜLLE, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.
- BEZERRA, A. A. C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e**

semi-ereto. 1997. 105f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, n.1, 2003.

BORÉM, A. **Melhoramento de Plantas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2009. 529p.

CARVALHO, L. C. B.; **Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.1, p.43-50, 1997.

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

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, p.379-386, 2005.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Tradução de Martinho de Almeida e Silva e José Carlos Silva. Viçosa, MG, UFV, 1987, 279p.

FATOKUN, C.; BOUKAR, O.; MURANAKA, S. & CHIKOYE, D. Enhancing drought tolerance in cowpea. **African Crop Science Conference Proceedings**, v.9. p.531-536, 2009.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBURQUEQUE. Estresse hídrico na fase vegetativa e reprodutiva de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.7, p.1049-1055, 1991.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.5, p.661-669, 1992.

FREIRE FILHO, F. R.; CHAMBLISS, O. L.; HUNTER, A. G. Crossing potential in the production of persistent green seeds in Cowpea using *gt* and *gc* genes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 205-212, 2002.

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

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

FRITCHE-NETO, Roberto; BORÉM, Aluizio. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: Suprema, 2011. 250 p.

FROTA, K. M. G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H. N.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, v.73, n.9, p.235-240, 2008.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S.A. analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v.22, p.439-452, 1966.

GERALDI, I. O. Selección recurrente em el mejoramiento de plantas. In: GUIMARÃES, E. P. (Ed.). **Selección recurrente em arroz**. Cali: CIAT, 1997. p.3-11.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E.C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, n.3, p.155-161, 2004.

GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, n.4, p.462-93, 1956.

HALL, A. E. Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. **European Journal of Agronomy**, v.21, p.447-454, 2004.

HALLAUER, A.R. Changes in genetic variance for seven plant and ear traits after four cycles of reciprocal recurrent selection for yield in maize. **Iowa State Journal Science**, v.45, p.575-593, 1971.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v.39, p.789-809, 1954.

HOLLAND, J.B.; BJØRNSTAD, Å.; FREY, K.J.; GULLORD, M.; WESENBERG, D.M.; BURAAAS, T. Recurrent selection in oat for adaptation to diverse environments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, p. 195-205, 2000.

HULL, F. H. Recurrent selection and specific combining ability in corn. **Journal of the American Society for Agronomy**, v.37, n.2, p.134-145, 1945.

KUNZ, J. O.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sobre diferentes preparo de solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.11, p.1511-1520, 2007.

LABUSCHAGNE, M. T.; R. VERHOEVEN, R.; NKOUANESSI M. Drought tolerance assessment of African cowpea accessions based on stomatal behaviour and cell membrane stability. **Journal of Agricultural Science**, v.146, p.689-694, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. e Franco. A.C. São Carlos: Rima, 2000. 533p.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Publicatio UEPG Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v.10, n.1, p.43-51, 2004.

LOPES, A. C. A. **Análise dialélica envolvendo genótipos parentais de soja resistente ao nematóide de cisto**. 2001, 122f. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

MACHADO, J. C.; SOUZA, M. A.; OLIVEIRA, D. M.; CARGNI, A.; PIMENTEL, A. J. B.; ASSIS, J. C. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.9-15, 2010.

MAGLOIRE, N. **The genetic, morphological and physiological evaluation of African cowpea genotypes**. 2005. 131f. Magister Scientiae - University of the Free State Bloemfontein.

MARCHESAN, C. B. **Análise genética de um cruzamento dialélico parcial em pimentão visando caracteres agrônômicos e resistência ao oídio**. 2008, 70p. Dissertação (Mestrado). Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas.

MARQUES, G. V. **Características fisiológicas em cultivares de feijão-de-corda submetidas ao estresse hídrico e salino**. 2007. 112f. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MENEZES JÚNIOR, J. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente para três caracteres do feijoeiro. **Bragantia**, v.67, n.4, p.833-838, 2008.

MUCHERO, W. EHLERS, J. D. ROBERTS, P. A. Restriction site polymorphism based candidate gene mapping for seedling drought tolerance in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] **Theoretical and Applied Genetics**, v.120, p.509-518, 2010.

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M. I. G. Estimativa do Índice de Área Foliar do Milho a partir da Soma de Graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p.65-71, 2005.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011.

NG, N. Q.; MARÉCHAL, R. Cowpea taxonomy, origin germoplasm. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O. (Ed.). **Cowpea research, production and utilization**. Cheichecter: John Wiley, 1985. p.11- 21.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.437-443, 2001.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M. SILVA, A. F. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. capixaba precoce). **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.3, 343-350, 2008.

OZTURK, Z. N.; TALAMÉ, V. DEYHOLOS, M.; MICHALOWSKI, C. B.; GALBRAITH, D. W.; GOZUKIRMIZI, N.; TUBEROSA, R.; BOHNERT, H. J. Monitoring large-scale changes in transcript abundance in drought-and salt stressed barley. **Plant Molecular Biology**, v.48, p.551-573, 2002.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.) **Advances in cowpea research**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture; Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p.1-11.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; TERESINHA J. D. RODRIGUES, T. J. D.; JOSÉ E. P. TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de Irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF O.; ABBOUD, A. C. S.; ROY-MAUCAULER, H. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural**, v.22, n.1, p.7-14, 2002.

PINTO, C. M., **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**, 2006, 80f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress in common bean after four cycles of recurrent selection. **Annual Report of the bean improvement cooperative**, v.46, p.47-48, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, J. S.; VALADARIS-INGLIS, M. C. V. (Ed.) **Recursos genéticos e melhoramento de espécies autógamas**. Fundação MT: Rondonópolis, 2001, p.201-230.

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

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

RANGEL, P. H. N.; MORAIS, O. P.; ZIMMERMANN, F. J. P. Grain yield gain in three recurrent selection cycles in the CAN- IRAT 4 irrigated rice population. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.2, n.3, p.369-374, 2002.

RANGEL, P. H. N.; ZIMMERMANN, F. J. P.; NEVES, P. C. F. Estimativas de parâmetros genéticos e resposta à seleção nas populações de arroz irrigado CNA-IRAT 4 PR e CNA – IRAT 4 ME. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.905-912, 1998.

REIS, R. V.; OLIVEIRA, E. J.; VIANA, A.P.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, M. G. M. Diversidade genética em seleção recorrente de maracujazeiro-amarelo detectada por marcadores microssatélites. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.51-57, 2011.

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

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

ROMANUS, K. G.; HUSSEIN, S.; MASHELA, W. P. Combining ability analysis and association of yield and yield components among selected cowpea lines. **Euphytica**, v.162, p.205-210, 2008.

SANTOS, M. G. RIBEIRO, R. V. RIBEIRO, R. V. MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, v.53, n.2, p.229-236, 2009.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; OLIVEIRA, R. F.; PIMENTEL, C. Gas Exchange in yield response to foliar phosphorus application in phaseolus vulgaris L. under drought. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, n.3, p.171-179, 2004.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.221-227, 2007.

SILVA, C. D.S.E.; SANTOS, P.A.A.; LIRA, J.M.S. Daily course of gas exchange in plants cowpea submitted to desability hidrica. **Revista Caatinga**, v.23, p.7-13, 2010a.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro 'Carioca'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, 2007.

SILVA, G. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; NUNES, J. A. R. Estimation of genetic after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.351-356, 2010b.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.702-71, 2011.

SINGH, B. B.; MAI-KODOMI, Y.; and TERAU, T. A simple screening method for drought tolerance in cowpea. The **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.59, n.2, p.211-220, 1999.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F. R. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C. A.;TARAWALI, S.A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. M.; TAMÒ, M. (Ed.). **Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 2002. p.22-40.

SINGH, B. B.; MATSUI, T.; Cowpea varieties for drought tolerance. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. W.; TAMÓ, M. (Eds.) **Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 2002, p.287-300.

SINGH, S. K.; REDDY, K. R. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.105, p.40-50, 2011.

SOUZA, Cristiane Lopes Carneiro de et al. Variability and correlations in cowpea populations for green-grain production. **Crop Breeding And Applied Biotechnology**, v. 7, n. , p.262-269, 2007.

TALAMÉ, V.; OZTURK, N. Z.; BOHNERT, H.J.; TUBEROSA, R. Barley transcript profiles under dehydration shock and drought stress treatments: a comparative analysis **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.229-240, 2006.

TCHIAGAM, J. B. N.; BELL, J. M.; NASSOUROU, A. M.; NJINTANG, N. Y.; YOUNBI, E. Genetic analysis of seed proteins contents in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) **African Journal of Biotechnology**, v.10, n.16, p.3077-3086, 2011.

TERRA, T. G. R., **Avaliação de características morfofisiológicas de tolerância à seca em uma coleção nuclear de acessos de arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.)**, 2008, 81f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi.

TUBEROSA, R. Phenotyping drought-stressed crops: key concepts, issues and approaches. In: MONNEVEUX RIBAUT, J. M. (Eds.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. CGIAR Generation Challenge Programme/ CIMMYT, 2011.

USHAKUMARI, R. N.; VAIRAN, C. R.; MALINI, N. Studies on hybrid vigour and combining ability for seed yield and contributing characters in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v.1, p.940-947, 2010.

ZHOU, J.; WANG, X.; JIAO, Y.; QIN, Y.; LIU, X.; HE, K.; CHEN, C.; MA, L.; WANG, J.; XIONG, L.; ZHANG, Q.; FAN, L.; DENG, X. W. Global genome expression

analysis of rice in response to drought and high salinity stresses in shoot, Xag leaf, and panicle. **Plant Molecular Biology**, v.63, p.591-608, 2007.

3. VARIABILIDADE E CORRELAÇÕES FENOTÍPICAS ENTRE CARACTERES EM POPULAÇÕES SEGREGANTES DE FEIJÃO-CAUPI SOB DÉFICIT HÍDRICO E IRRIGAÇÃO PLENA

Resumo

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, constitui uma cultura de grande importância tanto no aspecto socioeconômico quanto nutricional, sendo cultivado em diversas partes do mundo. Contudo, o déficit hídrico é um dos principais limitantes da produtividade. Assim, a avaliação da produtividade e seus componentes sob déficit hídrico é fundamental para identificar genótipos tolerantes e as estimativas de correlações entre caracteres podem auxiliar o melhorista como guia na seleção. O presente trabalho objetivou estimar correlações fenotípicas entre caracteres em populações segregantes de feijão-caupi com e sem estresse hídrico. Foi realizado um dialelo completo envolvendo seis genótipos de feijão-caupi e conduzidos dois ensaios onde foram avaliadas 30 populações F₂, juntamente com seus genitores, sendo um sob déficit hídrico, e outro sob irrigação plena, ambos no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, no ano de 2011. Utilizou-se o delineamento experimental látice triplo, com parcela de 6 linhas de 2 m, sendo amostradas 16 plantas por parcela. Foram avaliados 14 caracteres agrônômicos, que foram submetidos à análise de variância e posteriormente estimou-se o coeficiente de correlação simples de Pearson. O manejo da água via irrigação, em geral, não afetou a magnitude e a direção das correlações. A seleção indireta via número de vagem por pedúnculo, comprimento de vagem, peso de grão por vagem e peso de 100 grãos pode aumentar a produção de grãos tanto sob déficit hídrico quanto irrigação plena.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, Pearson, seleção indireta.

3. VARIABILITY AND CHARACTER CORRELATIONS BETWEEN SEGREGATING POPULATIONS OF COWPEA DEFICIT UNDER WATER AND IRRIGATION FULL

Abstract

Cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, is an important crop in both the nutritional aspect as socioeconomic and is cultivated in many parts of the world. However, the water deficit is a major factor limiting the yield. Thus, the assessment of yield and its components under drought stress is critical for identifying genotypes tolerant and the estimates of correlations among traits can help the breeder as a guide in the selection. This study aimed to estimate phenotypic correlations among traits in segregating populations of cowpea with and without water stress. A complete diallel involving six genotypes of cowpea was realized and two tests carried out where were evaluated 30 F₂ populations, along with their parents, being an under water deficit, and other under full irrigation, both in the experimental field of Embrapa Mid-North in Teresina, Piauí, Brazil, in 2011. Experimental lattice triple plot was implemented with 6 lines of 2 m, which sampled 16 plants per plot. A total of 14 agronomic traits were evaluated, which were submitted to analysis of variance and subsequently estimated the Pearson's simple correlation coefficient. The irrigation water handling, not affected the magnitude and direction of most of the correlations. The indirect selection by number of pods per peduncle, pod length, grain weight per pod, and 100-grain weight can increase grain yield under both water deficit as full irrigation.

Keywords: *Vigna unguiculata*, Pearson, indirect selection.

3.1 Introdução

O feijão-caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, constitui grande importância tanto no aspecto socioeconômico quanto nutricional e é cultivado em diversas partes do mundo. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, sendo cultivado nas regiões Norte, Centro-Oeste e, principalmente, na região Nordeste, na qual concentra a maior parte da produção. No entanto, nesta última, a produtividade é muito baixa ($330 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Isso ocorre, principalmente, devido ao manejo empregado, pois já foram obtidas, em condições experimentais, produtividades de grãos secos acima de $3.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (BEZERRA, 1997). Isto posto, evidencia-se a necessidade de investimento em tecnologia no manejo do feijão-caupi.

A pluviosidade na região Nordeste apresenta-se de forma irregular, sujeita à estiagem e veranicos, favorecendo a condição de deficiência hídrica, ocasionando perdas na produção de feijão-caupi. O déficit hídrico é um dos fatores que acometem a produção agrícola com maior frequência e de forma complexa, pois afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal. Desta forma, devem-se buscar alternativas para contornar este problema (BEZERRA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2008; SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007). O uso do melhoramento aliado ao manejo adequado pode diminuir este estresse abiótico em diversas culturas.

Em feijão-caupi, vários estudos têm sido conduzidos visando avaliar os efeitos do déficit hídrico bem como a identificação de genótipos tolerantes a esse estresse (BEZERRA et al., 2003; BASTOS et al., 2011; COSTA et al., 1997; NASCIMENTO, 2011). As respostas morfofisiológicas são muito importantes neste estudo. Vários métodos têm sido utilizados para avaliar a tolerância ao déficit hídrico, dentre eles, a mensuração do potencial hídrico, da condutância estomática e do teor de clorofila. No entanto, a maioria destes métodos são caros, morosos e ineficientes para avaliação de um grande número de plantas em populações segregantes (SINGH; MATSUI, 2002). Assim sendo, os componentes de produção são fundamentais no que tange a este tipo de avaliação, pois é de fácil obtenção e fornece uma resposta direta. Alguns pesquisadores têm atentado para este fato e têm sido feito estudos integrando parâmetros morfofisiológicos e componentes de produção (BASTOS et al., 2011; FERREIRA et al., 1991).

O conhecimento da associação entre a produção e os seus componentes é de suma importância como guia na seleção em populações segregantes, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldade, em razão da baixa herdabilidade e, ou, tenha dificuldade na mensuração e identificação. A correlação que pode ser diretamente mensurada a partir de medidas de dois caracteres, em certo número de indivíduos da população, é a correlação fenotípica. A correlação simples possibilita avaliar a magnitude e direção da relação entre dois caracteres; desta forma, se os caracteres apresentam correlação favorável, é possível obter ganhos para um deles por meio da seleção indireta no outro associado (CRUZ et al., 2004).

Este trabalho teve os seguintes objetivos: avaliar o efeito do déficit hídrico sobre os componentes de produção em populações segregantes de feijão-caupi; estimar a variabilidade existente entre genitores e suas respectivas populações F_2 ; estimar as correlações fenotípicas entre os caracteres de feijão-caupi avaliados sob déficit hídrico e irrigação plena.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Genitores

O material genético constituiu-se de seis genótipos de feijão-caupi, sendo três cultivares (BRS Paraguaçu, BRS Xiquexique e Santo Inácio) e três linhagens (Pingo de Ouro-1-2, CNCx698-128G e MNC99-510F-16-1), previamente selecionados com base em estudos para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi (Bastos et al., 2011; Nascimento et al., 2011). A descrição destes genótipos está apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Descrição dos seis genitores de feijão-caupi utilizados nos cruzamentos dialélicos. Teresina, PI, 2011.

Genótipos	Origem	Porte	Peso de 100G (g)	Resposta ao déficit
BRS Paraguaçu	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	17,0	Tolerante
Pingo de Ouro-1-2	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	26,6	Tolerante
BRS Xiquexique	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	16,5	Tolerante
CNCx 698-128G	Embrapa Arroz e Feijão	Semi-prostrado	14,7	Tolerante
Santo Inácio	Picos, PI	Semi-prostrado	21,3	Sensível
MNC99-510F-16-1	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	20,1	Tolerante

3.2.2 Obtenção das populações

Os seis genitores foram cruzados, em condições de telado, no esquema dialélico completo, adotando-se o Método 1 do modelo proposto por Griffing (1956). Utilizaram-se dois métodos de cruzamentos artificiais, os quais, em estudos conduzidos por Rêgo et al. (2006), apresentaram maior eficiência, são eles: i) utilização de pólen de flores coletadas pela manhã (flor aberta) e armazenadas em baixas temperaturas até o fim da tarde, horário em que os botões florais foram emasculados e polinizados e; ii) emasculação de botões florais no fim da tarde do

dia que antecede a sua antese natural e coleta de pólen e polinização no início da manhã do dia seguinte. As sementes dos 30 híbridos F₁ foram semeadas, também, em condições de telado, visando à obtenção da geração F₂. Na Tabela 3.2 consta os seis genitores e os 30 cruzamentos.

Tabela 3.2 - Genótipos de feijão-caupi avaliados sob deficiência hídrica e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.

N°	Genótipos		
1		BRS Paraguaçu	
2		Pingo de Ouro-1-2	
3		BRS Xiquexique	
4		CNCx 698-128G	
5		Santo Inácio	
6		MNC99-510F-16-1	
7	BRS Paraguaçu	x	Pingo de Ouro-1-2
8	BRS Paraguaçu	x	BRS Xiquexique
9	BRS Paraguaçu	x	CNCx 698-128G
10	BRS Paraguaçu	x	Santo Inácio
11	BRS Paraguaçu	x	MNC99-510F-16-1
12	Pingo de Ouro-1-2	x	BRS Paraguaçu
13	Pingo de Ouro-1-2	x	BRS Xiquexique
14	Pingo de Ouro-1-2	x	CNCx 698-128G
15	Pingo de Ouro-1-2	x	Santo Inácio
16	Pingo de Ouro-1-2	x	MNC99-510F-16-1
17	BRS Xiquexique	x	BRS Paraguaçu
18	BRS Xiquexique	x	Pingo de Ouro-1-2
19	BRS Xiquexique	x	CNCx 698-128G
20	BRS Xiquexique	x	Santo Inácio
21	BRS Xiquexique	x	MNC99-510F-16-1
22	CNCx 698-128G	x	BRS Paraguaçu
23	CNCx 698-128G	x	Pingo de Ouro-1-2
24	CNCx 698-128G	x	BRS Xiquexique
25	CNCx 698-128G	x	Santo Inácio
26	CNCx 698-128G	x	MNC99-510F-16-1
27	Santo Inácio	x	BRS Paraguaçu
28	Santo Inácio	x	Pingo de Ouro-1-2
29	Santo Inácio	x	BRS Xiquexique
30	Santo Inácio	x	CNCx 698-128G
31	Santo Inácio	x	MNC99-510F-16-1
32	MNC99-510F-16-1	x	BRS Paraguaçu
33	MNC99-510F-16-1	x	Pingo de Ouro-1-2
34	MNC99-510F-16-1	x	BRS Xiquexique
35	MNC99-510F-16-1	x	CNCx 698-128G
36	MNC99-510F-16-1	x	Santo Inácio

3.2.3 Avaliação das populações F_2 (S_0)

3.2.3.1 Caracterização da área experimental

Foram conduzidos dois ensaios para a avaliação das 30 populações F_2 , juntamente com seus genitores, sendo um sob déficit hídrico, imposto na pré-floração e outro sob irrigação plena, no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI (05°05'S, 42°48'W e 74,4 m), no período de 26 de julho a 11 de outubro de 2011. Os dados climatológicos foram obtidos da estação automática agrometeorológica da Embrapa Meio-Norte localizada próximo à área experimental, referente ao ano de 2011. A umidade relativa média anual de Teresina foi de 77,02% e a precipitação pluviométrica anual de 1.388,9 mm. Os valores médios anuais de temperatura mínima, média e máxima do ar foram: 22,08 °C, 26,97 °C e 33,52 °C, respectivamente. No período correspondente à condução dos experimentos, estes valores foram de 21,2 °C, 28,0 °C e 35,9 °C para as temperaturas mínima, média e máxima, respectivamente.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical de estações úmida e seca). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo eutrófico, de textura superficial franco arenosa, cujas características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 3.3 e 3.4, respectivamente (NASCIMENTO, 2009). O preparo do solo consistiu de duas gradagens aradoras e uma gradagem niveladora.

3.2.3.2 Condução dos ensaios

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos incompletos, látice quadrado triplo. A parcela experimental foi constituída de seis linhas de 2m, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m entre plantas. Semearam-se, manualmente, três sementes por cova, após 15 dias após a semeadura (DAS) realizou-se o desbaste, deixando uma planta por cova, portanto foram devidamente etiquetadas na fase da pré-floração para mensuração dos caracteres. Na condução do experimento, para o controle de plantas infestantes, realizou-se capinas manuais e tração animal. Foram realizados tratos culturais a fim de manter a área livre de insetos e doenças.

Tabela 3.3 - Características físicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).

Horizonte	Profundidade	Granulometria			Densidade	Classificação Textural
		(g·kg ⁻¹)				
	m	Areia	Silte	Argila	-- kg·m ⁻³ --	
AP	0 – 0,15	799,0	85,0	116,0	1390	Franco Arenoso
AB	0,15 – 0,45	627,0	127,0	246,0	1330	Franco Arg. Arenoso
Bt	0,45 – 0,7	627,5	96,5	276,0	1320	Franco Arg. Arenoso
C	> 0,7	550,0	144,0	306,0	1270	Franco Arg. Arenoso

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

Tabela 3.4 - Características químicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).

Profundidade	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	CTC	V
M	g·kg ⁻¹	H ₂ O	mg·dm ⁻³	-----cmol _c ·dm ⁻³ -----								%
0 – 0,2	1,96	5,11	63,82	0,11	1,26	0,46	0,02	0,02	1,37	1,86	3,22	57,24
0,2 – 0,4	1,65	5,51	29,88	0,09	1,64	0,68	0,02	0,02	1,63	2,43	4,06	59,88

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte

O croqui dos ensaios sem déficit hídrico e com déficit hídrico encontra-se nas Figuras 3a e 3b, respectivamente.

3.2.3.4 Manejo de Irrigação

A irrigação foi realizada por sistema de aspersão convencional fixo, com os aspersores em linhas laterais dispostos em um espaçamento de 12 m x 12 m, pressão de serviço de 250 KPa, diâmetro de bocais de 3,4 mm x 2,6 mm, vazão de $1,07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. As lâminas de água foram aplicadas diariamente de acordo com a necessidade hídrica da cultura, calculada através da evapotranspiração de referência (ET_0) obtida na estação meteorológica automática da Embrapa Meio-Norte, e do coeficiente de cultivo (K_c) da cultura, variando de 0,6 a 1,1 de acordo com os estádios fenológicos, baseados nos estudos de Andrade Júnior et al. (2001). O tempo de irrigação foi calculado com o auxílio de uma planilha eletrônica em Excel, onde eram registrados os valores diários da ET_0 e precipitação. Para a coleta da lâmina de irrigação e avaliação da uniformidade de distribuição de água, foram instalados, entre quatro aspersores, 16 coletores, cada um espaçado equidistantemente de 3 m.

O ensaio sem déficit hídrico (ESDH) foi submetido à irrigação plena durante todo o ciclo da cultura e o ensaio com déficit hídrico (ECDH) sofreu deficiência hídrica pela suspensão da irrigação no estágio da pré-floração (35 DAS) até o do período reprodutivo (49 DAS).

A umidade do solo foi monitorada por meio de uma sonda de capacitância, DIVINER 2000[®], através de 12 tubos de acesso instalados a profundidade de 0,70 m e distribuídos nos dois ensaios, sendo realizadas leituras a cada 0,10 m de profundidade do solo. A curva de retenção de água no solo da área experimental, na camada 0 - 0,4 m foi determinada utilizando-se o modelo de GENUCHTEN (1980). Os valores referentes à capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente foram $21,2 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ e $9,05 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, respectivamente.

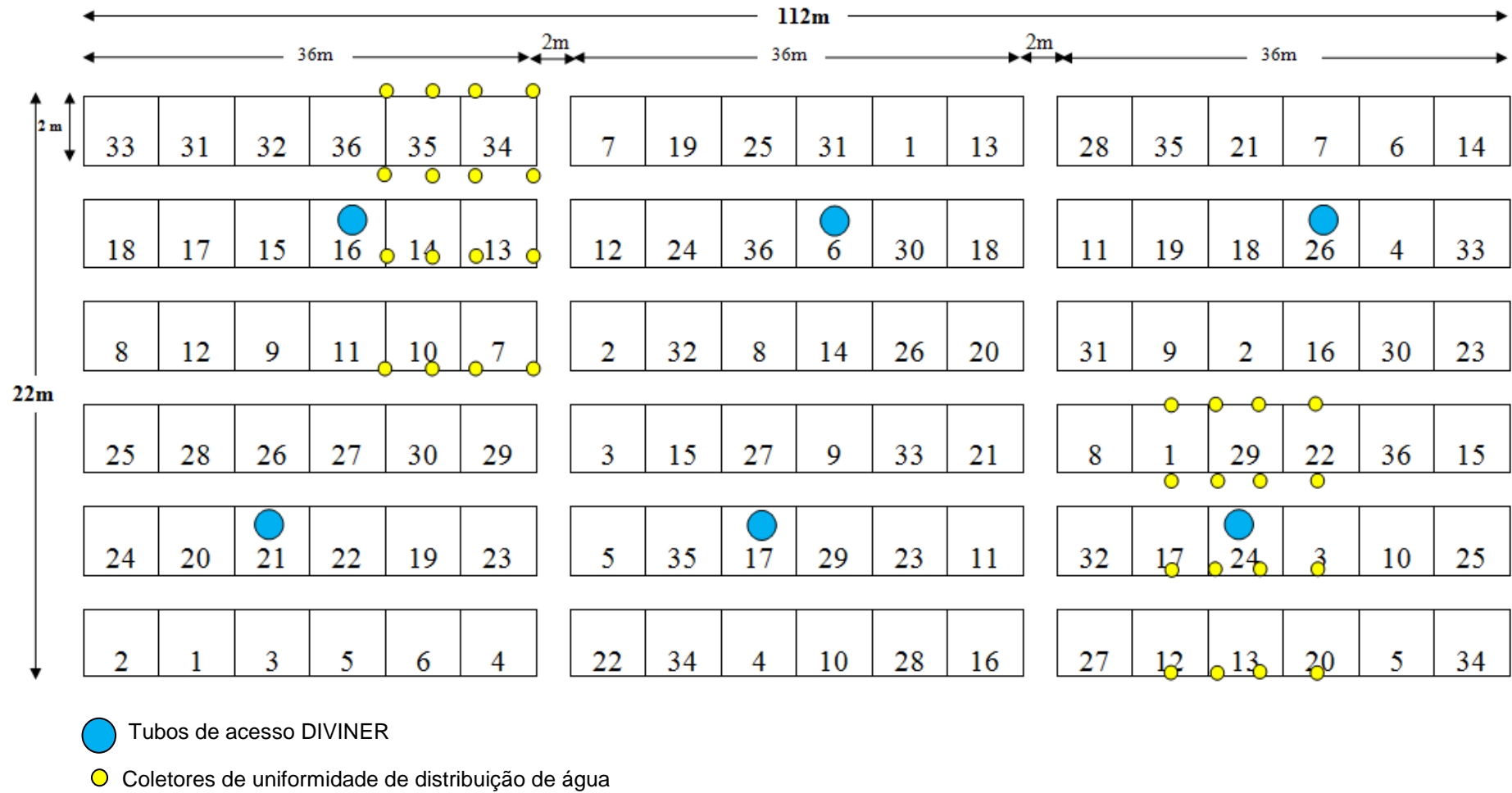
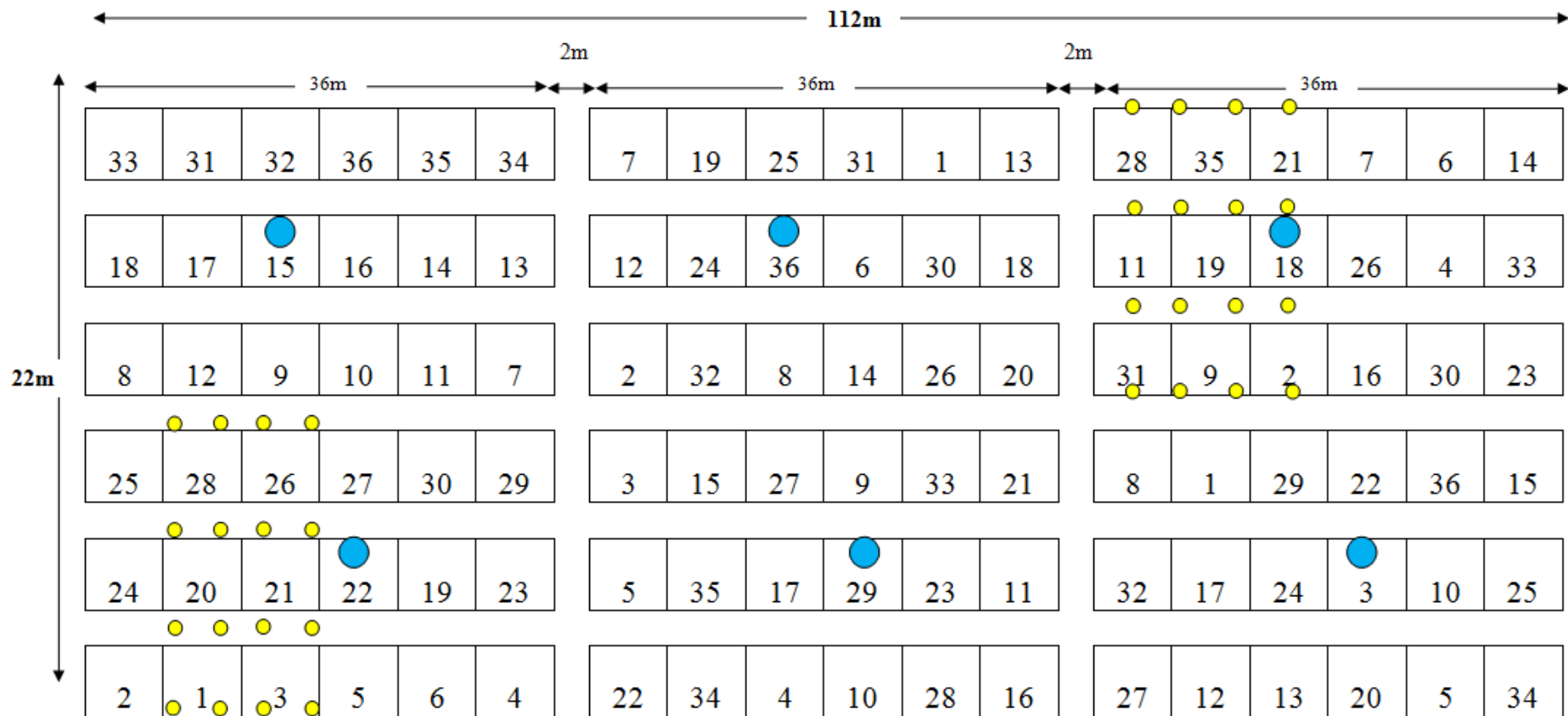


Figura 3a - Croqui da área do ensaio sem déficit hídrico, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2011.



● Tubos de acesso DIVINER

● Coletores de uniformidade de distribuição de água

Figura 3b - Croqui da área do ensaio com déficit hídrico, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2011.

3.2.3.5- Caracteres avaliados

Os dados foram coletados em 16 plantas individuais aleatoriamente de cada parcela e foram avaliados os seguintes caracteres:

- **Número de dias para o início da floração (NDIF)** - número de dias contados a partir da data de semeadura até o início do florescimento da planta;
- **Número de dias para a maturação (NDM)** - número de dias compreendidos entre o florescimento e a maturidade da vagem.
- **Número dias para a maturidade (NDMD)** – número de dias compreendidos entre a semeadura até o surgimento da primeira vagem com mudança de cor, indicando o início do processo de secagem;
- **Número de pedúnculos por planta (NPP)** – número de pedúnculo avaliado em de 16 plantas individuais da parcela;
- **Número de vagens por planta (NVP)** – número de vagens de 16 plantas individuais da parcela;
- **Número de vagens por pedúnculo (NVPed)** – razão entre o número de vagens e o número de pedúnculo de cada planta da parcela;
- **Produção de vagens por planta (PVP)** – peso de vagens de cada planta da parcela, expresso em gramas (g);
- **Peso da vagem (PV)** – peso médio avaliado a partir de uma amostra de três vagens de cada planta da parcela, expresso em gramas (g);
- **Comprimento da vagem (COMPV)** - média de três vagens tomadas de cada planta da área útil da parcela, expresso em centímetros (cm);
- **Número de grãos por vagem (NGV)** - média do número de grãos de três vagens tomadas de cada planta da área útil da parcela;
- **Peso de grãos por vagem (PGV)** – média do peso de grãos de três vagens tomadas de cada planta da área útil da parcela, expresso em gramas (g);
- **Peso de 100 grãos (P100G)** - peso de 100 grãos tomadas de cada planta da parcela, expresso em gramas (g);
- **Produção de grãos (PG)** – peso de grãos tomado de 16 plantas da parcela, expresso em gramas (g);
- **Índice de Grãos (IG)** – razão entre peso de grão e peso de vagem, expresso em porcentagem (%).

3.2.3.6 Análises genético-estatísticas

3.2.3.6.1 Análise de variância (ANAVA)

Os dados obtidos, para cada caráter, foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa computacional GENES (CRUZ, 2006) e SAS (SAS INSTITUTE, 1997), conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + g_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que:

Y_{ijk} : valor observado referente à parcela que recebeu o tratamento i no bloco k dentro da repetição j .

m : média geral

g_i : efeito do tratamento i ($i=1, 2, \dots, 36$)

r_j : efeito da repetição j ($j= 1, 2$ e 3)

$b_{k(j)}$: efeito do bloco k ($k= 1, 2, 3, \dots, 6$) dentro da repetição j

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , assumindo que os erros são independentes e normalmente distribuídos, com média zero e variância σ_e^2 .

3.2.3.6.2 Análise do percentual de redução da produção de grãos associados à índices de produção relativa e tolerância a estresse

De posse dos valores médios de produção de grãos dos genótipos de feijão-caupi referentes aos dois ensaios avaliados (ESDH e ECDH), calculou-se o percentual de redução utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Redução} = \frac{\text{ESDH} - \text{ECDH}}{\text{ESDH}} \times 100 \quad (2)$$

Para auxiliar na identificação dos genótipos mais produtivos e tolerantes ao déficit hídrico, utilizaram-se os seguintes índices:

➤ **Índice de produção relativa (IPR¹)** – para este cálculo ordenou-se os valores médios de produção de grãos referente ao ensaio sem déficit hídrico e dividiu-se pelo menor valor.

$$\text{IPR} = \frac{\text{Valores médios de produção do ESDH}}{\text{< valor médio de produção do ESDH}} \quad (3)$$

¹ Informação pessoal de Francisco Rodrigues Freire Filho, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2012.

➤ **Índice de tolerância ao estresse (ITE²)** – razão entre os valores médios de produção de grãos do ensaio sem déficit hídrico e suas respectivas perdas comparadas ao ensaio com déficit hídrico.

$$\text{ITE} = \frac{\text{Valores médios de produção do ESDH}}{\text{Perda}} \quad (4)$$

Para associação dos índices citados, ordenaram-se os valores de cada índice para conhecimento de sua posição relativa, posteriormente construiu-se um gráfico e identificou-se os genótipos produtivos e tolerantes.

3.2.3.6.3 Análise de Correlação

A análise de correlação fenotípica entre 14 caracteres para os seis genitores de feijão-caupi e para as 30 combinações F₂ foram estimadas utilizando o procedimento Correlação Simples – Pearson, disponível no aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006). Utilizou-se o teste de significância de Tukey (P<0,05).

² Informação pessoal de Francisco Rodrigues Freire Filho, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2012.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Manejo da Irrigação

A Figura 4 apresenta os dados de temperatura e precipitação pluvial no período correspondente à condução dos experimentos (26/07 a 11/10/2011). Durante este período, foram registradas temperaturas do ar, com médias 21,2 °C, 28,0 °C e 35,9 °C para as temperaturas mínima, média e máxima, respectivamente e uma precipitação pluvial de 22,4 mm. A irrigação foi suspensa entre os 35 e 49 dias após a semeadura, sendo registrados, neste período 1,03 mm de chuva, valores que não comprometeram os resultados. Observa-se que a maior precipitação ocorreu aos 66 dias após a semeadura (DAS), época em que a maioria dos genótipos já havia sido colhido e os que ainda estavam em campo não tiveram sua qualidade comprometida, pois neste período as vagens secaram rapidamente em virtude da intensa radiação solar ocorrida no período.

A aplicação da água de irrigação, durante o ciclo, foi de 178,35 mm e 252,3 mm para os experimentos com déficit hídrico e sem déficit hídrico, respectivamente. Adicionando as precipitações pluviais às lâminas de irrigação resultou-se em lâminas totais de 200,75 mm e 274,7 mm no ECDH e ESDH, respectivamente. Estes valores estão de acordo com Bastos et al. (2002), que,

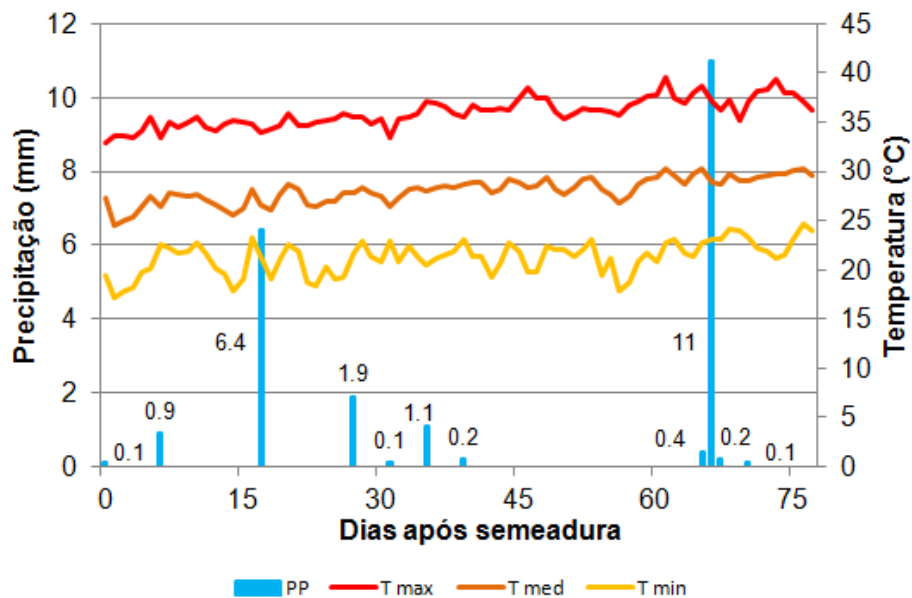


Figura 4 - Precipitação, temperaturas máxima, média e mínima ocorridas durante a condução dos experimentos de feijão-caupi. Teresina, PI, 2010.

avaliando o crescimento e desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi, constaram que, para um desenvolvimento satisfatório da cultura, deve-se aplicar lâminas entre 200 e 403 mm em Teresina.

Na Figura 5 é apresentado o comportamento da água no perfil do solo nas camadas de 0 a 0,4m. Observando a Figura 5a, pode-se inferir que a umidade do solo no ensaio sem déficit hídrico manteve-se próximo à capacidade de campo, que de acordo com a curva de retenção de água realizada na área experimental, apresentou valor de $21,2 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Desta forma os valores situados entre 15 e 20% são considerados satisfatórios. Além disso, a umidade se comportou de forma semelhante em todas as camadas apresentadas, exceto na camada de 0,1 m que apresentou os menores valores quando comparado com os demais. Isso já era esperado, pois a camada superficial tende a perder umidade, por evaporação mais rápido devido à ação dos elementos climatológicos, tais como radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Em relação ao ensaio com déficit hídrico (Figura 4b), percebe-se uma redução linear da umidade em todo o perfil do solo após os 36 DAS, que foi logo após a imposição do déficit hídrico. Nas camadas de 0 a 0,2m, com o decorrer do déficit, a umidade chegou a valores inferiores ao ponto de murcha permanente ($9 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$). Para que este estado não permanecesse, aos 49 DAS retomou-se a irrigação. Assim, fez-se apenas mais uma irrigação, visto que a maioria dos genótipos já havia atingido a maturidade. Embora os valores de umidade nas camadas chegassem ao ponto de murcha, na profundidade de 0,2 a 0,4m os valores situaram-se próximo à capacidade de campo, ou seja, havia umidade suficiente para as plantas realizassem suas atividades metabólicas. Este fato foi observado pelo aspecto geral da planta, folhas túrgidas e também durante o processo de colheita, onde foram colhidas plantas individuais e realizado o arranquio das mesmas, verificando raízes compridas. Provavelmente as plantas utilizaram a estratégia de aprofundamento de raízes pra absorver a água das camadas mais profundas, fazendo com que as plantas não sofressem muito, justificando a baixa redução na produção de grãos.

A Figura 5c apresenta valores médios de umidade do solo e os limites entre capacidade de campo (CC) e PMP nos dois experimentos. A deficiência hídrica é detectada pelo nível de esgotamento de água no solo. Os valores médios mostram

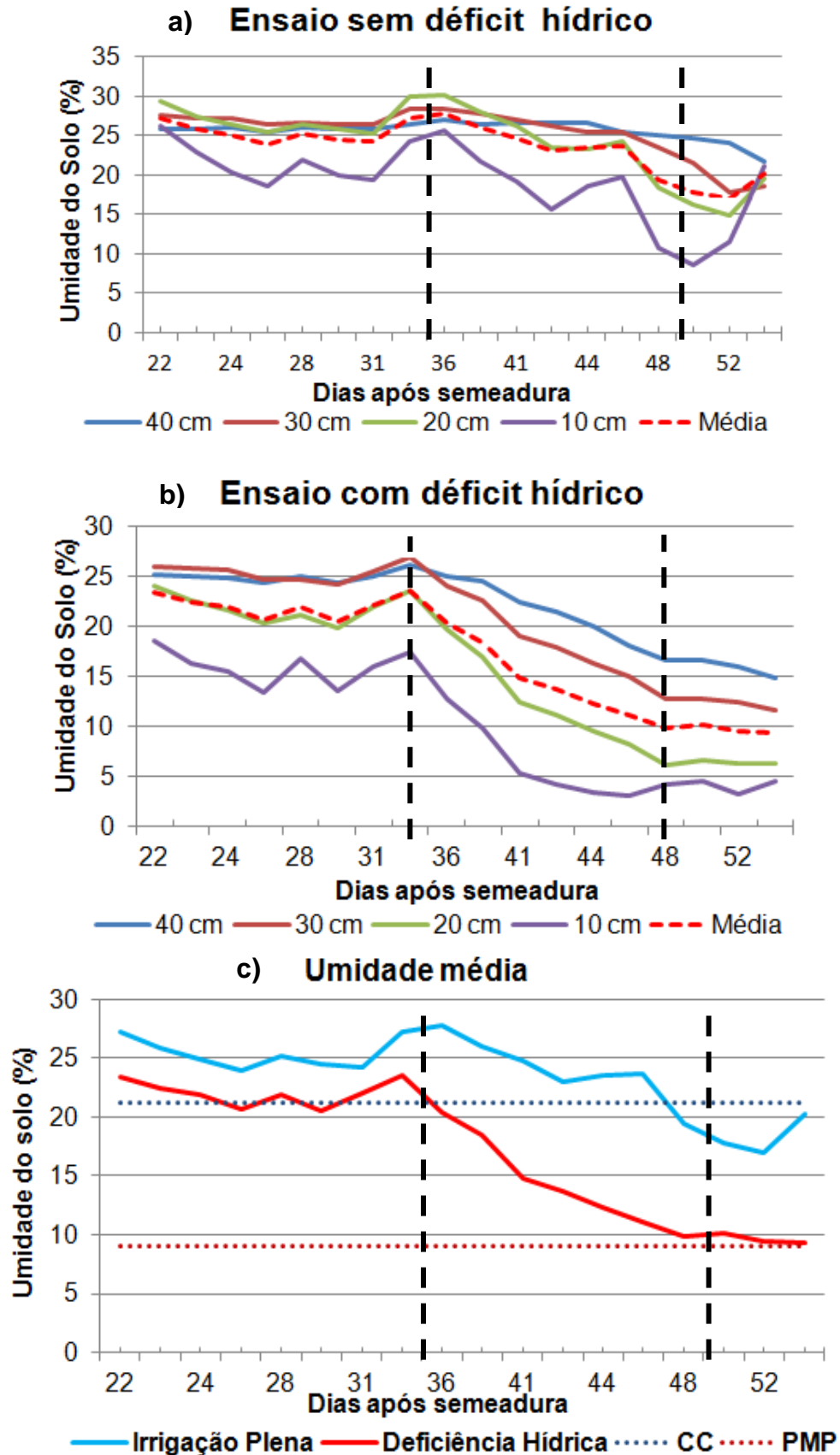


Figura 5 – Variação da umidade do solo nas camadas 0-10 cm, 0-20 cm, 0-30 cm e 0-40 cm, a) experimento sem déficit hídrico, b) experimento com déficit hídrico e c) umidade média nos dois experimentos.

que houve déficit moderado, pois o nível médio de esgotamento de água no solo foi em torno de 60 %. Nascimento (2009) estudando o efeito do déficit hídrico em 20 genótipos de feijão-caupi, observou uma diminuição da água disponível no solo de 75 %, também considerado moderado.

3.3.2 Análise de variância

Na Tabela 3.5 é apresentado o resumo das análises de variância relativo aos caracteres número de dias para o início da floração (NDIF), Número de dias para a maturação (NDM), Número dias para a maturidade (NDMD), Número de pedúnculos por planta (NPP), Número de vagens por planta (NVP), Número de vagens por pedúnculo (NVPed), Produção de vagens por planta (PVP), Peso da vagem (PV), Comprimento da vagem (COMPV), Número de grãos por vagem (NGV), Peso de grãos por vagem (PGV), Peso de 100 grãos (P100G), Produção de grãos (PG), e Índice de Grãos (IG).

Observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria dos caracteres avaliados, evidenciando a existência de variabilidade entre os genótipos, que se constitui em condição para a formação de uma boa população base em programa de seleção recorrente. As exceções foram observadas nos caracteres PVP e PG considerando os dois experimentos (ECDH e ESDH), indicando comportamento coincidente dos genótipos para estes, independente do tipo de experimento. Detectou-se ainda, comportamento semelhante dos genótipos para os caracteres NDM e NPP no experimento com déficit hídrico (ECDH).

Apesar da ausência de diferenças entre os genótipos para a produção, o déficit hídrico reduziu, em média, 29,83% (Tabela 3.5), comparado ao ESDH. Corroborando com estes resultados, Bezerra et al. (2003) encontraram redução de 26,2% na produção de grãos ao aplicarem déficit hídrico em apenas um estágio do ciclo fenológico do feijão-caupi. Segundo este autor, o déficit hídrico imposto nos estádios de floração e/ou enchimento de grãos, não resultou em grandes perdas de produção, possivelmente devido aos intervalos do estágio fenológico que foram bastante curtos. Os resultados diferiram dos obtidos por Nascimento et al. (2011), que observaram uma redução de 60% na produção de grãos, quando da aplicação de déficit hídrico, ou seja, o dobro do valor obtido nesse trabalho. Isso se justifica pelo fato do déficit ter sido imposto aplicando-se apenas a metade da lâmina requerida pelo feijão-caupi. Os valores menores inerentes à redução na produção de

Tabela 3.5 - Resumo da análise de variância para os caracteres número de dias para o início de floração (NDIF), número de dias para a maturidade (NDMD), número de dias para a maturação (NDM), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), número de vagens por pedúnculo (NVPed), peso de vagens por planta (PVP), peso da vagem (PV), comprimento da vagem (COMPV), número de grão por vagem (NGV), peso de grãos por vagem (PGV), produção de grão (PG), peso de 100 grãos (P100G) e índice de grãos (IG), referente a dois experimentos, Ensaio com déficit hídrico (ECDH) e Ensaio sem déficit hídrico (ESDH), de avaliação de genótipos de feijão-caupi. Teresina-PI, 2011.

F V	QUADRADOS MÉDIOS Ensaio com déficit hídrico (ECDH)														
	GL	NDIF	NDMD	NDM	NPP	NVP	NVPed.	PVP	PV	COMPV	NGV	PGV	PG	P100G	IG
Repetição	2	4,75	34,48	19,75	67,66	211,02	0,03	2003,37	0,083	2,61	1,72	0,02	290518,14	0,76	0,42
Bloco (rep)	15	4,79	1,57	2,95	33,33	92,51	0,04	966,48	0,30	1,62	0,86	0,15	139085,41	6,12	6,83
Trat (ajustado)	35	3,28**	1,68**	1,71 ^{ns}	12,35 ^{ns}	48,33*	0,05**	349,68 ^{ns}	0,40**	2,82**	2,84**	0,20**	50892,41 ^{ns}	11,87**	19,03**
Erro	55	0,76	0,41	1,11	9,78	21,54	0,008	275,60	0,15	0,50	0,87	0,05	35940,47	0,86	5,10
Média		38,77	57,18	18,30	19,05	27,84	1,46	86,25	3,84	20,50	15,31	3,02	971,22	19,91	79,54
CV (%)		2,25	1,12	5,76	16,41	16,66	6,21	19,24	10,32	3,43	6,11	7,70	19,51	4,66	2,84
Eficiência do Látice (%)		120,55	125,23	100,76	121,65	128,03	101,58	128,09	100,37	107,27	99,19	102,62	132,24	100,68	89,47
F V	QUADRADOS MÉDIOS Ensaio sem déficit hídrico (ESDH)														
	GL	NDIF	NDMD	NDM	NPP	NVP	NVPed.	PVP	PV	COMPV	NGV	PGV	PG	P100G	IG
Repetição	2	9,78	0,73	5,89	250,74	619,00	0,007	5596,03	0,04	0,39	1,43	0,01	871579,78	0,03	12,68
Bloco (rep)	15	14,36	2,35	9,52	38,00	88,57	0,06	847,44	0,18	0,93	0,35	0,12	107101,50	10,00	9,06
Trat (ajustado)	35	13,02**	2,06*	6,07**	40,07**	88,59**	0,06**	582,09 ^{ns}	0,33**	3,02**	1,09**	0,25**	59191,67 ^{ns}	16,37**	13,78**
Erro	55	4,23	1,14	2,81	16,44	40,95	0,01	447,28	0,10	0,16	0,26	0,03	49731,23	2,99	3,26
Média		39,60	56,40	16,71	24,86	37,52	1,51	124,40	4,13	20,88	16,36	3,24	1384,14	20,18	79,41
CV(%)		5,19	1,90	10,03	16,31	17,05	7,23	17,00	7,69	1,97	3,12	5,50	16,11	8,57	2,27
Eficiência do Látice(%)		110,05	101,24	112,48	100,00	97,93	103,92	98,35	100,34	110,98	103,05	99,22	100,10	94,42	91,72

^{ns}, **, *: Não significativo e significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

grãos (29,83%) são explicados pela imposição do déficit hídrico ter sido menos severo.

O déficit hídrico antecipou o número de dias para o início da floração e prorrogou o número de dias para a maturidade da cultura, divergindo dos resultados de Costa et al. (1997), que verificaram prorrogação do NDIF e redução do NDM. O resultado dos caracteres NVP, PVP, COMPV e P100G, estão em concordância com os obtidos por esse autor.

A deficiência hídrica foi imposta aos 35 DAS, com duração de 14 dias. Como foi possível observar na análise de variância, houve diferenças significativas para o caráter NDIF e, assim, o período reprodutivo variou bastante entre as populações, desta forma não foi possível estabelecer déficit em estágio fenológico diferente. Bezerra et al. (2003) constataram que o déficit hídrico imposto em dois estádios fenológico do feijão-caupi causa maior redução na produção. Neste trabalho também não foi possível estabelecer déficits hídrico em estádios fenológicos distintos.

O erro experimental consiste na variação não controlada que ocorre de forma aleatória entre as parcelas que receberam o mesmo tratamento. Ele é obtido pela diferença entre variação total e os demais efeitos que compõem o modelo estatístico. Sua magnitude tem efeito direto no sucesso do experimento. Visto que a precisão experimental é essencial para a realização deste trabalho, a alternativa mais empregada para comparar esta precisão é a estimativa do coeficiente de variação experimental CV_e , que é uma medida do erro padrão em relação a média. (RAMALHO, 2012). Pimentel Gomes (2009) ressalta que em experimento de campo, quando a estimativa do CV_e é inferior a 10%, diz-se que o experimento tem alta precisão; de 10 a 20%, boa precisão; de 20 a 30%, a estimativa é considerada alta e a precisão baixa. Partindo desse pressuposto, verificou-se que os experimentos apresentaram uma variação de 1,12% para o caráter NDMD e 19,51% para PG, denotando uma boa precisão experimental, tendo em vista que, para a maioria dos caracteres o CV_e foi inferior a 10%.

Estes resultados apresentam magnitudes que se assemelham às encontradas por Bezerra et al. (2003). Os maiores valores de CV_e foram verificado para os caracteres NPP, NVP, PVP e PG. No entanto questionamentos contrários a esta classificação são frequentes, pois ela não considera a cultura estudada e, principalmente o caráter avaliado. Carvalho (2011) visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em

feijão-caupi, encontrou valores de CV_e superiores para os caracteres PVP (10,69%), NVP (15,77%), COMPV (9,02%), P100G (8,78%) NGV (11,15%) e PG (19,51%).

Quanto ao emprego do delineamento experimental de blocos incompletos Látice, podemos constatar que sua eficiência foi comprovada para a maioria dos caracteres, apresentando valores inferiores a 100 somente para os caracteres NGV e IG no ECDH; e para NVP, PVP, P100G e IG no ESDH. Segundo Ramalho et al. (2005), quando isso ocorre muitos autores recomendam que o efeito de blocos menores do látice seja desprezado e que o experimento seja analisado como blocos casualizados completos. No entanto, optou-se por considerar a análise de variância em Látice para todos os caracteres.

3.3.3 Análise do percentual de redução da produção de grãos associados aos índices de produção relativa e de tolerância ao estresse

A Tabela 3.6 é composta pelos valores de produção de grãos (PG), percentual de redução (%), índice de produção relativa (IPR) e índice de tolerância ao estresse (ITE) dos genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico e irrigação plena. No ensaio sem déficit hídrico, 22 genótipos produziram acima da média geral (1384,14 g), destacando-se os cruzamentos Paraguaçu X MNC99-510F-16-1, MNC99-510F-16-1 X CNCx 698-128G, MNC99-510-16-1 X BRS Xiquexique e BRS Xiquexique X Pingo de Ouro-1-2. No ensaio com déficit hídrico, 19 genótipos produziram acima da média geral (971, 22 g) e redução menor que 40 %.

O genótipo Pingo de Ouro-1-2 apresentou o menor percentual de redução na produção (0,65%). No entanto, para o melhoramento, não basta apenas manter o potencial produtivo em condições adversas, mas que seja responsivo às condições ambientais. Segundo Fritche-Neto e Borém (2012), esse genótipo é classificado como generalista, ou seja, apresenta aptidão moderada para a maioria dos ambientes, apresentando produção superior em ambiente com baixa disponibilidade de recursos. Desta forma, quando as condições ambientais não são limitantes, não ocorre incremento significativo de produção, que é uma desvantagem. Assim é interessante que os genótipos apresentem plasticidade fenotípica – sinais ambientais interagem com o genótipo e estimulam a produção de fenótipos alternativos. Quando as plantas fossem submetidas a condições limitantes de

Tabela 3.6 - Valores da produção de grãos, percentual de redução da produção, índice de produção relativa e índice de tolerância ao estresse em genótipos de feijão-caupi submetidos à deficiência hídrica e irrigação plena em feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.

Genótipos	ESDH	ECDH	Perda	% Redução	IPR	ITE
11	1637,59	1119,27	518,32	31,65	1,86	3,16
35	1623,92	913,44	710,48	43,75	1,85	2,29
34	1596,87	843,78	753,09	47,16	1,81	2,12
18	1593,31	1182,47	410,84	25,79	1,81	3,88
21	1552,52	1030,10	522,42	33,65	1,76	2,97
36	1543,16	978,26	564,90	36,61	1,75	2,73
19	1532,87	956,91	575,96	37,57	1,74	2,66
32	1525,41	1165,30	360,11	23,61	1,73	4,24
10	1508,96	992,71	516,25	34,21	1,71	2,92
29	1504,10	1104,43	399,67	26,57	1,71	3,76
13	1502,45	1001,74	500,71	33,33	1,71	3,00
16	1488,57	895,55	593,02	39,84	1,69	2,51
26	1447,24	1080,90	366,35	25,31	1,64	3,95
14	1434,37	760,45	673,92	46,98	1,63	2,13
9	1424,83	1106,04	318,79	22,37	1,62	4,47
20	1412,25	852,14	560,11	39,66	1,60	2,52
3	1406,56	925,85	480,71	34,18	1,60	2,93
24	1394,76	1064,06	330,70	23,71	1,58	4,22
23	1391,90	780,19	611,71	43,95	1,58	2,28
22	1391,35	821,24	570,10	40,97	1,58	2,44
8	1390,07	1203,39	186,68	13,43	1,58	7,45
4	1385,16	745,48	639,68	46,18	1,57	2,17
30	1383,85	1054,58	329,27	23,79	1,57	4,20
33	1351,74	1211,45	140,29	10,38	1,54	9,64
6	1347,07	861,78	485,29	36,03	1,53	2,78
1	1337,13	1004,41	332,72	24,88	1,52	4,02
17	1298,61	1040,82	257,79	19,85	1,48	5,04
15	1291,28	780,24	511,03	39,58	1,47	2,53
31	1224,65	1106,22	118,43	9,67	1,39	10,34
28	1221,38	867,27	354,11	28,99	1,39	3,45
12	1210,56	1011,70	198,86	16,43	1,38	6,09
7	1203,68	920,53	283,15	23,52	1,37	4,25
25	1193,32	964,20	229,12	19,20	1,36	5,21
27	1102,00	803,10	298,90	27,12	1,25	3,69
2	1095,58	1088,49	7,09	0,65	1,24	154,45
5	879,99	725,47	154,52	17,56	1,00	5,70

cultivo, elas utilizariam os poucos recursos para produzir satisfatoriamente, mas quando em condições ideais, apresentariam altas produções.

Observa-se que os valores de produção de grãos são importantes na identificação de genótipos para este estudo. No entanto, além de produtivos, é fundamental que sejam tolerantes, pois nem sempre os mais produtivos são tolerantes. Assim sendo, uma forma eficiente de identificação dos genótipos é associar alta produção à alta tolerância. Na Figura 6 visualiza-se a associação dos índices de produção relativa e tolerância ao estresse. O segundo quadrante é composto pelos genótipos que apresentam alta produção e alta tolerância, são eles: BRS Paraguaçu X CNCx 698-128G, BRS Xiquexique X Pingo de Ouro-1-2, CNCx 698-128G X BRS Xiquexique, CNCx 698-128G X MNC99-510F-16-1, Santo Inácio X BRS Xiquexique e MNC99-510F-16-1 x BRS Paraguaçu.

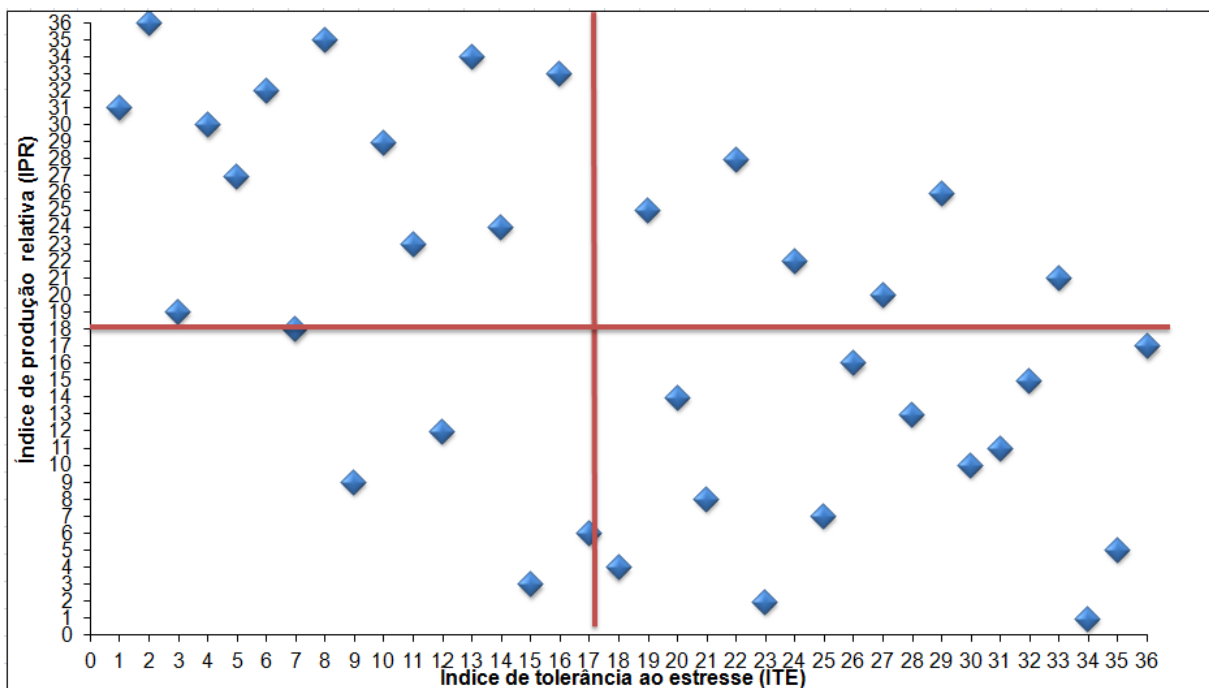


Figura 6 - Associação entre o índice de produção relativa e o índice de tolerância ao estresse em genótipos de feijão-caupi submetidos à deficiência hídrica e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.

3.3.4 Análise de Correlação

Na Tabela 3.7 são apresentadas as estimativas de correlação fenotípica entre os caracteres em feijão-caupi, sob déficit hídrico e irrigação plena. Observou-se que o manejo com e sem déficit hídrico não afetou a magnitude e o sentido da maioria das correlações. Isso sugere que o uso desses resultados para a prática da seleção indireta visando o melhoramento desses caracteres não deve considerar as condições sob as quais as plantas foram desenvolvidas, se sob déficit hídrico ou sob irrigação plena.

Os caracteres associados com a produção de grãos e que exibiram valores positivos de alta magnitude, independente do regime hídrico, foram NPP, NVP e PVP. Neste estudo, ressaltam-se os 17 pares de caracteres que variaram na mesma direção e exibiram alta magnitude, nos dois ensaios simultaneamente, foram eles: NDM e NVP, NDIF e NDM, NDIF e NDMD, NDIF e NVP, NDM e NPed, NPP e NVP, NPP e PVP, NVP e PVP, NPP e PG, NVP e PG, PVP e PG, PV e PGV, PV e P100G, COMPV e NGV, COMPV e IG, PGV e IG e PGV e P100G. De acordo com os resultados é possível inferir que o uso da seleção indireta para cada um destes pares de caracteres será eficiente e que a ação do ambiente atuou no mesmo sentido na expressão destes caracteres. Estes resultados estão de acordo com a literatura, onde vários autores encontraram correlações semelhantes para, pelo menos, um destes pares de caracteres (CARVALHO, 2011; LOPES et al., 2001; ROCHA et al., 2003; SILVA e NEVES, 2007; SOUZA et al., 2007).

O caráter NVP apresentou correlação positiva e significativa com o NPP. Isso mostra que quanto maior o número de pedúnculos por planta espera-se um aumento no número de vagem por planta. Isto é bastante lógico uma vez que cada pedúnculo contém, em média, duas vagens. A correlação negativa entre NVP com os caracteres NDIF e NDM mostra que é possível obter ganhos para a produtividade e precocidade via seleção indireta do NVP. O ganho para a produtividade e precocidade também pode ser obtido via seleção indireta do PVP, no entanto, em condições sem déficit hídrico.

Tabela 3.7 - Estimativa do coeficiente de correlação fenotípica entre caracteres de feijão-caupi avaliados sob déficit hídrico e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.

Ensaio com déficit hídrico ¹ / Ensaio sem déficit hídrico ²														
CARÁTER	NDIF	NDM	NDMD	NPP	NVP	NVPed	PVP	PV	COMPV	NGV	PGV	PG	P100G	IG
NDIF		0,71**	-0,75**	-0,39*	-0,51**	-0,33*	-0,23 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,40*	-0,13 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,33*
NDM	0,82**		-0,07 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,53**	-0,61**	-0,18 ^{ns}	0,44**	0,02 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,42**	-0,13 ^{ns}	0,43**	0,01 ^{ns}
NDMD	-0,95**	-0,60**		0,38*	0,22 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,45**
NPP	-0,30 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	0,26 ^{ns}		0,76**	0,04 ^{ns}	0,68**	-0,23 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,35*	0,53**	-0,33**	-0,36*
NVP	-0,55**	-0,62**	0,42**	0,77**		0,67**	0,73**	-0,36*	0,02 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,36*	0,66**	-0,49**	0,02 ^{ns}
NVPed	-0,39*	-0,53**	0,26 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	0,41*		0,38*	-0,29 ^{ns}	0,33*	0,45**	-0,14 ^{ns}	0,44**	-0,38*	0,45**
PVP	-0,39*	-0,32 ^{ns}	0,37*	0,64**	0,72**	0,16 ^{ns}		0,19 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,41*	0,27 ^{ns}	0,97**	0,01 ^{ns}	0,21 ^{ns}
PV	0,17 ^{ns}	0,41*	-0,01 ^{ns}	-0,47**	-0,58**	-0,23 ^{ns}	-0,13 ^{ns}		0,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,79**	0,25 ^{ns}	0,70**	0,11 ^{ns}
COMPV	0,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	-0,51**	-0,21 ^{ns}	0,39*	0,03 ^{ns}	0,25 ^{ns}		0,65**	0,52**	0,43**	0,04 ^{ns}	0,57**
NGV	0,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,47**	0,18 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,62**		0,17 ^{ns}	0,49**	-0,47**	0,44**
PGV	0,31 ^{ns}	0,48**	-0,17 ^{ns}	-0,61**	-0,74**	-0,26 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,82**	0,39*	-0,01 ^{ns}		0,40*	0,78**	0,58**
PG	0,41*	-0,42*	0,34*	0,59**	0,75**	0,28 ^{ns}	0,84**	-0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,17 ^{ns}		0,07 ^{ns}	0,38*
P100G	0,20 ^{ns}	0,37*	-0,08 ^{ns}	-0,53**	-0,73**	-0,36*	-0,33*	0,78**	0,07 ^{ns}	-0,38*	0,89**	-0,29 ^{ns}		0,25 ^{ns}
IG	0,19 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,65**	-0,41*	0,31 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,60**	0,43**	0,59**	-0,05 ^{ns}	0,37*	

^{ns}, **, *: Não significativo e significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

¹ Diagonal superior; ² diagonal inferior.

Visando incrementar o PVP, podem-se selecionar genótipos com elevado NPP e NVP, visto que estes variaram em mesma direção. Carvalho (2011) avaliando, por meio de cruzamentos dialélicos, oito genótipos de feijão-caupi, a fim de identificar os melhores genótipos parentais capazes de gerar populações com estimativas de produtividade e caracteres relacionados, encontrou correlações positivas e significativas entre o PVP em os demais caracteres estudados, exceto com o NVP.

O caráter NGV apresentou correlação positiva e significativa apenas com o caráter COMPV e IG, independente das condições ambientais. Corroborando com estes resultados, Lopes et al. (2001) avaliando a variabilidade e o potencial genético de 28 linhagens de feijão-caupi, observaram correlação positiva e significativa entre estes caracteres. Segundo os autores, o aumento do comprimento de vagem leva também a um maior número de grãos por vagem. Carvalho (2011) também obteve resultados semelhantes.

Os estudos de tolerância ao déficit hídrico, em geral, consideram a produção de grãos como principal caráter de seleção. Desta forma deve-se verificar a direção e a magnitude das correlações O caráter PG apresentou correlações positivas e significativas com NPP, NVP e PVP e negativas significativas com NDIF e NDM sob irrigação plena. Estes resultados permitem inferir que a seleção indireta via NPP, NVP e PVP pode levar a ganhos para produção de grãos e diminuição do ciclo (precocidade) considerando o ensaio sem déficit hídrico. Segundo Agbicodo (2009) um dos métodos mais eficientes para assegurar o rendimento da cultura frente às variações climáticas é a incorporação de genes de tolerância ao déficit hídrico em genótipos de maturidade precoce. Rocha et al. (2003) estudando parâmetros genéticos em 23 genótipos de feijão-caupi em Teresina, PI, observaram correlação positiva entre PG e NVP, sugerindo que maior número de vagens por planta resulta em aumento na produção de grãos.

O P100G é um dos principais caracteres para seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento de feijão-caupi. Esse caráter exibiu correlação positiva e significativa com os caracteres NDM, PGV e PV e negativas significativas com NPP, NVP e NVPed. Este resultado concorda com Silva e Neves (2011) que, avaliando componentes de produção e suas correlações entre genótipos de feijão-caupi em cultivo sequeiro e irrigado, também obtiveram correlações negativas e significativas entre P100G e NGV. Isto evidencia que não é interessante

aumentar o número de grão por vagem se o melhoramento visar o aumento do tamanho do grão. De fato, segundo Freire Filho et al. (2011), atualmente, tanto produtores quanto empacotadores exigem cultivares com P100G superior a 20 gramas, valor esse superior a 18 gramas, que é a média encontrada nas cultivares brasileiras lançadas entre 1991 e 2010. Lopes et al. (2002) ressaltam que quando a correlação negativa for devido à ligação genética as correlações no intervalo de $-1,0 < r < -0,5$, como por exemplo a correlação entre P100G e NVP ($r = -0,73$) são difíceis de serem superadas.

O caráter IG exibiu correlação fenotípica positiva e significativa com COMPV, NGV e PGV. Resultado semelhante foi obtido por Andrade et al. (2010) ao estimarem essa mesma correlação, no entanto, com feijão-verde em cultivo sequeiro e irrigado.

3.4 Conclusões

1. O déficit hídrico reduziu em 29,83% a produção de grãos.
2. Os genótipos que apresentaram alta produção e alta tolerância ao déficit hídrico foram: BRS Paraguaçu X CNCx 698-128G, BRS Xiquexique X Pingo de Ouro-1-2, CNCx 698-128G X BRS Xiquexique, CNCx 698-128G X MNC99-510F-16-1, Santo Inácio X BRS Xiquexique e MNC99-510F-16-1 X BRS Paraguaçu.
3. As populações de feijão-caupi apresentaram variabilidade para a maioria dos caracteres.
4. O tipo de manejo, com e sem déficit hídrico, não afeta a direção e influencia pouco na magnitude das correlações entre os caracteres estudados.
5. A seleção indireta via número de vagem por pedúnculo, comprimento de vagem, peso de grão por vagem e peso de 100 grãos pode aumentar a produção de grãos tanto sob déficit hídrico quanto irrigação plena.

Referências

- AGBICODO, E. M.; FATOKUN, C. A.; MURANAKA, S. VISSER, R. G. F.; C. G. LINDEN VAN DER, C. G. Breeding drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. **Euphytica**, v.167, p.353-370, 2009.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F. de B.; BASTOS, E. A. Zoneamento de risco climático para o feijão-caupi no Piauí. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5., 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão-caupi: **Anais...Teresina**: Embrapa Meio-Norte, 2001, p.3-7 (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M. GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.253-258, 2010.
- BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.100-107, 2011.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.43-50, 2002.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.43-50, 2002.
- BEZERRA, A. A. C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto**. 1997. 105f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- BEZERRA, A. A. C. **Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto**. 1997. 105f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, n.1, 2003.

CARVALHO, L. C. B.; **Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N.; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.1, p.43-50, 1997.

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

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

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE. Estresse hídrico na fase vegetativa e reprodutiva de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.7, p.1049-1055, 1991.

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

FRITCHE-NETO, Roberto; BORÉM, Aluízio. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: Suprema, 2011. 250 p.

GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, n.44, p.892-898, 1980.

GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, n.4, p.462-93, 1956.

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

LOPES, AC. de A; VELLO, N.A; PANDINI, F.; ROCHA, M. de M.; TSUTSUMI, C. Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja avaliados em dois locais. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.341-348, 2002.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 109f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M. SILVA, A. F. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. capixaba precoce). **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.3, 343-350, 2008

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15ª Ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451p.

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

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, F. D.; OLIVEIRA, A. C.; **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005, 322p.

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

ROCHA, M. M.; CAMPELO, J, E, G.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. C. A. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de caupi de tegumento branco. **Revista Científica Rural**, v.08, n.01, p.135-141, 2003.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.221-227, 2007.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.702-71, 2011.

SINGH, B. B.; MATSUI, T.; Cowpea varieties for drought tolerance. In: FATOKUN, C. A.; TARAWALI, S. A.; SINGH, B. B.; KORMAWA, P. W.; TAMÓ, M. (Eds.) **Challenges and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 2002, p.287-300.

SOUZA, Cristiane Lopes Carneiro de et al. Variability and correlations in cowpea populations for green-grain production. **Crop Breeding And Applied Biotechnology**, v.7, p.262-269, 2007.

4. ANÁLISE DIALÉLICA VISANDO À OBTENÇÃO DE POPULAÇÕES DE FEIJÃO-CAUPI TOLERANTES AO DÉFICIT HÍDRICO

Resumo

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) apresenta grande importância socioeconômica e desempenha papel fundamental na produção agrícola do Brasil. Em programa de melhoramento, envolvendo hibridações, a seleção de genitores constitui uma das etapas mais importantes. É essencial que a escolha destes seja feita criteriosamente, pois quando é baseada apenas em caracteres agrônômicos desejáveis, não assegura a obtenção de progênes com alto potencial genético. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar populações segregantes de feijão-caupi na geração F_2 e identificar genitores e combinações promissoras com maior probabilidade de gerarem populações segregantes tolerantes ao déficit hídrico. Foi realizado um dialelo completo envolvendo seis genótipos de feijão-caupi e conduzidos dois ensaios onde foram avaliadas 30 populações F_2 , juntamente com seus genitores, sendo um sob déficit hídrico, e outro sob irrigação plena, ambos no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI, no ano de 2011. Utilizou-se o delineamento experimental látice triplo, com parcela de 6 linhas de 2 m, sendo amostradas 16 plantas por parcela. Foram avaliados 14 caracteres agrônômicos e os dados foram submetidos à análise de variância e, utilizando-se das médias, obtiveram-se as estimativas de capacidade geral e específica de combinação. Os resultados permitiram concluir que: a) os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos, sendo também constatada a presença de herança materna; b) os genótipos parentais BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2 e MNC99-510F-16-1 foram os mais promissores para serem usados em programa de seleção recorrente visando tolerância ao déficit hídrico; c) as combinações híbridas 2x3, 3x5, 4x6, 6x1 e 6x2 apresentam potencial para produtividade e tolerância ao déficit hídrico.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, CGC, CEC, combinações híbridas, controle genético.

4. DIALLEL ANALISYS AIMING TO OBTECTION OF COWPEA POPULATIONS TOLERANT TO WATER DEFICIT

Abstract

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) has great socioeconomic importance and fundamental role in agricultural production in Brazil. In breeding program involving hybridization, the selection of parents is one of the most important steps. It is essential that the choice of these is done carefully, because when it is based solely on agronomic traits desirable, does not ensure obtaining progenies with high genetic potential. The aim of this study was to evaluate the cowpea F₂ segregating population and identify parents and promising combinations with most probability to generate segregating populations tolerant to water deficit. A complete diallel involving six cowpea genotypes was realized and two experiments were carried out where were evaluated 30 F₂ populations, along with their parents, being under water deficit, and another under full irrigation, both in the experimental field of Embrapa Mid-North in Teresina, Piauí, Brazil, in 2011. Experimental lattice triple plot was used with 6 lines of 2 m, which sampled 16 plants per plot. A total of 14 agronomic traits were evaluated and the data were subjected to analysis of variance and, using averages, estimates of general ability and specific combining were obtained. The results showed that: a) additive effects were more important than non-additive effects, and also found the presence of maternal inheritance, b) BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2, and MNC99-510F-16-1 parents were the most promising for use in recurrent selection program aiming tolerance to water deficit c) the hybrid combinations 2x3, 3x5, 4x6, 6x1, and 6x2 have potential for yield and tolerance to water deficit.

Key words: *Vigna unguiculata*, CGC, CEC, hibrid combinations, genetic control.

4.1 Introdução

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) apresenta grande importância socioeconômica e desempenha papel fundamental na produção agrícola do Brasil, além de ser uma das principais fontes proteicas na alimentação. Vale ressaltar que o Brasil ocupa a terceira posição no ranking dos maiores produtores mundiais de feijão-caupi, com área e produção média de 1.391.386 ha e 513.619 t, respectivamente, com produtividade média de 369 kg·ha⁻¹ (Freire Filho et al., 2011). Contudo na região Centro-Oeste, onde o cultivo é altamente tecnificado, este dado corresponde a 960 kg·ha⁻¹, ressaltando a importância de um manejo adequado para obter produções superiores para a cultura. Dentre os fatores abióticos que limitam a produtividade desta espécie, destaca-se o déficit hídrico, onde seus efeitos são expressivos, principalmente na região Nordeste.

Em programa de melhoramento, envolvendo hibridações, a seleção de genitores constitui uma das etapas mais importantes. É essencial que a escolha destes seja feita criteriosamente, pois quando é baseada apenas em caracteres agrônômicos desejáveis, não assegura a obtenção de progênies com alto potencial genético. Assim sendo, essa escolha permite que a maioria do trabalho do melhorista seja dedicada àquelas populações segregantes superiores, reduzindo tempo e custos com possíveis cruzamentos inferiores, se os mesmos não fossem eliminados em gerações iniciais (LOPES et al., 2002).

Uma técnica que auxilia nesta escolha com base nos seus valores genéticos e, principalmente, considerando a sua capacidade de se combinarem em híbridos que produzam populações segregantes promissoras, é a de cruzamentos dialélicos, que corresponde ao intercruzamento de n genótipos, dois a dois, produzindo n^2 combinações possíveis, onde $n(n-1)/2$ representa os híbridos simples e $n(n-1)/2$ os recíprocos, perfazendo uma tabela dialélica completa (RAMALHO et al., 1993). As metodologias de análise dialélica têm por finalidade analisar o delineamento genético, estimando parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres.

O presente trabalho objetivou avaliar populações segregantes de feijão-caupi na geração F_2 e identificar genitores e combinações promissoras com maior probabilidade de gerarem populações segregantes tolerantes ao déficit hídrico.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Genitores

O material genético constituiu-se de seis genótipos de feijão-caupi, sendo três cultivares (BRS Paraguaçu, BRS Xiquexique e Santo Inácio) e três linhagens (Pingo de Ouro-1-2, CNCx698-128G e MNC99-510F-16-1), previamente selecionados com base em estudos para tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi (Bastos et al., 2011; Nascimento et al., 2011). A descrição destes genótipos está apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Descrição dos seis genitores de feijão-caupi utilizados nos cruzamentos dialélicos. Teresina, PI, 2011.

Genótipos	Origem	Porte	Peso de 100G (g)	Resposta ao déficit
BRS Paraguaçu	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	17,0	Tolerante
Pingo de Ouro-1-2	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	26,6	Tolerante
BRS Xiquexique	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	16,5	Tolerante
CNCx 698-128G	Embrapa Arroz e Feijão	Semi-prostrado	14,7	Tolerante
Santo Inácio	Picos, PI	Semi-prostrado	21,3	Sensível
MNC99-510F-16-1	Embrapa Meio-Norte	Semi-prostrado	20,1	Tolerante

4.2.2 Obtenção das populações

Os seis genitores foram cruzados, em condições de telado, no esquema dialélico completo, adotando-se o Método 1 do modelo proposto por Griffing (1956). Utilizaram-se dois métodos de cruzamentos artificiais, os quais, em estudos conduzidos por Rêgo et al. (2006), apresentaram maior eficiência, são eles: i) utilização de pólen de flores coletadas pela manhã (flor aberta) e armazenadas em

baixas temperaturas até o fim da tarde, horário em que os botões florais foram emasculados e polinizados e; ii) emasculação de botões florais no fim da tarde do dia que antecede a sua antese natural e coleta de pólen e polinização no início da manhã do dia seguinte. As sementes dos 30 híbridos F₁ foram semeadas, também, em condições de telado, visando à obtenção da geração F₂. Na Tabela 4.2 consta os seis genitores e os 30 cruzamentos.

Tabela 4.2 - Genótipos de feijão-caupi avaliados sob deficiência hídrica e irrigação plena em Teresina, PI, 2011.

Nº	Genótipos	
1	BRS Paraguaçu	
2	Pingo de Ouro-1-2	
3	BRS Xiquexique	
4	CNCx 698-128G	
5	Santo Inácio	
6	MNC99-510F-16-1	
7	BRS Paraguaçu	x Pingo de Ouro-1-2
8	BRS Paraguaçu	x BRS Xiquexique
9	BRS Paraguaçu	x CNCx 698-128G
10	BRS Paraguaçu	x Santo Inácio
11	BRS Paraguaçu	x MNC99-510F-16-1
12	Pingo de Ouro-1-2	x BRS Paraguaçu
13	Pingo de Ouro-1-2	x BRS Xiquexique
14	Pingo de Ouro-1-2	x CNCx 698-128G
15	Pingo de Ouro-1-2	x Santo Inácio
16	Pingo de Ouro-1-2	x MNC99-510F-16-1
17	BRS Xiquexique	x BRS Paraguaçu
18	BRS Xiquexique	x Pingo de Ouro-1-2
19	BRS Xiquexique	x CNCx 698-128G
20	BRS Xiquexique	x Santo Inácio
21	BRS Xiquexique	x MNC99-510F-16-1
22	CNCx 698-128G	x BRS Paraguaçu
23	CNCx 698-128G	x Pingo de Ouro-1-2
24	CNCx 698-128G	x BRS Xiquexique
25	CNCx 698-128G	x Santo Inácio
26	CNCx 698-128G	x MNC99-510F-16-1
27	Santo Inácio	x BRS Paraguaçu
28	Santo Inácio	x Pingo de Ouro-1-2
29	Santo Inácio	x BRS Xiquexique
30	Santo Inácio	x CNCx 698-128G
31	Santo Inácio	x MNC99-510F-16-1
32	MNC99-510F-16-1	x BRS Paraguaçu
33	MNC99-510F-16-1	x Pingo de Ouro-1-2
34	MNC99-510F-16-1	x BRS Xiquexique
35	MNC99-510F-16-1	x CNCx 698-128G
36	MNC99-510F-16-1	x Santo Inácio

4.2.3 Avaliação das populações F₂ (S₀)

4.2.3.1 Caracterização da área experimental

Foram conduzidos dois ensaios para a avaliação das 30 populações F₂, juntamente com seus genitores, sendo um sob déficit hídrico, imposto na pré-floração e outro sob irrigação plena, no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI (05°05'S, 42°48'W e 74,4 m), no período de 26 de julho a 11 de outubro de 2011. Os dados climatológicos foram obtidos da estação automática agrometeorológica da Embrapa Meio-Norte localizada próximo à área experimental, referente ao ano de 2011. A umidade relativa média anual de Teresina foi de 77,02% e a precipitação pluviométrica anual de 1.388,9 mm. Os valores médios anuais de temperatura mínima, média e máxima do ar foram: 22,08 °C, 26,97 °C e 33,52 °C, respectivamente. No período correspondente à condução dos experimentos, estes valores foram de 21,2 °C, 28,0 °C e 35,9 °C para as temperaturas mínima, média e máxima, respectivamente.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical de estações úmida e seca). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo eutrófico, de textura superficial franco arenosa, cujas características físicas e químicas são apresentadas nas Tabelas 4.3 e 4.4, respectivamente (NASCIMENTO, 2009). O preparo do solo consistiu de duas gradagens aradoras e uma gradagem niveladora.

4.2.3.2 Condução dos ensaios

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos incompletos, látice quadrado triplo. A parcela experimental foi constituída de seis linhas de 2m, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m entre plantas. Semearam-se, manualmente, três sementes por cova, após 15 dias após a semeadura (DAS) realizou-se o desbaste, deixando uma planta por cova, portanto foram devidamente etiquetadas na fase da pré-floração para mensuração dos caracteres. Na condução do experimento, para o controle de plantas infestantes, realizou-se capinas manuais e tração animal. Foram realizados tratamentos culturais a fim de manter a área livre de insetos e doenças.

Tabela 4.3 - Características físicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).

Horizonte	Profundidade	Granulometria			Densidade	Classificação Textural
		(g·kg ⁻¹)				
	m	Areia	Silte	Argila	-- kg·m ⁻³ --	
AP	0 – 0,15	799,0	85,0	116,0	1390	Franco Arenoso
AB	0,15 – 0,45	627,0	127,0	246,0	1330	Franco Arg. Arenoso
Bt	0,45 – 0,7	627,5	96,5	276,0	1320	Franco Arg. Arenoso
C	> 0,7	550,0	144,0	306,0	1270	Franco Arg. Arenoso

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

Tabela 4.4 - Características químicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2011, (Nascimento, 2009).

Profundidade	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	CTC	V
M	g·kg ⁻¹	H ₂ O	mg·dm ⁻³	-----cmol _c ·dm ⁻³ -----								%
0 – 0,2	1,96	5,11	63,82	0,11	1,26	0,46	0,02	0,02	1,37	1,86	3,22	57,24
0,2 – 0,4	1,65	5,51	29,88	0,09	1,64	0,68	0,02	0,02	1,63	2,43	4,06	59,88

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte

4.2.3.3 Manejo de Irrigação

A irrigação foi realizada por sistema de aspersão convencional fixo, com os aspersores em linhas laterais dispostos em um espaçamento de 12 m x 12 m, pressão de serviço de 250 KPa, diâmetro de bocais de 3,4 mm x 2,6 mm, vazão de 1,07 m³·h⁻¹. As lâminas de água foram aplicadas diariamente de acordo com a necessidade hídrica da cultura, calculada através da evapotranspiração de referência (ET₀) obtida na estação meteorológica automática da Embrapa Meio-Norte, e do coeficiente de cultivo (Kc) da cultura, variando de 0,6 a 1,1 de acordo com os estádios fenológicos, baseados nos estudos de Andrade Júnior et al. (2001). O tempo de irrigação foi calculado com o auxílio de uma planilha eletrônica em Excel, onde eram registrados os valores diários da ET₀ e precipitação. Para o monitoramento das lâminas, foram instaladas quatro baterias de coletores, cada bateria contendo 16 coletores, distribuídas igualmente nos dois experimentos.

O ensaio sem déficit hídrico (ESDH) foi submetido à irrigação plena durante todo o ciclo da cultura e o ensaio com déficit hídrico (ECDH) sofreu deficiência hídrica pela suspensão da irrigação no estágio da pré-floração (35 DAS) até o do período reprodutivo (49 DAS).

A umidade do solo foi monitorada por meio de uma sonda de capacitância, DIVINER 2000[®], através de 12 tubos de acesso instalados a profundidade de 0,70 m e distribuídos nos dois ensaios, sendo realizadas leituras a cada 0,10 m de profundidade do solo. A curva de retenção de água no solo da área experimental, na camada 0 - 0,4m foi determinada utilizando-se o modelo de GENUCHTEN (1980). Os valores referentes a capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente foram 21,2 cm³·cm⁻³ e 9,05 cm³·cm⁻³, respectivamente.

4.2.3.4 Caracteres avaliados

Os dados foram coletados em 16 plantas individuais. Realizou-se análise de correlação utilizando o procedimento Correlação Simples – Pearson para identificar os caracteres correlacionados favoravelmente com a produção de grãos, desta forma avaliou-se:

- **Número dias para a maturidade (NDMD)** – número de dias compreendidos entre a semeadura até o surgimento da primeira vagem com mudança de cor, indicando o início do processo de secagem;

- **Número de pedúnculos por planta (NPP)** – número de pedúnculo avaliado em de 16 plantas individuais da parcela;
- **Número de vagens por planta (NVP)** – número de vagens de 16 plantas individuais da parcela;
- **Produção de vagens por planta (PVP)** – peso de vagens de cada planta da parcela, expresso em gramas (g);
- **Produção de grãos (PG)** – peso de grãos tomado de 16 plantas da parcela, expresso em gramas (g);
- **Peso de 100 grãos (P100G)** - peso de 100 grãos tomadas de cada planta da parcela, expresso em gramas (g);

4.2.3.5 Análise dialélica

Na análise dialélica foram usados seis genitores e 30 populações F_2 obtidas a partir de cruzamentos dialélicos, incluindo os recíprocos. As análises das capacidades combinatórias foram realizadas de acordo com o Método 1 do modelo de Griffing (1956), fazendo-se o desdobramento dos efeitos de tratamentos em capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) e efeito recíproco (ERec), considerando o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + e_{ij} \quad (1)$$

em que:

Y_{ij} : valor médio da combinação híbrida ($i \neq j$) ou do genitor ($i = j$)

m : média geral

g_i, g_j : efeitos da capacidade geral de combinação do i -ésimo e j -ésimo genitor ($i, j = 1, 2, \dots, 6$)

s_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores de ordem i e j .

r_{ij} : efeito recíproco que mede as diferenças proporcionadas pelo genitor i , ou j , quando utilizado como macho ou fêmea no cruzamento ij .

e_{ij} : erro experimental médio associado à observação de ordem ij .

Os componentes quadráticos (Φ), que expressam a variabilidade do material genético fixo, em termos de capacidade geral e específica de combinação e efeitos recíprocos, foram estimados por:

$$\Phi_g = \frac{QMG - QMR}{2p} \quad (2)$$

$$\Phi_s = QMS - QMR \quad (3)$$

$$\Phi_{rc} = \frac{QMRC - QMR}{2} \quad (4)$$

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Análise dialélica

Os quadrados médios associados a CGC (capacidade geral de combinação) e CEC (capacidade específica de combinação) estão sumarizados na Tabela 4.5. Observa-se que, para todos os caracteres avaliados referentes aos dois experimentos, os efeitos de genótipos foram altamente significativos ($P \leq 0,01$), evidenciando a existência de variabilidade genética na população avaliada. Isto representa importância fundamental em estudo para obtenção de população base em programa de seleção recorrente.

Ushakumari et al. (2010), avaliando um dialelo 5 x 5 (5 parentais e 5 testadores de feijão-caupi) também encontraram variabilidade entre populações (genótipos e híbridos), para os caracteres NDIF, COMPV, NGV, NVP e PG. Esse resultado também foi semelhante ao obtido por Carvalho (2011), ao avaliar um grupo de oito genótipos de feijão-caupi em dialelo de meia-tabela, em que a ANAVA também detectou diferenças entre populações para os caracteres COMPV, PV, NGV, NVP, P100G e PG.

A CGC, estimada por g_i , proporciona informações sobre a concentração de genes aditivos em seus efeitos e tem sido de grande utilidade na escolha de genitores a serem utilizados em programas de melhoramento. Os efeitos da CEC, estimados como desvio do comportamento em relação ao que seria esperado com base na capacidade geral de combinação, são medidas dos efeitos gênicos não aditivos. Interessa ao melhorista as combinações híbridas com estimativas da capacidade específica de combinação mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o mais favorável efeito da capacidade geral de combinação (CRUZ et al. 2004). Partindo deste pressuposto, seleciona-se cruzamentos com média alta e que pelo menos um dos genitores apresente valor de CGC positivo.

A significância dos quadrados médios da CGC e da CEC indica que tanto efeitos gênicos aditivos quanto não aditivos estão envolvidos no controle dos caracteres NDMD, NPP e P100G, independente das condições ambientais. Os caracteres NDMD, NPP e NVP e P100G exibiram efeito significativo de CGC indicando uma forte influência dos efeitos gênicos aditivos na sua expressão, além de inferir quanto à maior concentração de alelos favoráveis. Esse resultado corrobora os obtidos por Carvalho (2011), o qual avaliou um grupo de oitos

Tabela 4.5 - Resumo da análise de variância para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), referente ao experimento de avaliação do cruzamento dialélico envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi, as respectivas populações F₂ e os recíprocos. Teresina, PI, 2011.

F V	QUADRADOS MÉDIOS_ECDH ¹						
	GL	NDMD	NPP	NVP	PVP	PG	P100G
Tratamento	35	1,8**	55,8**	136,0**	1489,05**	202057,7**	18,1**
CGC	5	0,5**	78,2**	219,0**	748,7 ^{ns}	79008,8 ^{ns}	100,6**
CEC	15	0,7**	40,2**	94,8**	1127,0**	165894,5**	6,1**
E. Recíproco	15	1,4**	63,9**	149,4**	2097,8**	279237,3**	2,6*
Erro	55	0,3	11,1	24,7	316,1	41405,0	0,8
Φ_g		0,16	5,6	16,19	36,05	3133,65	8,31
Φ_s		0,4	29,1	70,1	810,9	124485,5	3,5
Φ_{rc}		0,55	26,4	62,35	890,85	118916,15	0,9

F V	QUADRADOS MÉDIOS_ESDH ²						
	GL	NDMD	NPP	NVP	PVP	PG	P100G
Tratamento	35	5,1**	134,8**	241,2**	1790,2**	188535,7**	41,1**
CGC	5	17,5**	561,9**	1109,4**	4905,0**	425038,9**	211,0**
CEC	15	4,1**	48,9*	50,8 ^{ns}	460,5 ^{ns}	42890,8 ^{ns}	23,9**
E. Recíproco	15	2,0*	78,4**	142,3**	2081,6 ^{ns}	255346,2**	1,7 ^{ns}
Erro	55	1,0	16,5	40,9	447,2	50440,5	2,9
Φ_g		1,37	45,45	89,04	371,48	31216,53	17,34
Φ_s		3,1	32,4	9,9	13,3	-7549,7	21
Φ_{rc}		0,5	30,95	50,7	817,2	102452,85	-0,6

^{ns}, **, *: Não significativo e significativos ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Φ_g : componente associado à CGC; Φ_s : componente associado à CEC e Φ_{rc} : componente associado ao efeito recíproco.

¹ ECDH: Ensaio com déficit hídrico; ² ESDH: ensaio sem déficit hídrico.

genótipos de feijão-caupi e constatou que os efeitos aditivos foram mais importantes que os não aditivos para os caracteres COMPV, PV, NGV, NVP, P100G, e PG nos genótipos de feijão-caupi estudados, possibilitando a obtenção direta de ganhos com a seleção.

Em relação à CEC, os caracteres NVP, PVP e PG não apresentaram significância no ensaio sem déficit hídrico. Estes resultados discordam daqueles obtidos por Ushakumari et al. (2010), que ao avaliarem em dialelo uma população de feijão-caupi composta de parentais e híbridos F_1 , encontraram que os efeitos de dominância foram mais importantes que os efeitos aditivos.

Quanto ao efeito recíproco, foi significativo ($P \leq 0,01$) para a maioria dos caracteres avaliados nos dois ensaios (NDMD, NPP, NVP e PG) possibilitando inferir quanto à influência de genes de herança citoplasmática na expressão destes caracteres. Estas informações são de suma importância na condução das populações segregantes

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação são apresentadas na Tabela 4.6. Os genitores são selecionados com base nas estimativas de CGC positivas e de alta magnitude, pois estes contribuem para o aumento da expressão do caráter. No entanto, para o caráter NDMD, busca-se os genitores que apresentarem valores altos e negativos, contribuindo para redução da expressão do caráter. Desta forma, os genótipos que se destacaram foram BRS Paraguaçu, BRS Xiquexique e CNCx 698-128G. Lopes (2001), avaliando a capacidade de combinação em genótipos de soja, obteve redução de sete dias quanto ao ciclo da planta.

Para o caráter NVP os valores de g_i referente aos dois ensaios foram negativos para os mesmos genótipos (Pingo de ouro-1-2 e Santo Inácio), sugerindo que estes não devem participar em esquema de cruzamentos que visem o aumento do número de vagem por planta. O genótipo CNCx 698-128G destacou-se, apresentando contribuição superior a oito vagens. Contrariamente a esse resultado, Carvalho (2011) encontrou valores negativos e positivos de baixa magnitude para este caráter.

Em relação ao caráter PVP, os genótipo BRS Xiquexique, CNCx 698-128G e MNC99-510F-16-1 apresentaram estimativas de CGC altas e positivas independente do regime hídrico. Carvalho (2011), também encontrou valor positivo para esse caráter avaliando o genótipo BRS Xiquexique. Os genótipos BRS Paraguaçu, Pingo

Tabela 4.6 - Estimativa da capacidade geral de combinação (CGC) para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG), peso de 100 grãos (P100G), segundo o método 1, proposto por Griffing (1956) para o dialelo envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.

Genitores	Ensaio com déficit hídrico (ESDH)					
	NDMD	NPP	NVP	PVP	PG	P100G
BRS Paraguaçu	-0.29	-1.62	0.17	-4.10	-35.11	-0.57
Pingo de Ouro-1-2	0.29	-0.47	-2.71	-3.47	-34.26	2.99
BRS Xiquexique	-0.51	-0.28	1.60	4.64	47.35	-0.70
CNCx 698-128G	-0.28	2.45	3.68	2.24	-7.14	-2.03
Santo Inácio	0.61	-0.90	-2.61	-4.50	-39.49	0.07
MNC99-510F-16-1	0.17	-0.93	-0.13	5.25	68.65	0.24
Genitores	Ensaio sem déficit hídrico (ECDH)					
BRS Paraguaçu	-0.78	-3.49	0.34	-10.11	73.52	-0.96
Pingo de Ouro-1-2	0.37	-2.64	-7.14	-12.75	-111.10	4.67
BRS-XIQUEXIQUE	-0.39	-1.14	2.60	6.18	56.02	-1.20
CNCx 698-128G	-0.37	7.35	8.56	16.85	135.57	-2.10
Santo Inácio	1.17	-1.35	-4.76	-6.95	-102.83	0.07
MNC99-510F-16-1	0.02	1.28	0.39	6.78	95.85	-0.29

de Ouro-1-2 e Santo Inácio não devem ser usados para a melhoria do PVP, pois apresentaram valores negativos de alta magnitude.

Para o melhoramento de genótipos quanto ao caráter PG destacaram-se os genótipos BRS Xiquexique e MNC99-510F-16-1, pois expressaram valores de g_i positivos e de altas magnitudes, nos dois ensaios. Os genótipos que contribuíram para redução na expressão deste caráter foram BRS Paraguaçu, Pingo de Ouro-1-2, CNCx 698-128G e Santo Inácio, os quais não são recomendados para programa de melhoramento que visem a melhoria desses. Ushakumari et al. (2010), estudando o vigor híbrido de linhagens de feijão-caupi, também encontraram efeitos tanto positivos quanto negativos de CGC para a produção de grãos.

O genótipo Pingo de Ouro-1-2 destacou-se quanto ao P100G, exibindo valores de CGC igual a 2,99 e 4,67 nos ensaios com e sem déficit hídrico, respectivamente, sendo o mais recomendado para ser utilizado em blocos de cruzamentos visando o aumento do peso médio de grãos. Atualmente, o melhoramento busca aumentar o P100G, devido a uma exigência do mercado (Freire Filho et al., 2011).

A capacidade específica de combinação, estimada por s_{ij} , indica o desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado com base na CGC dos seus genitores. Os valores positivos de s_{ij} indicam que o cruzamento é superior e há predominância de genes que exibem efeitos de dominância ou epistasia. O parâmetro s_{ii} , é um indicativo de divergência genética. Valores positivos indicam que o genitor apresenta heterose negativa e valores negativos indicam que o genitor apresenta heterose varietal com desvios de dominância unidirecionais negativos, isto é, a heterose é manifestada no sentido de reduzir a expressão do caráter (CRUZ, et al., 2004). Desta forma, altas estimativas de CEC são importantes no que tange a obtenção de populações segregantes promissoras, pois possibilita a liberação de maior variabilidade, o que é essencial no processo de seleção (ABREU, et al., 2002)

As estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação são apresentadas na Tabela 4.7. Foram observados valores positivos e negativos de s_{ij} para todos os caracteres avaliados relativos ao desempenho dos genitores. Os valores de s_{ii} apresentaram variação para os caracteres nos diferentes ensaios. Os genótipos (1) BRS Paraguaçu, (5) Santo Inácio e (6) MNC99-510F-16-1 foram os

genitores que tiveram os cruzamentos com maior heterose para o caráter PG, independente do regime hídrico.

Para o caráter NDMD, visando precocidade, os cruzamentos que apresentaram estimativas de s_{ij} favoráveis nos dois ensaios foram: (2) Pingo de Ouro-1-2 X (1) BRS Paraguaçu, (3) BRS Xiquexique X (4) CNCx 698-128G e (4) CNCx 698-128G X (2) Pingo de Ouro-1-2. Estes apresentaram pelo menos um genitor com g_i negativa, vale ressaltar que no cruzamento (3) BRS Xiquexique X (4) CNCx 698-128G, ambos os parentais apresentaram valor de g_i negativo, ou seja, ambos contribuíram para redução da expressão do caráter para precocidade.

Na avaliação do caráter NVP, observou-se variação quanto ao sinal dos valores em relação aos ensaios, mostrando influência dos ambientes. Os cruzamentos que se destacaram foram (5) Santo Inácio X (4) CNCx 698-128G e (5) Santo Inácio X (6) MNC99-510F-16-1. Embora o genótipo Santo Inácio se repetiu nestes cruzamentos, apresentou valor negativo de CGC, contudo cada um de seu par apresentou valor de g_i positivo.

O cruzamento (5) Santo Inácio X (4) CNCx 698-128G, novamente apresentou maior valor de s_{ij} para os caracteres NPP e NVP, se destacando entre os demais para aumento na expressão desses caracteres nos dois ensaios. Caracterizando uma boa complementação entre estes genitores. No caráter PVP, os cruzamentos que se destacaram foram (3) BRS Xiquexique X (2) Pingo de Ouro-1-2, (4) CNCx 698-128G X (6) MNC99-510F-16-1 e (5) Santo Inácio X (4) CNCx 698-128G.

Com relação ao caráter PG, os valores positivos e de magnitude elevadas foram exibidas pelas seguintes combinações: (1) BRS Paraguaçu X (4) CNCx 698-128G, (2) Pingo de Ouro-1-2 X (3) BRS Xiquexique, (4) CNCx 698-128G X (6) MNC99-510F-16-1, (5) Santo Inácio X (2) Pingo de Ouro-1-2 e (5) Santo Inácio X (4) CNCx 698-128G. Contudo apenas os genitores (2) Pingo de Ouro-1-2 e (6) MNC99-510F-16-1 apresentaram efeitos de CGC positivo nos dois ensaios. Desta forma os cruzamentos envolvendo estes genitores são promissores para obtenção de populações segregantes superiores.

Tabela 4.7. Estimativa da capacidade de combinação específica (CEC) e efeito recíproco para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG) e peso de 100 grãos (P100G) segundo o método 1, proposto por Griffing (1956) para o dialelo envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.

CRUZAMENTO	CARACTERES											
	NDM		NPP		NVP		PVP		PG		P100G	
♀ x ♂	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH
1x1	0,90	0,05	-1.85	2.15	-2,70	2,15	-3,01	1,88	-59,90	-71,3	0,50	-0,45
1x2	-0,01	0,88	0,01	-0.12	-1,64	-0,12	-8,62	-1,92	-90,22	1,33	-1,25	-2,05
1x3	-0,04	-0,74	-1.53	0.64	-263	0,64	-6,25	3,39	-77,21	-0,69	-0,70	-0,16
1x4	-0,40	-0,46	2.68	-2.12	5,31	-2,12	12,82	-1,49	191,42	69,06	-0,18	0,91
1x5	-0,20	0,28	-0.12	0.78	0,25	0,78	-0,32	-0,36	-27,33	69,97	0,83	1,52
1x6	-0,26	-0,02	0.80	-1.32	1,40	-1,32	5,39	-1,49	63,25	-13,0	0,80	0,23
2x1	-0,40	-0,80	-1.37	-3.23	-1,63	-3,23	-7,45	-4,36	-54,98	-233,47	0,06	0,39
2x2	0,48	-0,67	4.56	-2.01	6,00	-2,01	24,63	1,33	310,00	10,05	0,63	8,32
2x3	0,14	0,19	1.87	1.82	3,81	1,82	15,38	0,08	178,65	36,83	-0,27	-0,6
2x4	-0,09	0,84	-6.36	0.16	-8,52	0,16	-32,48	-1,23	-405,43	-101,57	0,42	-1,80
2x5	-0,11	-1,36	0.71	1.70	-0,65	1,70	-0,90	3,67	-7,19	100,07	0,86	-1,64
2x6	-0,40	0,11	0.62	-1.54	1,00	-1,54	1,98	-1,93	14,19	-46,72	-0,39	-0,8
3x1	-0,50	-0,33	-0.73	-0.03	-0,77	4,46	-10,03	1,5	-109,84	100,03	-0,36	-0,23
3x2	0,14	-0,83	1.90	2.93	2,40	-2,93	11,03	6,5	162,09	320,92	-1,24	-0,06
3x3	0,08	1,06	-4.33	4.46	-5,30	4,46	-21,09	3,37	-198,63	185	-0,69	0,34
3x4	-0,62	-0,68	-0.41	-2.93	5,14	-2,93	10,87	-1,58	86,89	-109,94	0,37	-0,13
3x5	0,09	0,06	1.06	-0.35	0,42	-0,35	1,56	1,08	22,26	4,86	-0,35	0,56

Continua...

Tabela 4.7. Estimativa da capacidade de combinação específica (CEC) e efeito recíproco para os caracteres número de dias para a maturidade (NDMD), número de pedúnculos por planta (NPP), número de vagens por planta (NVP), peso de vagens por planta (PVP), produção de grãos (PG) e peso de 100 grãos (P100G), segundo o método 1, proposto por Griffing (1956) para o dialelo envolvendo seis genótipos parentais de feijão-caupi. Teresina, PI, 2011.

Conclusão...

CRUZAMENTO	NDM		NPP		NVP		PVP		PG		P100G	
	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH	ECDH	ESDH
3x6	0,36	0,11	-0.13	-3.63	-1,45	-3,63	-0,48	-4,18	-11,90	-47,97	1,63	1,39
4x1	-0,04	0,63	-0.90	4.23	-4,90	4,23	-5,32	5,57	-73,24	206,71	0,31	0,43
4x2	-0,60	-0,63	-1.07	3.43	-0,60	3,43	-6,13	4,66	-56,02	66,14	-0,63	-0,47
4x3	-0,10	0,6	-0.41	-7.03	-1,65	-7,03	7,05	-10,0	36,12	-353,88	0,47	-0,13
4x4	0,75	0,29	0.70	8.59	-2,58	8,59	-9,68	4,92	-103,48	72,88	-1,83	-0,74
4x5	0,16	-0,28	-0.11	-4.08	0,11	4,33	10,38	-4,21	124,61	-28,89	1,45	1,60
4x6	0,20	0,30	0.02	0.39	0,54	0,39	8,06	3,59	105,98	97,75	-0,23	0,14
5x1	0,54	0,0	1.16	-3.70	-0,17	2,06	2,11	-6,03	11,40	-315,94	-1,20	0,29
5x2	0,47	-0,76	5.00	-1.80	6,97	1,70	31,49	-0,22	390,59	64,28	-0,49	-0,95
5x3	-0,27	-1,1	3.36	-1.90	5,37	-1,9	17,98	0,76	174,50	87,61	0,37	-0,45
5x4	0,10	-0,35	6.60	4.33	10,93	4,33	39,73	6,0	476,64	309,55	0,07	0,90
5x5	0,09	2,45	-2.25	-1.44	-4,17	-1,44	-15,58	-1,82	-186,03	-190,92	-1,12	0,0
5x6	-0,03	-1,15	2.14	3.40	4,03	3,40	4,86	3,81	73,69	32,65	-1,66	-1,05
6x1	-0,70	-0,13	-4.57	-1.83	-5,60	-1,83	-19,38	-1,6	-199,23	-126,46	0,15	0,60
6x2	0,47	-0,63	-1.40	-0.40	-2,43	-0,40	-13,69	0,53	-165,12	-58,37	-1,01	0,14
6x3	-0,30	-0,46	-6.50	1.13	-9,77	1,13	-35,49	-1,17	-379,72	-20,59	0,40	0,79
6x4	-0,17	0,0	2.20	2.06	2,70	2,06	9,73	3,63	94,06	101,61	0,05	-0,03
6x5	-0,57	0,03	-0.73	7.03	-0,44	7,03	-5,94	7,0	-128,83	32,65	-1,13	-1,05
6x6	0,12	0,0	-3.45	2.70	-5,35	2,71	-19,85	0,19	-245,21	-22,63	-0,16	0,08

1- BRS Paraguaçu, 2- Pingo de Ouro-1-2, 3 - BRS Xiquexique, 4 - CNCx 698-128G, 5 - Santo Inácio, 6 - MNC99510F-16-1.

4.4 Conclusões

1. Os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos, sendo também constatada a presença de herança citoplasmática.
2. Os genótipos BRS Xiquexique, Pingo de Ouro-1-2 e MNC99-510F-16-1 foram mais promissores para serem usados em programa de seleção recorrente visando tolerância ao déficit hídrico.
3. As combinações híbridas (2) Pingo de Ouro-1-2 X (3) BRS Xiquexique, (3) BRS Xiquexique X (5) Santo Inácio, (4) CNCx 698-128G X (6) MNC99-510F-16-1, (5) Santo Inácio X (4) CNCx 698-128G, (6) MNC99-510F-16-1 X (1) BRS Paraguaçu, (6) MNC99-510F-16-1 X (2) Pingo de Ouro-1-2 e (6) MNC99-510F-16-1 X (3) BRS Xiquexique apresentam potencial para produtividade e tolerância ao déficit hídrico.

Referências

- ABREU A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Prediction of seed-yield potential of common bean populations, **Genetics and Molecular Biology**, v.25, n.3, p.323-327, 2002.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F. de B.; BASTOS, E. A. Zoneamento de risco climático para o feijão caupi no Piauí. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5., 2001, Teresina. Avanços tecnológicos no feijão-caupi: **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001a., p.3-7 (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 56).
- BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.100-107, 2011.
- CARVALHO, L. C. B.; **Cruzamentos dialélicos visando à obtenção de populações produtivas e biofortificadas para teores de ferro, zinco e proteína em feijão-caupi**. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J., CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480p.
- Cruz, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Editora UFV. Viçosa (MG). 382p. 2006.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi: Produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.
- GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, n.44, p.892-898, 1980.
- GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v.9, n.4, p.462-93, 1956.
- LOPES, A. C. A.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, R. B. Q.; CAMPOS, F. L. ROCHA, M. M. Variabilidade e correlações entre caracteres agrônômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.515-520, 2001.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15ª Ed. Piracicaba: FEALQ, 2009, 451p.

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

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

USHAKUMARI, R. N.; VAIRAN, C. R.; MALINI, N. Studies on hybrid vigour and combining ability for seed yield and contributing characters in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v.1, p.940-947, 2010.