



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO VEGETAL

HERBERT MORAES MOREIRA RAMOS

**CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, FISIOLÓGICAS E ECONÔMICAS DO FEIJÃO-
CAUPI PARA GRÃOS VERDES SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

TERESINA 6 PI

2011

HERBERT MORAES MOREIRA RAMOS

**CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, FISIOLÓGICAS E ECONÔMICAS DO FEIJÃO-
CAUPI PARA GRÃOS VERDES SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí ó UFPI, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Edson Alves Bastos

Co-orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior.

TERESINA - PI

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

R175c Ramos, Herbert Moraes Moreira

Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos. / Herbert Moraes Moreira Ramos. ó 2011.

109 f. : il.

Dissertação (mestrado) ó Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

Orientador: Prof. Dr.Edson Alves Bastos

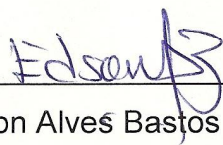
HERBERT MORAES MOREIRA RAMOS

**CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, FISIOLÓGICAS E ECONÔMICAS DO FEIJÃO-
CAUPI PARA GRÃOS VERDES SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

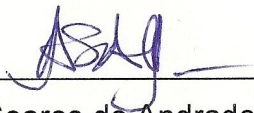
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí ó UFPI, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Aprovado em 27 / 05 / 11

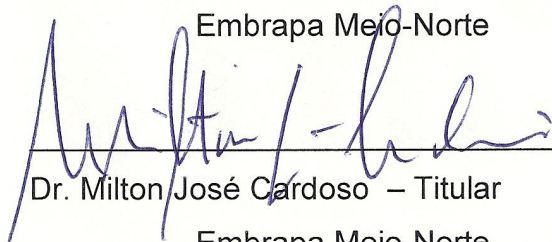
Comissão Julgadora:



Dr. Edson Alves Bastos – Presidente
Embrapa Meio-Norte



Dr. Aderson Soares de Andrade Junior-Titular
Embrapa Meio-Norte



Dr. Milton José Cardoso – Titular
Embrapa Meio-Norte



Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho – Titular
CAT/UFPI

Aos meus queridos pais, Pedro Moreira Ramos
e Maria do Socorro Moraes Ramos

OFEREÇO

A minha namorada Fabrícia da Silva Santos

DEDICO

*õA terra não pode ser ganha como herança,
nem pode ser comprada com dinheiro,
a terra é sempre emprestada
das gerações futurasõ.
(Provérbio Chinês)*

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo amor, esperança, fé, força, conquistas e presença constante em minha vida e que me deu forças para transpor mais esta etapa da vida;

Aos meus pais Pedro Moreira Ramos e Maria do Socorro Moraes Ramos, pelo apoio, compreensão e amor;

Aos meus irmãos: Maria das Graças, Valbert, Fátima e ao cunhado Paulo Henrique pelo apoio.

Ao Dr. Edson Alves Bastos, pela orientação, paciência, compreensão, pelos ensinamentos, oportunidades, bons momentos durante o estágio e por ser um exemplo de pessoa a ser seguida, fonte inspiradora de competência e sabedoria;

Ao Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior pela co-orientação, colaboração, conhecimentos, oportunidades, companheirismo, incentivo, conselhos e amizade;

Ao Professor Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, pela orientação no estágio em docência, que me deu forças e acreditou na minha capacidade;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí, pelo apoio e oportunidade;

À Embrapa Meio-Norte, pela oportunidade de realização do estágio e disponibilização de sua estrutura física para a realização do trabalho;

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos científicos;

Aos pesquisadores Dr. Valdenir Queiros Ribeiro, Dr. Milton José Cardoso, Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo e Lúcio Flavo Lopes Vasconcelos, pela orientação e ensinamentos para convivência com o mundo científico e confecção deste trabalho;

Aos pesquisadores Dr. Francisco de Brito Melo, Dr. Carlos Cesar Pereira Nogueira, Dr. Marcos Emanuel da Costa Veloso e Dr. Firmino J. V. Barbosa, pelos bons momentos durante o estágio.

Aos funcionários da Embrapa Meio-Norte, Anchieta Fontenele e Francisco das Chagas Sousa (Mandi), pelo apoio na implantação dos experimentos;

Aos professores Disraeli Reis da Rocha e José Crisóstomo Gomes de Oliveira, pela confiança e recomendação ao programa de pós-graduação em Agronomia;

Aos amigos (companheiros) de estágio na Embrapa Meio-Norte: Adilberto Lemos, Eddie Leal, Fábio N. do Nascimento, Márcio Carneiro, Ramilos Brito, Michel Barros e Simone Raquel e;

Aos amigos mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Almerinda, Alyne, Bruna, Elizângela, Fábio, Flávio, Iúna, Josynaria, Lízio, Lusiene, Sávio, Thiago, Francisco Ferreira e Antônio Borges Neto, pelo apoio nos momentos de dificuldades.

Meus eternos agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo geral	16
1.2. Objetivos específicos	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Nomes vulgares, classificação botânica e introdução no Brasil	16
2.2. Importância socioeconômica	17
2.3. Feijão-caupi cultivar BRS Paraguaçu...	18
2.4. Feijão-caupi cultivar BRS Guariba...	19
2.5. Produtividade de grãos verdes de feijão-caupi	19
2.4. Necessidade hídrica	21
2.5. Eficiência do uso de água	23
2.6. Componentes de produção	24
2.7. Índice de área foliar	25
2.8. Potencial hídrico foliar	27
2.9. Teor de clorofila	28
2.10. Função de produção água-cultura	29
2.11. Estratégias ótimas de irrigação	30
3. REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO 1 6 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS VERDES E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS	40
Resumo	41
Abstract	42
Introdução	43
Material e Métodos	45
Resultados e Discussão	48
Conclusões	58

Referências	58
CAPÍTULO 2 6 PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO-CAUPI RELACIONADOS À PRODUTIVIDADE DE GRÃOS VERDES SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS	61
Resumo	62
Abstract	63
Introdução	63
Material e Métodos	66
Resultados e Discussão	68
Conclusões	73
Referências	73
Anexos	77
CAPÍTULO 3 6 ESTRATÉGIAS ÓTIMAS DE IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO- CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES	81
Resumo	82
Abstract	83
Introdução	83
Material e Métodos	86
Resultados e Discussão	93
Conclusões	98
Referências	99
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
ANEXOS	103

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Croqui da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI 46
- Figura 2.** Variação do teor de água no solo para profundidade de 0,00 m a 0,20 m, ao longo do período do 22º ao 56º dias após a semeadura, do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas 47
- Figura 3.** Produtividade de grãos verdes (PG) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009 50
- Figura 4.** Número de vagens verdes por planta (NVP) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009 51
- Figura 5.** Produtividade de vagem verde (PV) (a) e o número de grãos vagem por planta (NVP) (b) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009 52
- Figura 6.** Comprimento médio de vagens verdes (CMV) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009..... 54
- Figura 7.** Eficiência do uso de água para a produtividade de grão verde (EUAPG) (a) e vagem verde (EUAPV) (b) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009 55

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Croqui da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI 77
- Figura 2.** Variação do teor de água no solo para profundidade de 0,00 m a 0,20 m, ao longo do período do 26º ao 56º dias após a semeadura do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas 77

Figura 3. Variação do potencial hídrico foliar, aos 47 dias após a semeadura, das cultivares de feijão-caupi, BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação aplicadas	78
Figura 4. Teor de água disponível no solo, aos 47 dias após a semeadura, das cultivares de feijão-caupi, BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação aplicadas	78
Figura 5. Índice de área foliar (IAF), das cultivares de feijão caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação aplicadas	78
Figura 6. Teor de clorofila total das cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação aplicadas.	79
Figura 7. Produtividade de grãos verdes (PG) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi, Teresina, PI. 2009.	79

CAPÍTULO 3

Figura 1. Croqui da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI	87
Figura 2. Receita líquida por unidade de volume de água aplicada, quando a disponibilidade de água é fator limitante da produção	89
Figura 3. Consumo médio de energia elétrica (CEE) em função das lâminas de irrigação aplicadas	91
Figura 4. Produtividade de grãos verdes (PG) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba..	93
Figura 5. Lâminas de água ótimas (W_o) e equivalentes (W_e) em função do preço do produto das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi	94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI	45
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.....	45
Tabela 3. Resumo de análises de variância do número de vagens verdes por planta em raiz quadrada (RQNVP), comprimento médio vagens verdes (CMV), número de grãos verdes por vagem em raiz quadrada (RQNGV) e do peso de vagens verdes (PV) do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi.....	48
Tabela 4. Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), massa de cem grãos verdes (MCG), eficiência do uso de água para produtividade de grãos verdes (EUAPG) e para vagens verdes (EUAPV) em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi.....	48

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI	76
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI	76
Tabela 3. Estimativa de correlação entre a produtividade de grãos verdes (PG), o índice de área foliar (IAF), teor de clorofila total (TCT) e o potencial hídrico foliar (f), da cultivar feijão-caupi BRS Paraguaçu.....	76

Tabela 4. Estimativa de correlação entre a produtividade de grãos verdes (PG), o índice de área foliar (IAF), teor de clorofila total (TCT) e o potencial hídrico foliar (ψ), da cultivar feijão-caupi BRS Guariba	76
--	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.....	86
Tabela 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.....	86
Tabela 3. Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi.	93
Tabela 4. Estratégias de irrigação, lâminas máxima, ótima e equivalente e respectivas receitas líquidas (RL) com as diferentes combinações de preço do produto (Pc), considerando custo da água (Cw) de US\$ 1,253 (mm ha^{-1}) da cultivar BRS Paraguaçu.	95
Tabela 5. Estratégias de irrigação, lâminas máxima, ótima e equivalente e respectivas receitas líquidas (RL) com as diferentes combinações de preço do produto (Pc), considerando custo da água (Cw) de US\$ 1,253 (mm ha^{-1}) da cultivar BRS Guariba	96

Ramos, Herbert Moraes Moreira. **Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos**. Teresina-PI, 2011. 109f. Dissertação (Trabalho de pós-graduação em agronomia). Comitê de orientação: Dr. Edson Alves Bastos (Orientador), Dr. Aderson Soares Andrade Junior (Co-orientador). Universidade Federal do Piauí.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar as características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi, para grãos verdes, sob diferentes regimes hídricos. Conduziu-se o experimento em área experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, no período de setembro a novembro de 2009. Foram avaliadas cinco lâminas de irrigação, estabelecidas com base em frações das evapotranspiração de referência (25% ETo, 50% ETo, 75% ETo, 100% ETo e 125% ETo) e duas cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Paraguaçu). Aplicou-se a irrigação por meio de um sistema por aspersão convencional fixo. Usou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições e parcelas subdivididas. Determinou-se a produtividade de grãos verdes, os componentes de produção e a eficiência do uso de água para produtividades de grãos verdes e vagens verdes. Avaliou-se o potencial hídrico foliar, o teor de clorofila e o índice da área foliar. Definiram-se as estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes. As máximas produtividades de grãos verdes, 2.937,3 kg.ha⁻¹ (BRS Guariba) e 2.492,9 kg.ha⁻¹ (BRS Paraguaçu), foram obtidas com as lâminas de irrigação de 354 mm e 423 mm, respectivamente. A máxima eficiência de uso da água é atingida com a aplicação da lâmina de irrigação 275 mm e 231 mm para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente. A produtividade de grãos verdes, o potencial hídrico foliar, o índice de área foliar e o teor de clorofila total são influenciados negativamente com a redução das lâminas de irrigação. A produtividade de grãos verdes correlaciona-se positivamente com o potencial hídrico, o índice de área foliar e o teor de clorofila total. As lâminas de irrigação entre 250 mm a 423 mm e entre 238 mm e 354 mm mostraram-se viáveis na faixa de variação de preço do produto entre US\$ 0,75 kg⁻¹ e US\$ 2,00 kg⁻¹, para a cultivar BRS Paraguaçu e entre US\$ 0,50 kg⁻¹ e US\$ 2,00 kg⁻¹, para a cultivar BRS Guariba. A cultivar BRS Guariba mostrou melhor desempenho no que concerne às receitas líquidas e produtividades de grãos verdes quando comparada com a cultivar BRS Paraguaçu.

Palavras chave: *Vigna unguiculata*, manejo de irrigação, componentes de produção, deficiência hídrica e eficiência do uso de água.

Abstract: The aim of this study was to evaluate the productive, physiological and economic characteristics in order to produce cowpea green grain under different water regimes. The experiment was carried out at Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí, in a Red-Yellow Eutrophic soil, from September to November, 2009. Five irrigation depths, based on fraction of reference evapotranspiration (25% ETo, 50% ETo, 75% ETo, 100% ETo e 125% ETo) and two cultivars of cowpea (BRS Guariba and BRS Paraguaçu) were evaluated. Irrigation was applied through a sprinkler system fixed. The experimental design was randomized block with four replications and plots. Grain green yield, yield components and water use efficiency for grain green yield and green pods were determined. Leaf water potential, chlorophyll content, leaf area index and optimal irrigation strategies for green grain yield were evaluated. The maximum green grain yield, 2.937,3 kg.ha⁻¹ (BRS Guariba) and 2.492,9 kg.ha⁻¹ (BRS Paraguaçu) were obtained with de 354 mm and 423 mm, respectively. The water use maximum efficiency is achieved with the application of a water depth 275 and 231 mm for BRS Guariba and BRS Paraguaçu. The green grain yield, leaf water potential, leaf area index and chlorophyll content are influenced negatively by reducing the irrigation levels. Green grain yield correlated positively with, leaf water potential, leaf area index and chlorophyll content. The water depth between 250 mm a 423 mm and between 238 mm and 354 mm showed economic viability , considering prices ranged from \$ 0.75 kg⁻¹ to \$ 2.00 kg⁻¹ for BRS Paraguaçu and from \$ 0.50 kg⁻¹ to \$ 2.00 kg⁻¹, for BRS Guariba. The BRS Guariba showed better productive performance in terms of revenue and net yields of green beans when compared with BRS Paraguaçu.

Key words: *Vigna unguiculata*, irrigation management, yield components, water deficit and water use efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é cultivado, predominantemente, nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Apesar das condições ambientais favoráveis para seu cultivo, apresenta produtividade média de grãos secos de $390 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CONAB, 2009). Esta baixa produtividade é devido a vários fatores, dentre os mais importantes, podem ser citados: o baixo uso de tecnologia pelo pequeno produtor, o não uso de cultivares melhoradas, insumos agrícolas e a forte incidência de fatores bióticos e abióticos indesejáveis, tais como doenças e pragas, secas ou chuvas em excesso, solos pobres, etc., que somados, diminuem bastante a produtividade das lavouras (ROCHA et al., 2007b).

A sensibilidade do feijão-caupi à escassez de água no solo, aliada às incertezas climáticas, principalmente às relacionadas com a distribuição irregular das chuvas contribuem para a baixa produtividade de grãos, bem como a oscilação da produção anual dessa cultura no Piauí, (MOUSINHO et al., 2008).

A planta é classificada como moderadamente tolerante tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo. O requerimento de água desta cultura é variável com o seu estágio de desenvolvimento. 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).

A produção e consumo de feijão-verde representam um mercado altamente promissor para o feijão-caupi, tornando-se uma boa opção de renda para os agricultores familiares (ROCHA et al., 2007b). Por essa razão, tornou-se uma importante fonte de emprego e renda regional. A produção de feijão-verde tem um grande potencial para a expansão do consumo, como também para processamento industrial. Todo o comércio é realizado em forma de vagem ou de grãos debulhados, sem nenhum processamento (FREIRE FILHO et al., 2007).

Atualmente, as pesquisas têm permitido o lançamento de variedades de feijão-caupi que, além de resistentes às doenças, possuem caracteres agrônômicos altamente favoráveis à produção de grãos secos. As cultivares, normalmente, apresentam uma elevada resposta à irrigação e podem ser utilizadas para a produção de grãos secos ou verdes. A produtividade de vagens e grãos frescos tem sido característica mais estudada para esse sistema de produção, (OLIVEIRA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2003).

A cultivar BRS Guariba é recomendada para os estados do Piauí e Maranhão, revelando potencial genético para alta produtividade de grãos secos, (FREIRE FILHO et al., 2006). O genótipo BRS Guariba apresenta alta estabilidade temporal e pode ser indicado para os sistemas de cultivos de sequeiro e irrigado, no município de Teresina ó PI, (ROCHA et al., 2007a).

A cultivar BRS Paraguaçu possui grãos de cor branca, próprios para a fabricação de farinha, preparação de acarajé e abará produtos típicos da culinária baiana, (ALCÂNTARA et al., 2002).

Entretanto, há uma carência de informações sobre o manejo de irrigação que otimize a produção econômica de grãos verdes para essas cultivares. Além disso, é importante se conhecer o efeito de diferentes regimes sobre o crescimento e alguns parâmetros fisiológicos do feijão-caupi. Nesse contexto, propõe-se este trabalho, que está dividido em três capítulos, onde será abordado o efeito de diferentes regimes hídricos sobre a produtividade de grãos verdes (cap I), o potencial hídrico foliar, índice de área foliar e teor de clorofila (cap II), bem como um estudo de viabilidade econômica para a irrigação do feijão-caupi grãos verdes (cap III).

Os artigos científicos apresentados nos capítulos I, II e III estão formatados de acordo com as normas da Revista Ciência Agronômica, Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira e Revista Engenharia Agrícola, respectivamente, para submissão posterior.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características produtivas, fisiológicas e econômicas de feijão-caupi, para grãos verdes, sob diferentes regimes hídricos.

1.2. Objetivos específicos

Avaliar a produtividade de grãos verdes, os componentes de produção e a eficiência de uso da água sob diferentes regimes hídricos das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu.

Avaliar o índice de área foliar, o teor de clorofila total e o potencial hídrico foliar relacionado com a produtividade de grãos verdes em feijão-caupi.

Definir uma estratégia ótima de irrigação que maximize a receita líquida para grãos verdes de feijão-caupi, nas condições de solo e clima de Teresina, PI.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nomes vulgares, classificação botânica e introdução no Brasil do feijão-caupi

A espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp, apresenta vários nomes vulgares no Brasil, sendo conhecida como feijão-de-corda, feijão-macassar ou feijão-caupi na região Nordeste; feijão-da-colônia e feijão-de-praia na região Norte; e feijão-miúdo na região Sul. É também conhecido por

feijão-catador e feijão-gurutuba em algumas regiões da Bahia e Norte de Minas Gerais e de feijão-fradinho nos estados da Bahia e Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2005b).

É uma planta Dicotiledônea que pertence à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolina, gênero *Vigna*, secção Catiang e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (VERDECOURT, 1970; MARECHAL et al., 1978; PADULOSI e NG, 1997) citado por (FREIRE FILHO et al., 2005b).

Steele e Mehra (1980) e Ng e Maréchal (1985) citados por (FREIRE FILHO et al., 2005b.) citam o oeste da África, mais precisamente a Nigéria, como centro primário de diversidade da espécie, entretanto Padulosi e Ng (1997) afirmam que provavelmente a região de Transvaal, na República da África do Sul, é a região de especiação de *V. unguiculata* (L.) Walp.

Acredita-se que o feijão-caupi foi introduzido na América Latina no século XVI, pelos colonizadores espanhóis e portugueses, primeiramente nas colônias espanholas e em seguida no Brasil, provavelmente pelo estado da Bahia (FREIRE FILHO et al., 2005b). A partir da Bahia, o feijão-caupi foi levado pelos colonizadores para outras áreas da região Nordeste brasileiro e para as outras regiões do país.

2.2. Importância socioeconômica do feijão-caupi

A grande produção de feijão-caupi no Brasil encontra-se na região Nordeste, onde constitui um dos principais componentes da dieta alimentar do nordestino, além de ser também um importante gerador de emprego e renda. Segundo Freire Filho et al. (2005b), a área colhida, a produção e a produtividade de grãos do feijão-caupi variam muito de ano para ano em virtude, principalmente, das variações nas condições climáticas. Entre 1993 e 2001, a média anual da área colhida foi de 1.355,18 ha⁻¹, a produção foi de 429.375 t e a produtividade de 317 kg.ha⁻¹. As baixas produtividades dessa cultura estão relacionadas, em grande parte, ao baixo nível tecnológico empregado na maioria dos cultivos. No entanto, nos últimos anos a cultura vem adquirindo maior expressão econômica, e seu cultivo tem sido realizado em áreas irrigadas, onde se empregam tecnologias mais adequadas na produção.

É importante mencionar que essa produtividade não reflete o potencial genético das cultivares melhoradas, sendo decorrente principalmente, dos sistemas de produção adotados, onde, na maioria dos quais não são adotadas práticas visando o manejo de solo, de pragas e nem de doenças.

Admitindo-se que um hectare de feijão-caupi gere um emprego por ano, que o consumo per capita de 18,6 kg e que o valor histórico da saca de feijão-caupi é de US\$ 33,84 estima-se

que, no período de 1993 a 2001, o feijão-caupi tenha gerado, em média, por ano, 1,36 milhões de empregos, produzindo suprimentos alimentar para 23,06 milhões de pessoas, tendo sua produção valorizada em US\$ 242,6 milhões (FREIRE FILHO et al., 2005b).

Esses dados são extremamente importantes, porque refletem a participação da cultura no contexto de geração de emprego, de renda e da produção de alimentos no país e a credencia para receber maior atenção por parte das políticas de abastecimento e por parte dos órgãos de apoio à pesquisa.

2.3. Feijão-caupi cultivar BRS Paraguaçu

Durante o período de 1996 a 1999, a pesquisa oficial do Estado da Bahia, por intermédio da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), desenvolveu em parceria com o Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte (Embrapa Meio-Norte) pesquisas visando identificar linhagens de feijão caupi com características agrônômicas superiores. Após três anos de avaliação, por meio dos ensaios estaduais de caupi foi selecionada a linhagem TE87-98-8G, obtida do cruzamento entre os genótipos BR-10 Piauí X Aparecido Moita, realizado pela Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI. Essa linhagem, devido ao seu potencial produtivo e qualidade de grão, foi indicada para lançamento comercial na Bahia, pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA) por meio da Unidade de Execução de Pesquisa do Paraguaçu, com o nome de BRS Paraguaçu. Essa cultivar possui grãos de cor branca própria para a fabricação de farinha, para preparação de acarajé e abará, produtos típicos da culinária baiana (ALCANTARA et al., 2002).

Em quatro experimentos conduzidos nos municípios de Caetitê e Itaberaba, sob condições de sequeiro, a cultivar BRS Paraguaçu apresentou produtividade média de grãos de 890 kg.ha^{-1} (variando de 677 a 1.260 kg.ha^{-1}), superando a cultivar Monteiro (534 kg.ha^{-1}) em 66,7%, e no sistema irrigado por aspersão via Pivô central nos municípios de Santana e Utinga, produziu em média 1.087 kg.ha^{-1} (variando de 790 a 1.524 kg.ha^{-1}), 19,4% a mais em feijão caupi BRS Paraguaçu no campo relação à Monteiro (910 kg.ha^{-1}) (ALCANTARA et al., 2002).

Benvindo et al. (2010), avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado, concluíram que a cultivar BRS Paraguaçu apresenta potencialidades para o cultivo irrigado. Rocha et al. (2006), avaliando genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes, em Teresina ó PI, concluíram que a cultivar BRS Paraguaçu apresenta melhor adaptação sob cultivo irrigado do que sob cultivo de sequeiro.

2.4. Feijão-caupi cultivar BRS Guariba

O cultivar BRS Guariba foi obtido do cruzamento da linhagem IT85F-2687, introduzida do International Institute of Tropical Agriculture ó IITA, em Ibadan, Nigéria, com a linhagem TE87-98-8G, do Programa de Melhoramento da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI. É um cultivar com ciclo em torno de 70 dias, com planta de porte semi-ereto, grão de coloração branca, com teor de proteína na faixa de 22% e de tamanho médio (peso médio de 100 grãos na faixa de 19,5 g). É recomendado para condições de alta tecnologia (solo corrigido e adubado com base no resultado da análise química do solo) onde, no Estado de Roraima, em avaliações conduzidas nos Campos Experimentais Água Boa, Confiança e Serra da Prata, no período de 2004 e 2005, produziu, em média, 1454 kg ha⁻¹, chegando a produzir 1933 kg ha⁻¹ no Campo Experimental da Água Boa em 2004. Além disso, O cultivar BRS Guariba é resistente ao mosaico transmitido por pulgão (*Cowpea aphid-borne mosaic virus* ó CABMV) e ao mosaico-dourado (*Cowpea golden mosaic virus* ó CGMV), é moderadamente resistente ao oídio (*Erysiphe polygoni* DC.) e a mancha-café (*Colletotrichum truncatum* (Schw. Andrus & Moore)) e é moderadamente tolerante à seca e a altas temperaturas, demonstrando o quanto esse cultivar pode vir a contribuir para o aumento de produtividade do feijão-caupi no Estado (FREIRE FILHO et al., 2004).

De acordo com Rocha et al. (2006), avaliando adaptabilidade e estabilidade da produtividade em grãos de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na região Nordeste, concluiu que o genótipo BRS Guariba expressa melhor potencial genético em ambientes de alta produtividade. Os ambientes mais favoráveis para a produtividade de grãos foram Bom Jesus 2003, Nossa senhora das Dores 2003, São Raimundo das Mangabeiras 2003 e Teresina 2002.

O genótipo BRS Guariba apresenta alta estabilidade temporal e pode ser indicado para os sistemas de cultivos de sequeiro e irrigado, no município de Teresina ó PI, (Rocha et al., 2007b).

ANDRADE et al. (2006), Avaliando genótipos de feijão-caupi de vagem roxa e grãos brancos para produção de feijão-verde, concluiu que o genótipo BRS Guariba apresentaram maior potencial para produção de feijão-verde. De acordo com Freire Filho et al. (2006), o genótipo BRS Guariba é indicada para cultivo na região Meio-Norte do Brasil.

2.5. Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi

O conceito de feijão-verde não está bem claro e, por vezes, é difícil saber a qual tipo de feijão o autor está se referindo. Na verdade, o feijão-verde corresponde às vagens em torno do início da maturidade, ou seja, um pouco antes ou pouco depois do estágio em que as vagens

param de acumular fotossintatos e iniciam o processo de desidratação natural. Esse estágio é fácil de ser reconhecido porque as vagens estão bem entumescidas e começam a sofrer uma leve mudança de tonalidade, quer sejam de cor verde ou de cor roxa. Nesse ponto o feijão é colhido e usado para o consumo ou comercializado na forma de vagem ou de grãos debulhados (FREIRE FILHO et al., 2005a).

A produção e consumo de grãos-verdes representam um mercado altamente promissor para o feijão-caupi, tornando-se uma boa opção de renda para os agricultores familiares (ROCHA et al., 2007b). Por essa razão, tornou-se uma importante fonte de emprego e renda regional. A produção de grãos-verdes tem um grande potencial para a expansão do consumo, como também para processamento industrial. Todo o comércio é realizado em forma de vagem ou de grãos debulhados, sem nenhum processamento (FREIRE FILHO et al., 2007).

Krutman et al. (1971), relataram a possibilidade de congelamento do grãos-verdes, bem como a viabilidade de sua exportação. Isso hoje se traduz na grande possibilidade do feijão alcançar a agroindústria e com isso chegar aos mercados de outras regiões. Nesse trabalho, avaliaram várias cultivares para produção de vagens verdes e grãos secos e obtiveram excelentes produtividades com as cultivares Clay (6.500 kg.ha⁻¹ de vagens verdes) e Alagoas (5.100 kg.ha⁻¹ de vagens verdes). Em outro estudo, Krutman et al. (1973), obtiveram com a cultivar Bitu 4.543 kg.ha⁻¹ de vagens verdes e com a cultivar Seridó 4.435 kg.ha⁻¹ de vagens verdes.

Ferreira e Silva (1987) fizeram um estudo da produtividade de feijão-caupi, avaliando a produtividade de vagens e grãos verdes. Obtiveram produtividades de vagens verdes comparáveis às de Krutman et al. (1971, 1973). As cultivares mais produtivas foram a BR 1-Poty (CNCx27-2E), com produtividade de vagens verdes e grãos verdes respectivamente de 4.639 kg.ha⁻¹ e 2.543 kg.ha⁻¹, e a cultivar EPACE-6 com produtividades respectivamente de 5.118 kg.ha⁻¹ e 2.235 kg.ha⁻¹. Nesse trabalho os resultados mostram que nem sempre a cultivar mais produtiva em termos de vagens verdes é a mais produtiva em termos de grãos verdes.

Silva e Silva (1991) e Silva e Oliveira (1993), estudaram a produtividade de vagens verdes, grãos verdes e grãos secos. Silva e Silva (1991) confirmaram a cultivar BR 1- Poty (CNCx 27-2E) como a mais produtiva nos três caracteres, com produtividades de vagens verdes, grãos verdes e grãos secos respectivamente de 4.097, 2.576 e 1.257 kg.ha⁻¹. Silva e Oliveira (1993), constataram como mais produtivas em termos de grãos verdes, em um experimento, a linhagem CNCx 325-71F/P, com produtividade de 3.920 kg.ha⁻¹ e em outro experimento a linhagem CNCx 105-22D e a cultivar Pitiúba, respectivamente, com 3.246 e 3.327 kg.ha⁻¹.

Ambos os trabalhos mostraram que nem sempre a cultivar mais produtiva em termos de vagens verdes é a mais produtiva em termos de grãos verdes e grãos secos. A não correspondência entre o peso de vagens verdes e o peso de grãos verdes decorre do fato da relação peso grão/peso casca, variar de genótipo para genótipo. A não correspondência entre peso vagem e peso grão seco, além de sofrer a influência da relação peso grão/peso casca, decorre também da diferença entre os processos de colheita, no sistema de produção de vagens verdes, a colheita é feita parceladamente à medida que as vagens vão atingindo a maturidade, prática que pode induzir a planta a ampliar o seu período de floração. Já no sistema de produção de grãos secos as vagens ficam na planta até secar e a colheita é feita em apenas uma ou duas vezes.

Para o mercado de grãos verdes ou vagens verdes, os genótipos preferidos pelos agricultores são aqueles que apresentam porte prostrado a semiprostrado, crescimento indeterminado e maturação não uniforme, o que permite várias colheitas durante a safra, além de alta produtividade. O consumidor prefere vagens roxas ou verdes, grãos brancos ou verdes, fácil cocção e bom sabor e odor. Além disso, o comerciante prefere genótipos que sejam fáceis de debulhar e que apresentem boa conservação pós-colheita (ROCHA et al., 2006).

Alguns estudos têm sido conduzidos, avaliando principalmente a produtividade de grãos e vagens verdes (MIRANDA & ANUNCIÇÃO FILHO, 2001; OLIVEIRA et al., 2002, 2003; NASCIMENTO et al., 2004 e ANDRADE, F. N. et al., 2006). No entanto, outras características diretamente associadas com a produção de feijão-verde têm sido pouco estudadas, como é o caso da facilidade de debulha e conservação pós-colheita (ANDRADE, F. N. et al., 2006).

Comparada a outras culturas, o feijão-caupi tem o seu potencial genético muito pouco explorado, entretanto, já foram obtidas, em condições experimentais, produtividades de grãos secos acima de 3 t/ha (BEZERRA, 1997), a expectativa é que seu potencial genético ultrapasse a 6 t/ha. Há de se reconhecer, entretanto, que para se chegar a esse nível de produtividade é necessário que haja mais investimento em pesquisas na cultura (FREIRE FILHO et al. 2005a).

2.6. Necessidade hídrica

O requerimento de água do feijão-caupi é variável com seus estádios de desenvolvimento, aumentando de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens e decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001). Pode variar de 300 mm a 450 mm durante o ciclo bem distribuído nos diferentes estádios de desenvolvimento sendo dependente da cultivar, do solo e das condições climáticas locais. O

consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

Para as condições edafoclimáticas de Teresina, Lima (1989) encontrou para a variedade BR 10-Piauí valores da ordem de 2,1 mm dia⁻¹ quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento. Durante o período compreendido entre o pleno crescimento, florescimento e enchimento de vagens, seu consumo pode se elevar a 5,0 a 5,5 mm diários, conforme valores relatados por Bezerra & Freire Filho (1984).

Lima (2006), estudando o balanço hídrico no solo cultivado com feijão-caupi, concluiu que a evapotranspiração para o ciclo e média diária foram de 383,02 mm e 4,12 mm, respectivamente. O maior consumo de água ocorreu na fase reprodutiva, com valor médio de 3,65 mm dia⁻¹. Bastos et al. (2008), nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurguéia, PI, observaram consumo hídrico do feijão-caupi de 4 mm dia⁻¹, sendo o estágio reprodutivo (florescimento e enchimento dos grãos) o de maior demanda hídrica (5,4 mm dia⁻¹).

Andrade Júnior et al. (2002) obtiveram rendimentos de grãos de 2.809 kg.ha⁻¹ e 2.103 kg.ha⁻¹ para as cultivares de feijão-caupi, BR-17 Gurguéia e BR-14 Mulato, respectivamente, em experimento realizado no litoral piauiense. Os referidos rendimentos foram obtidos com o emprego de 449,1 mm e 389,9 mm de água, respectivamente. Isso demonstra que o feijão-caupi, quando cultivado com um padrão de tecnologia para obtenção de altas produtividades, é uma planta que responde à lâminas crescentes de irrigação até um ponto de máximo econômico produtivo.

Para a obtenção da máxima produtividade de grãos secos, vários trabalhos (Carvalho et al., 1992 e Azevedo & Miranda, 1996) mostram que as lâminas de irrigação variam de 370 mm a 570 mm com reflexo direto na produtividade de grãos de 1.376 a 2.905 kg.ha⁻¹. Segundo Saunders et al., (1981) e Souza et al. (1986), a lâmina mínima de irrigação requerida para o feijão-caupi cultivado na região semi-árida do Nordeste brasileiro varia de 350 a 400 mm. Leite et al. (1999) acrescentam a importância do conhecimento, do crescimento da cultura em função da água disponível no solo, instrumento fundamental para explicar perdas de produção em condições de déficit hídrico.

Nascimento et al. (2008) alcançaram valores de rendimento de grãos secos da ordem de 1.637 kg.ha⁻¹, para o genótipo de feijão-caupi CNCx 689-128G, com uma lâmina de irrigação de 303 mm. Com aplicação de uma lâmina de irrigação de 300 mm, Lima Filho (2000) alcançou para a cultivar de feijão-caupi Pitiúba rendimento de grãos secos de 1.550 kg.ha⁻¹.

De acordo com Gomide et al. (1998), as respostas das culturas à variação de níveis hídricos têm sido propósito de pesquisas científicas, buscando o aumento na eficiência do uso de água pelas plantas, com vista à otimização das práticas de manejo, bem como ao maior entendimento dos efeitos do déficit hídrico no crescimento e na produção de matéria seca.

2.7. Eficiência do uso de água

Em cultura irrigada e considerando o custo do insumo água na produção, é importante conhecer também a eficiência do uso de água (EUA), obtida pela relação entre a produtividade de grãos e a lâminas de irrigação aplicadas, com o intuito de adotar um manejo que proporcione a máxima produção por unidade de água aplicada (FREIRE FILHO et al. 2005b).

Para a produtividade de grãos do feijão-caupi, Andrade Júnior et al. (2002), avaliando a eficiência do uso de água para a cultivar BR-14 Mulato, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, observaram uma resposta quadrática da eficiência do uso de água, com máxima EUA de $66,1 \text{ kg.m}^{-3}$, com aplicação da lâmina de irrigação de 306,3 mm.

Para as condições de Teresina, PI, Andrade Júnior et al. (2002), observaram para produtividade de grãos secos acima de 2.000 kg.ha^{-1} como a cultivar BR-17 Gurguéia, com aplicação de lâminas de irrigação no intervalo de 362 a 426 mm. A maior eficiência de utilização da água para a produtividade de grãos foi $6,30 \text{ kg.mm}$.

Em relação à produtividade de grãos verdes do feijão-caupi, Andrade Júnior et al. (2002), analisando as cultivares BR-10 Piauí e BR-14 Mulato, nas condições de Parnaíba, PI, para uma variação na lâmina de irrigação no intervalo de 336 mm a 392 mm, a eficiência do uso de água foi superior a $10,6 \text{ kg.mm}$ de água aplicada com produtividade média de grãos verdes superior a 3.000 kg.ha^{-1} . Nas condições de Teresina, PI, os mesmos autores com a cultivar BRS 10- Piauí, no intervalo de lâminas de irrigação de 348,9 mm a 409,2 mm, observaram uma eficiência do uso de água entre 7,21 e $9,12 \text{ kg.mm}$.

Moura et al. (2009), avaliando os efeitos da aplicação de quatro lâminas de irrigação sob o rendimento de grãos do feijão-caupi no Semi-Árido brasileiro, observaram que, apesar de a lâmina 100% ter apresentado maior produção de grãos, quando se analisou o uso eficiente da água, constatou-se que a lâmina 75% mostrou-se mais eficiente, com $31,3 \text{ kg.m}^{-3}$ de água aplicada.

Segundo Chaves et al. (2003), muitas plantas tendem a apresentar aumentos na eficiência do uso da água quando o estresse hídrico é moderado. Segundo esses autores o aumento é

resultado da relação não linear entre a assimilação do carbono e a condutância estomática, isto é, perda de água acontecendo antes e mais intensamente do que a inibição da fotossíntese.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004), quando o estresse hídrico é moderado a eficiência do uso da água pode aumentar. A taxa fotossintética da folha raramente é tão responsiva ao estresse hídrico moderado quanto à expansão foliar, pois a fotossíntese é muito menos sensível ao turgor do que a expansão foliar. Ou seja, mais CO₂ pode ser absorvido por unidade de água transpirada, isto acontece porque o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO₂.

2.8. Componentes de produção

Os componentes de produção comumente observados e avaliados na definição do comportamento de determinada cultivar de feijão-caupi, conforme as lâminas de água aplicadas são: o comprimento de vagem (CV), o peso de 100 grãos (PCG), o número de vagens por plantas (NVP), o número de grãos por vagem (NGV), a relação grãos/vagem (G/V), e a produtividade de grãos verdes e secos (PGV e PGS) e a produtividade de vagens verdes (PVV).

Segundo Andrade Junior et al. (2002), analisando a cultura do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação nas condições do Piauí, o componente de produção que apresentou maior variabilidade positiva em resposta ao aumento de produtividade de grãos foi o número de vagens por planta (NVP).

Nascimento et al. (2004), estudando efeito de níveis de água sobre a produção de vagens e grãos verdes de feijão cultivar IPA 206, em Areia ó PB, identificaram que o número de vagens por planta (NVP) foi o componente de produção mais afetado pelo déficit hídrico, evidenciando ser este um mecanismo importante de tolerância à seca.

Por sua vez, Lima (1996), avaliando o efeito de cinco níveis de água disponível no crescimento e produtividade de grãos do feijão-caupi, observou também que o número de vagens por planta diminuiu com o aumento do estresse hídrico. Para este autor, a redução deste componente parece ser o principal fator de decréscimos na produção de grãos de feijão-caupi.

Segundo Leite et al. (2000), tal comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos de resistência à seca utilizada por esta planta, no sentido de buscar melhores condições para superar a falta de água, produzindo menor quantidade de vagens.

2.9. Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) consiste na relação da área foliar da planta com a área do terreno ocupada pela mesma. Assim, é possível avaliar o crescimento e o desenvolvimento de um cultivo irrigado e de sequeiro com base nesse índice, uma vez que a escassez ou o excesso de água afetam diretamente o desenvolvimento das folhas (MAGALHÃES, 1979).

A área foliar é representada pela superfície fotossinteticamente ativa da planta sendo o crescimento relacionado com a produção vegetal (TURNER, 1979). Vários estudos com plantas cultivadas necessitam do conhecimento de suas áreas foliares em determinada fase de seu desenvolvimento.

A área foliar, de uma maneira geral, apresenta-se como importante parâmetro na determinação da capacidade fotossintética, da densidade ótima de plantio, da relação solo-água-planta, ou em investigações sobre nutrição de várias culturas. Ela relaciona-se com o metabolismo da planta, produção de matéria seca e produtividade (OLIVEIRA, 1977; SEVERINO et al., 2004).

Existem diversos métodos para determinação da área foliar, sendo eles classificados como destrutivos, não destrutivos, diretos ou indiretos. Os métodos diretos ou destrutivos requerem, na sua maioria, o destacamento das folhas e são, por sua vez, impraticáveis em alguns estudos (MARSHALL, 1966).

Considerando a necessidade de utilização de método mais rápido e não destrutivo para determinação da área foliar, muitos pesquisadores estão utilizando o LAI-2000, que é um sensor passivo e desenvolvido para estimar o índice de área foliar (MOREIRA, 2001). Cujo funcionamento foi descrito por Welles & Normam (1991) e que permite amostragens rápidas e não-destrutivas. Esse aparelho é constituído de uma unidade de controle e de um sensor em formato de barra articulada. Na ponta da barra, existe um conjunto de lentes, tipo olho de peixe, que projetam a imagem hemisférica de baixo para cima do dossel, por meio de detectores de sílica. A técnica combina medidas tomadas com o sensor acima do dossel (I_o) com medidas tomadas sob o dossel, próximas ao nível do solo (I). A partir dessas medidas, a inversão de um modelo de transferência de luz permite o cálculo do IAF (Welles & Normam, 1991).

A área foliar pode ser reduzida pela deficiência hídrica. Segundo Denadai e Klar (1995), o menor teor de água nos solos reduz o potencial total de água na folha, diminuindo o seu componente de pressão, responsável pelo turgor celular e crescimento das folhas.

Para Fancelli e Dourado Neto (2005), o déficit hídrico limita a alongação e a divisão celular, implicando menor crescimento e menor área foliar. Entretanto, a umidade excessiva do

solo pode induzir clorose generalizada na planta, afetando diretamente o desenvolvimento foliar (FANCELLI e DOURADO NETO, 1999). Elevado teor de água no solo pode favorecer um intenso desenvolvimento vegetativo da cultura e valores de IAF excessivamente altos. Isso implica menor disponibilidade de luz para a planta em virtude do auto-sombreamento, o que reduz a eficiência fotossintética e a produtividade de grãos.

Segundo Fernández et al. (1996), são as folhas que determinam o uso da água pelas plantas e sob efeito de déficit hídrico, as plantas reduzem sua área foliar. Quando a área foliar é restringida, a quantidade de biomassa seca produzida é menor, uma vez que o aproveitamento da energia luminosa é alterado em consequência da diminuição da superfície responsável pela interceptação da radiação luminosa (NOGUEIRA, 1997).

A formação do dossel da cultura desempenha papel importante em seu rendimento, interceptando a radiação solar, influenciando, sobremaneira, nos processos fotossintéticos e de transpiração da cultura, além de evitar o aparecimento de ervas daninhas, sendo, portanto, fatores cruciais na determinação do rendimento final da cultura (SMIT e SINGELS, 2006).

Lima Filho (2000), Bastos et al. (2002) e Freire Filho et al. (2005b) encontraram valores máximos de IAF variando de 2,8 a 4,3 para a cultura do feijão-caupi. O IAF acima de 3 representa para o feijão-caupi máximo desenvolvimento do dossel, possibilitando uma maior interceptação de luz solar, resultando em maior taxa fotossintética líquida (SUMMERFIELD, 1985).

A redução da área foliar em plantas sob déficit hídrico pode-se traduzir numa estratégia de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível à transpiração (CORREIA e NOGUEIRA, 2004). Dois mecanismos morfofisiológicos que a cultura apresenta para evitar a seca são o enrolamento foliar (reduzindo a projeção de área foliar, e, por conseguinte, a radiação incidente) e o fechamento estomático, limitando a transpiração (LISSON et al., 2005).

Esses mecanismos podem variar, consideravelmente, podendo ser correlacionado com a tolerância à seca (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005), daí a importância do estudo em variedades específicas. Entretanto, a influência do déficit hídrica nesse fator não é amplamente investigada.

Inman-Bamber (2004) ressalta que o tempo de exposição à seca afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo, a produção de folhas, acelerando a senescência foliar da planta, podendo, ainda, levar a uma redução na interceptação da radiação solar, na eficiência do uso da água e na fotossíntese, bem como ao aumento da radiação transmitida para a superfície do solo.

A planta tem que equilibrar a necessidade de conservar água e assimilar CO₂ atmosférico, fazendo com que a área foliar desempenhe papel importante na difusão do dióxido de carbono e no vapor de água entre os estômatos.

2.10. Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (ψ_f) mede o estado de energia da água nas plantas e é mensurada por meio de uma metodologia simples descrita por Scholander et al. (1965). Para avaliar o grau de déficit hídrico de uma planta é comum utilizar-se de variáveis relacionadas às folhas, como o conteúdo relativo de água foliar e o potencial hídrico, sendo este último o mais utilizado em estudos fisiológicos (ANGELOCCI, 2002).

O potencial de água da folha, bem como o conteúdo relativo de água é reduzido com o declínio da disponibilidade de água do solo (KRAMER e BOYER 1995; LAWLOR e CORNIC, 2002), levando à perda da turgescência e ao fechamento estomático (MANSUR e BARBOSA, 2000).

As relações hídricas das plantas têm sido investigadas por diversos autores sob condições de deficiência hídrica, por meio do potencial hídrico foliar e conteúdo relativo de água na folha. Hsiao (1973) relata que o potencial hídrico foliar é aceito como medida indicadora das condições hídricas do vegetal, e segundo o mesmo autor a redução do ψ_f durante o déficit hídrico, quando comparado ao controle irrigado, pode ser correlacionado com a produtividade.

Quanto menor a quantidade de água no solo, mais negativo deve ser o potencial desenvolvido pelos vegetais (LARCHER, 2000), formando um gradiente que favoreça a absorção de água pelas plantas. Este autor comenta que os valores médios de potencial hídricos, indicados para os diferentes grupos de plantas, dependem do tipo de solo (textura e tamanho dos poros do solo) e do tipo de vegetação, podendo ser ainda menores devido à adaptação das plantas em relação à deficiência hídrica.

Segundo Boyer (1978), os valores aproximados de potenciais de água letais variam de -1,4 a -6,0 MPa, sendo que para o feijão-caupi está entre -1,5 a -2,5 MPa, classificando-o como planta moderadamente tolerante ao déficit de água no solo. Ferreira et al. (1991) verificaram ψ_f de -1,2 e -1,3 MPa, para os tratamentos irrigados e estressados na fase vegetativa, respectivamente. Costa et al. (1997), trabalhando com três cultivares de caupi, verificaram que a deficiência hídrica determinou reduções expressivas no potencial hídrico foliar (ψ_w) das três cultivares estudadas. Na fase vegetativa houve redução de -0,25 MPa para -1,1 MPa, para as controle e estressadas, respectivamente, e na fase reprodutiva, redução de -0,25 a -1,21 MPa.

Vale ressaltar que estes valores podem variar em razão de diversos fatores, tais como a fase de desenvolvimento; as condições climáticas; a cultivar e os horários em que são determinados (NOGUEIRA et al., 1998).

2.11. Teor de clorofila

Clorofila é o pigmento que dá cor verde às plantas, absorve todos os outros comprimentos de ondas e reflete os comprimentos de ondas da cor verde. A clorofila é um composto com estrutura chamada porfirina, que é a mistura de duas substâncias: a clorofila A (verde azulada) e a clorofila B (verde amarelada).

Segundo Taiz & Zeiger (2004), as clorofilas localizam-se nos cloroplastos, sendo esta organela o local da fotossíntese, a qual possui duas reações importantes: a *fotoquímica*, nas membranas dos tilacóides e a *bioquímica*, no estroma do cloroplasto. Tais organelas, além das clorofilas, contêm outros pigmentos denominados de acessórios, tais como os carotenóides (carotenos e xantofilas). As moléculas de clorofila têm a capacidade de transformar os raios de luz em energia química, por meio do processo de fotossíntese (SANTOS & CARLESSO, 1998). As plantas são transformadoras primárias de energia solar e sua eficiência é fator determinante na produtividade agrícola.

O déficit hídrico caracteriza-se como um dos estresses ambientais responsáveis pela perda de pigmentos nas folhas, fazendo com que o ciclo de vida da planta seja alterado. Em adição, a relação entre clorofila *a* e *b* em plantas terrestres pode ser usada como indicativo de resposta ao sombreamento e a senescência prematura, e a relação entre clorofila e carotenóides é usada em menor proporção para diagnosticar a taxa de senescência sob estresse hídrico (HENDRY & PRICE, 1993).

Segundo Engel & Poggiani (1991), a eficiência fotossintética está ligada ao teor de clorofila das plantas, afetando o crescimento e influenciando a adaptabilidade das mesmas aos diversos ambientes. De acordo com Lee (1988), estudos realizados evidenciaram que o teor de clorofila varia muito entre as espécies, assim como entre genótipos de uma mesma espécie. Nessa situação, estudos que visam à seleção de variedades que apresentem tolerância aos estresses abióticos constituem-se em uma alternativa viável para aumentar a produtividade.

A clorofila, principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa utilizada no processo de fotossíntese, constitui um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética de plantas e conseqüentemente ao crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes.

O medidor portátil de clorofila permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem, no entanto, destruí-la, fazendo com que tal método seja caracterizado pela simplicidade e rapidez, possuindo grande correlação com valores obtidos em laboratórios, além de possibilitar uma avaliação não destrutiva do tecido foliar (FALKER, 2008).

Assim, parâmetros fisiológicos, como medida indireta do teor de clorofila nas folhas podem ser utilizados como ferramenta para diagnosticar a integridade do aparato fotossintético quando as plantas estão submetidas a adversidades ambientais, tendo em vista que são técnicas rápidas, precisas e não destrutivas (VAN DEN BERG & PERKINS, 2004; TORRES NETO et al., 2005).

2.12. Função de produção água-cultura

A produtividade das culturas agrícolas é determinada pela interação entre os vários fatores relativos ao solo, à planta e à atmosfera. A relação de dependência entre esses fatores e a produção das culturas é denominada de função de produção, sendo específicas da condição ambiental (FREIRE FILHO et al., 2005a).

No caso específico da resposta das culturas à irrigação, a produtividade pode ser expressa exclusivamente pela água utilizada no cultivo, desde que os demais fatores da produção permaneçam fixos, em níveis ótimos (FRIZZONE, 1998). Essa relação funcional produtividade versus água denomina-se função de produção água-cultura.

O conhecimento das funções de produção água-cultura é fundamental para a quantificação dos benefícios econômicos e o planejamento da irrigação. Constituem o elemento básico da decisão dos planos de desenvolvimento e, relativamente à operação de projetos de irrigação, permitindo decidir sobre os planos ótimos de cultivos e ocupação da área para produção econômica com base na água disponível (FRIZZONE, 1998).

De acordo com Andrade Júnior et al. (2001), um dos elementos básicos para estudos econômicos relativos ao planejamento de irrigação, é a função de resposta da cultura à água. Segundo os autores, a questão é obter a solução ótima para determinada combinação insumo-produto, que possa maximizar a receita líquida do irrigante.

A maneira de expressar as funções de produção água-cultura é relacionar as lâminas de irrigação aplicadas por estádios de desenvolvimento da cultura, evapotranspiração, tensão ou conteúdo de água no solo versus produtividade (BERNARDO, 1998).

No Brasil, existem poucos trabalhos de obtenção de funções de produção água-cultura para várias culturas, nas diversas regiões (BERNARDO, 1998). Para a cultura do feijão-caupi, vários

trabalhos determinaram os efeitos de lâminas de irrigação sobre a produtividade e componentes de produção (Silva, 1978; Aguiar, 1989; Espínola et al., 1992; Andrade Junior et al., 1999; Lima et al., 1999; Rodrigues et al., 1999). Além disso, de uma maneira geral, as funções de produção obtidas são muito pouco exploradas do ponto de vista agroeconômico (FREIRE FILHO et al., 2005a).

2.13. Estratégias ótimas de irrigação

Segundo FRIZZONE (2004), a irrigação como forma de atender plenamente a demanda de água da cultura é uma questão relativamente simples e claramente definida, com um objetivo único de suplemento hídrico. Entretanto, mudança fundamental deverá ocorrer na prática da irrigação nos próximos anos, em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo uso da água e dos impactos ambientais decorrentes da irrigação. Tais fatores deverão motivar mudança de paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que a demanda de água da cultura.

Este novo enfoque com caráter maior de otimização considera explicitamente aspectos econômicos, como custos e lucros, que não são normalmente considerados no manejo tradicional da irrigação, que tem sido geralmente praticado objetivando maximizar a produtividade. Segundo FIGUEIREDO et al. (2008), no entanto, irrigar visando maximizar o lucro é um problema substancialmente mais complexo e desafiador que irrigar buscando o máximo rendimento físico. Para os autores, uma irrigação ótima, sob o foco econômico, implica na aplicação de menores lâminas em relação à irrigação plena, mesmo que permitindo-se alguma conseqüente redução de produtividade, mas com alguma vantagem econômica significativa. Tais benefícios potenciais advêm de três aspectos principais: aumento da eficiência da irrigação; redução dos custos da irrigação e redução dos riscos associados aos impactos ambientais vindos da irrigação plena.

Segundo FRIZZONE & ANDRADE JÚNIOR (2005), a definição de estratégias ótimas de irrigação, com base na análise econômica de funções de produção, pode considerar duas situações: (a) A disponibilidade de terra é o único fator limitante da produção. Neste caso, a água pode ser adquirida e aplicada a um custo unitário constante. A regra de otimização agroeconômica preconiza que a lâmina aplicada deva maximizar a receita líquida por unidade de área e (b) A disponibilidade de água é o único fator que limita a produção. A quantidade de terra é relativamente abundante e não limitante. O objetivo da otimização é atingir a máxima receita líquida por unidade de volume de água, deixando alguma área sem irrigar.

Segundo FIGUEIREDO et al. (2008), na literatura podem ser identificadas várias alternativas para definir o manejo ótimo da irrigação podendo-se classificá-las em dois grupos: (a) pelo aumento da eficiência técnica ou seja, maximizar a produtividade por unidade de volume de água aplicada. Neste caso, o aumento da eficiência técnica pressupõe produzir o máximo com menor uso de água, sendo este objetivo alcançado com a redução das perdas de água com a melhoria das estruturas de condução e distribuição de água e das técnicas de manejo da irrigação; (b) pelo aumento da eficiência econômica. O aumento da eficiência econômica significa obter o máximo retorno econômico por unidade de área cultivada ou por unidade de volume de água utilizada, dependendo da escassez relativa desses recursos. Enquanto a disponibilidade de terra for escassa em relação à água, o objetivo deverá ser selecionar a quantidade de irrigação que maximize a receita líquida por unidade de área. Por outro lado, sendo a água restrita em relação à terra, o objetivo deverá ser maximizar a receita líquida por unidade de volume de água.

Quando a água se constitui fator limitante à produção agrícola, a utilização de irrigação com déficit hídrico no solo permite maior retorno econômico do que a irrigação completa (ENGLISH, 1990). A definição de um intervalo de manejo de irrigação, a partir de uma função de produção conhecida, permite a utilização racional da irrigação com déficit. A definição deste intervalo de manejo de irrigação considerando os fatores econômicos (tais como custos e lucros) pode ser definida como estratégias ótimas de irrigação.

3. REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, J. dos P.; MONTEIRO, I. D.; VASCONCELOS, O. L.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. BRS Paraguaçu, novo cultivar de caupi de porte "enramador" e tegumento branco para o Estado da Bahia. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 49, n. 286, p. 695-703, 2002.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.17-20, 2002.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RODRIGUES, B. H. N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p.301-305, fev.2001.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M. de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108p. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2). Editor Técnico: Valdenir Queiroz Ribeiro.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. de M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de vagem roxa e grãos brancos para feijão-verde. 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).
- ANGELOCCI, L. R. **Água na Planta e Trocas Gasosas/Energéticas com a Atmosfera: Introdução ao Tratamento Biofísico**, Edição do Autor, Piracicaba; ESALQ/USP, 268 p. 2002.
- AZEVEDO, J. A.; MIRANDA, L. N. Produtividade do feijão em resposta à adubação fosfatada e regimes de irrigação em solo de Cerrado. II - Manejo da irrigação. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 22, 1996, Manaus. **Resumos Expandidos...** Manaus: Editora da Universidade do Amazonas, 1996. p.12-13.
- BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2. p. 182-190, abr/jun. 2008. 1 CD-ROM.
- 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**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 43-50, 2002.
- BENVINDO, R. N.; SILVA, J. A. L. da; FREIRE FILHO, F. R.; ALMEIDA, A. L. G. de; OLIVEIRA, J. T. S.; BEZERRA, A. A. de C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 1 p. 23-28, 2010. Disponível em: <<http://www.ufpi.br/comunicata.htm>>. Acesso em 28 nov. 2010.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1989. p.137-268.

- 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. 105p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, PE.
- BEZERRA, J. R. C.; FREIRE FILHO, F. R. Evapotranspiração da cultura do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no município de Teresina-Piauí. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PIAUÍ, 3., 1982, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1984. p. 304-324.
- BOYER, J. S. Water deficits and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth.** New York: Academic, 1976. v. 4, p.153-190.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. imbabello. **Scientia Agricola.** v. 55, n. 3 p. 485-497. 1998.
- CARVALHO, A. M. de; SILVA, A. M. da; COSTA, E. F. da; COUTO, L. Efeitos de lâminas de água e épocas de parcelamento de nitrogênio em cobertura via fertirrigação no rendimento de grãos do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 9, 1992, Natal. **Anais...** Fortaleza: ABID, 1992. p.767-789.
- CONAB. Oitavo levantamento de avaliação da safra 2008/2009. Brasília, 2009. 22p. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra8levantamentomai2009.pdf> >. Acesso em: 30 out. 2009.
- CORREIA, K. G.=NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Belo Horizonte, v.4, n.2, 2004. Disponível em:<<http://www.ihendrix.br/biologia/revista.htm>> Acesso em: 02 dez. 2010.
- COSTA, M. M. M. N.; TAVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N. de; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido a deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.43-50, jan.1997.
- DENADAI, I. A. M.; KLAR, A. E. Resistência à seca em quatro cultivares de trigo: parâmetros fisiológicos. **Science Agrícola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.274-281, 1995.
- EHLERS, J. D.; Hall, A. E. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.53, n.1-3, p.187-204, 1997.
- ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.
- ENGLISH, M. J. Deficit irrigation. I. Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.116, n.3, p.339-412, 1990.
- FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030).** Porto Alegre, Falker Automação Agrícola. Ver. B. 2008. 33p.

FANCELLI, A. L.= DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In.:FANCELLI, A. L.= DOURADO NETO, D. (ed.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: p. 155-169, 1999.

FANCELLI, A. L.=DOURADO NETO, D. Cultura do feijoeiro: estresse e produtividade. In: FANCELLI, A. L., DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado, tecnologia e produtividade**. Piracicaba: Esalq/Usp, 2005.

FERNÁNDEZ, C. J.=McINNES, K. J.=COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and-nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, p.1224-1233, 1996.

FERREIRA, J. M.; SILVA, P. S. L. e. Produtividade de feijão verde e outras características de cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.1, p.55-58, 1987.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. de. Estresse hídrico nas fases vegetativas e reprodutivas de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.7, p.1049-1055, 1991.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, S. M. de S. e; SITTOLIN, I. M. **BRS Guariba nova cultivar de feijão-caupi para a Região Meio-Norte**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 1 Folder.

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

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos. **Melhoramento genético**. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005b. p. 28-92.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. D. M.; BRIOSSO, P. S. T.; RIBEIRO, V. Q. BRS Guariba: white-grain cowpea cultivar for the mid-north region of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 6, n. 2, p. 175-178, June 2006.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. de F. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p.286-290, jul./set. 2007.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. (Ed.). **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio Norte, 2005. 627p.

FRIZZONE, J. A. Função de produção. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELLA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Ed.). **Manejo da irrigação**. Lavras: UFLA/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.86-116.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 1993. 42p. (Ler. Série Didática, 6).

- GOMIDE, R. L.; MAGALHAES, P. C.; WAQUIL, J. M.; FERREIRA, W. P. Avaliação do estresse hídrico em cultivares de milho e sorgo por meio de um gradiente contínuo de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife, PE. Globalização e segurança alimentar - **resumos** Recife: ABMS, 1998. p.290. CD-ROM.
- HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Ed.). **Methods in comparative plant ecology: a laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1993. p.148-152.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.
- INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.89, p.107-122, 2004.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n.2, p.185-202, 2005.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.
- KRUTMAN, S.; LOPES, M. D.; MOURA II, R. J. de M.; BASTOS, E. G. Indicação para o feijoeiro de macaçar - *Vigna simensis* L. na Zona da Mata do Nordeste (I). **Pesquisa Agropecuária do Nordeste**, v.3, n.2, p.63-74, 1971.
- KRUTMAN, S.; MEDEIROS, L. C.; SANTANA, J. C. F. da. Indicação para o feijoeiro de macassar - *Vigna simensis* L. em Surubim na Zona do Agreste. **Pesquisa Agropecuária do Nordeste**, v.5, n.1, p.5-12, 1973.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. e FRANCO. A. C. São Carlos, RiMa, 2000. 533p.
- LAWLOR D. W.; CORNIC G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Hoboken, v.25, p.275-294, 2002. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com>>. Acesso em: 17 abr. 2010.
- LEE, D. W. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: Juvenile growth in three vines in India. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, 4:281-92, 1988.
- LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; MISCHAN, M. M.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cv, EMAPA821. II ó Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.74, n.3, p.351-370, 1999.
- LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.
- LI-COR. **LAI-2000 plant canopy analyzer**: Instruction manual (Nebraska-Li-Cor). 1992. 166 p.

- LIMA FILHO, J. M. P. Physiological responses of maize and cowpea to intercropping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 5, p. 915-921, 2000.
- LIMA, G. P. B. Crescimento e produtividade do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4., 1996, Teresina. **Resumos...** Teresina: CNPAMN/ EMBRAPA, 1996. p.41-43.
- LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, p. 89-95, 2006.
- LIMA, M. G.; Evapotranspiração da cultura do feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: SBA, p.275-282, 1989.
- LISSON, S. N.; INMAN-BAMBER, N. G.; ROBERTSON, M. J.; KEATING, B. A. The historical and future contribution of crop physiology and modelling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.92, p.321-335, 2005.
- MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. in: **Fisiologia Vegetal**. FERRI, M. G. (ed.) Editora Pedagógica Universitária. São Paulo. p.117-180, 1979.
- MANSUR, R. J. C. N.; BARBOSA, D. C. A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, Buenos Aires, n. 68, p. 97-106, 2000.
- MARSHALL, J. K. Methods of leaf area measurement of large and small leaf samples. **Photosynthetica**, Praha, v.2, p.41-47, 1968.
- MIRANDA, P.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J. da. Competição de linhagens de caupi de grãos verdes. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 5, 2001, Teresina. **Avanços tecnológicos no feijão caupi: Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2001. p. 195-198. (Embrapa Meio-Norte. Documento, 56).
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.
- MOUSINHO, F. E. P. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no Estado do Piauí. 2005**. 125p. Tese (Doutorado). Piracicaba, SP. Universidade de São Paulo.
- MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.
- NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.174-177, abril-junho 2004.

- NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. **Rendimento de grãos de feijão-caupi sob irrigação.** In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2008, São Mateus. O equilíbrio do fluxo hídrico para uma agricultura irrigada sustentável. São Mateus: ABID, 2008
- NOBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRAO, N. E. de M.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.437-443, 2001.
- NOGUEIRA, R. J. M. C. 1997. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D. C.).** Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 205p.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. dos; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, V. F. dos. Comportamento fisiológico de dois cultivares de amendoim submetido a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p.1963-1969, 1998.
- OLIVEIRA, A. P. de; ARAUJO, J. S.; ALVES, E. U.; NORONHA, M. A. S.; CASSIMIRO, C. M.; MENDONÇA, F. G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.1, p.81-84, mar. 2001.
- OLIVEIRA, A. P. de; SILVA, V. R. F.; ARRUDA, F. P. de; NASCIMENTO, I. S. do; ALVES, A. U. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 77-80, jan./mar. 2003.
- OLIVEIRA, J. P. Método não destrutivo para determinação da área foliar do feijoeiro caupi, *vigna sinensis* (L) savi, cultivado Em casa de vegetação. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.7, n.12, p.53-57, 1977.
- OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.2, p.71-76, 2007.
- OLIVEIRA, A. P. de; TAVARES SOBRINHO, J.; NASCIMENTO, J. T.; ALVES, A. U.; ALBUQUERQUE, I. C. de; BRUNO, G. B. Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, p. 180-182, jun. 2002.
- PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B .B.; MOHAN, R.; DASHIELL, K. E; JACKAI, L. E. N., eds. **Advances in Cowpea Research**. Tsukuba; IITA JIRCAS, 1997. p.1-12.
- QUIN, F. M. Introduction. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: IITA-JIRCAS, 1997. p. 9-15.
- ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. Q.; ANDRADE, F. N.; GOMES, R. L. F. **Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 16 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 67).

ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L. de; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J. A. A.; ALCÂNTARA, J. dos P.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. de F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.9, p. 1283-1289, set. 2007b.

ROCHA, M. de M.; SOARES, M. da C.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. Q. Avaliação preliminar de genótipos de feijão-caupi para feijão-verde. **Revista Científica Rural**, Bagé, RS, v. 12, n. 1, p. 153-156, 2007a.

SANTOS R. F. CARLESSO R. Déficit Hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SAUNDERS, L. C. U.=DE CASTRO, P. T.=BARBOSA, C. E.=MATIAS F. J. Dinâmica da água no solo com a cultura do feijão de corda (*Vigna sinensis* (L) Savi), em Aluvião Eutrófico. **Ciências Agrônômica**, Fortaleza, v.12, p.141-148, 1981.

SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S.; SANTOS, J. W. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 753-762, 2004.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.

SILVA, K. M. B. E; SILVA, P. S. L. e. Produtividade de grãos verdes e secos de milho e de caupi. **Horticultura Brasileira** v.9, n.2, p.87-89, 1991.

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

SOUZA, F. de=NOGUEIRA, L.=MACÊDO, S. M. C.=TEIXEIRA, A. S. **Manejo d'água em áreas irrigadas**: Determinação da Eficiência e Uniformidade de Distribuição da Água. In: **Relatório Anual PDCT/O3**, Fortaleza, pág. 6, 1986.

SUMMERFIELD, R. J.=PATE, J. S.=ROBERTS, E.H.=WIEN, H. C. The physiology cowpea. In: SINGH, S. R.=RACHIE, K. O. (Eds.). *Cowpea research, production and utilization*. **Chichester**: John Wiley, p.66-101, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p. il.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104 p. 199-209, 2005.

TURNER, N. C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: MUSSEL, H.; STAPLES, R. C. (Ed.). **Stress physiology in crop plants**. New York: Wiley Interscience, 1979. p. 468-478.

VAN DEN BERG, A. K.; PERKINS, T. D. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. **Forest Ecology and Management**, 200, p. 113-117, 2004.

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

WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 5, p.818-825, 1991.

CAPÍTULO I

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS VERDES E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS¹

¹Manuscrito a ser enviado à revista Ciência Agronômica.

1 **Produtividade de grãos verdes e eficiência do uso de água do feijão-caupi sob diferentes**
2 **regimes hídricos**¹

3
4 **Green grain yield and water use efficiency of cowpea under different water regimes**

5
6 **Herbert Moraes Moreira Ramos**^{*2} **Edson Alves Bastos**³; **Milton José Cardoso**³; **Valdenir**
7 **Queiroz Ribeiro**³ & **Fábio Nunes do Nascimento**

8
9 **Resumo** - No Meio-Norte do Brasil, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) possui uma
10 grande importância sócio-econômica. Atualmente, as pesquisas têm permitido o lançamento
11 de cultivares de feijão-caupi para a produção de grãos secos, que apresentam uma elevada
12 resposta à irrigação. Entretanto, há carência de informações sobre o manejo de irrigação do
13 feijão-caupi visando à produção de grãos verdes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a
14 produtividade de grãos verdes, os componentes de produção e a eficiência do uso da água do
15 feijão-caupi, sob diferentes regimes hídricos. Conduziu-se o experimento em área
16 experimental na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, em um Argissolo Vermelho-
17 Amarelo Eutrófico, no período de setembro a novembro de 2009. Utilizaram-se as cultivares
18 BRS Guariba e BRS Paraguaçu. Foram aplicadas cinco lâminas de irrigação, com base em
19 frações da evapotranspiração de referência (25% ETo, 50% ETo, 75% ETo, 100% ETo e
20 125% ETo). Usou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro
21 repetições e parcelas subdivididas. Aplicou-se a irrigação por meio de um sistema por
22 aspersão convencional fixo. As máximas produtividades de grãos verdes, 2.937,3 kg.ha⁻¹

¹Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor;

²Programa de Pós-graduação em Agronomia/UFPI; Caixa Postal 12.168, 64049-550, Teresina- PI, Brasil, moreiramos@uol.com.br ;

³Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, Brasil, edson@cpamn.embrapa.br, milton@cpamn.embrapa.br , valdenir@cpamn.embrapa.br

⁴Programa de Pós-graduação em Agronomia/UFPI; Teresina- PI, Brasil, nunesf.nascimento@gmail.com

23 (BRS Guariba) e 2.492,9 kg.ha⁻¹ (BRS Paraguaçu), foram obtidas com as lâminas de irrigação
24 de 354 mm e 423 mm, respectivamente. A eficiência de uso da água para a produtividade
25 máxima de grãos verdes é atingida com as lâminas de 275 mm e 231 mm, para as cultivares
26 BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente. A produtividade de grãos verdes e vagens
27 verdes, o número de vagens verdes por planta, o comprimento médio vagens verdes e o
28 número de grãos verdes por vagem são influenciados com a redução das lâminas de irrigação.

29

30 **Palavras-Chave** - *Vigna unguiculata*. Feijão-verde. Lâminas de irrigação. Déficit hídrico.

31

32 **Abstract** - In the Mid-North Brazilian region, the cowpea bean (*Vigna unguiculata* (L.)
33 Walp) has a great socioeconomic importance. Currently, researches have allowed the release
34 of cultivars of cowpea for the production of dry grains, which present a high response to
35 irrigation. Nevertheless, there has been a lack of information on the cowpea irrigation
36 management aiming at the yield of green grains. The objective of this work is to evaluate the
37 yield of green grains, the yield components and the water use efficiency of cowpea, under
38 different water regimes. The experiment was carried out at EMBRAPA [Brazilian
39 Agricultural Research Corporation] Meio-Norte, in Teresina city, Piauí State, in a eutrophic
40 red-yellow argisol, from September to November 2009. The cultivars BRS Guariba and BRS
41 Paraguaçu were used. Five irrigation depths were applied, based upon reference
42 evapotranspiration fractions (25% ETo, 50% ETo, 75% ETo, 100% ETo and 125% ETo). The
43 experimental randomized blocks design was used with four repetitions and split-plot
44 arrangements. The irrigation was applied through a conventional fixed sprinkling system. The
45 maximum yields of green grains, 2,937.3 kg.ha⁻¹ (BRS Guariba) and 2,492.9 kg.ha⁻¹ (BRS
46 Paraguaçu), were obtained with 354 mm and 423 mm, respectively. The water use efficiency
47 for the maximum yield of green grains is accomplished with the 275mm and 231mm for BRS
48 Guariba and BRS Paraguaçu cultivars, respectively. The yield of green grains and and the

49 number of green pods per plant, the average length of green pods, the number of green grains
50 per pod and weight of green pods are negatively influenced by the reduction of the water
51 depth.

52

53 **Key words** - *Vigna unguiculata*. Green bean. Water depth. Water deficit.

54

55 **Introdução**

56 A produção e o consumo de feijão-verde representam um mercado altamente promissor
57 para o feijão-caupi, tornando-se uma boa opção de renda para os agricultores familiares
58 (ROCHA et al., 2007a). Por essa razão, tornou-se uma importante fonte de emprego e renda
59 regional. A produção de feijão-verde tem um grande potencial para a expansão do consumo,
60 como também para processamento industrial, especialmente, quando produzido na
61 entressafra, ocasião em que o produto alcança elevados preços no mercado. Todo o comércio
62 é realizado em forma de vagem ou de grãos debulhados, sem nenhum processamento
63 (FREIRE FILHO et al., 2007).

64 Atualmente, as pesquisas têm permitido o lançamento de variedades de feijão-caupi
65 que, além de resistentes às doenças, possuem caracteres agronômicos altamente favoráveis à
66 produção de grãos secos. As cultivares, normalmente, apresentam uma elevada resposta à
67 irrigação e podem ser utilizadas para a produção de grãos secos ou verdes. As produtividades
68 de vagens e grãos verdes são as características mais pesquisadas para esse sistema de
69 produção (OLIVEIRA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2003).

70 A cultura do feijão-caupi responde de forma diferente, em termos de produtividade de
71 grãos e de componentes de produção, a depender das cultivares utilizada e das condições
72 climáticas da região explorada, o que tem sido demonstrado pelos resultados de diversos
73 trabalhos executados em ecossistemas distintos. Porém, poucos foram os trabalhos de análise

74 dos efeitos da aplicação de lâminas de irrigação sobre a produtividade de grãos verdes e
75 componentes de produção de grãos verdes do feijão-caupi.

76 Segundo Andrade Júnior et al. (2002), analisando a cultura do feijão-caupi sob
77 diferentes lâminas de irrigação em experimento realizado no Litoral Piauiense, obtiveram
78 rendimentos de grãos secos de 2.809 kg.ha⁻¹ e 2.103 kg.ha⁻¹ para as cultivares de feijão-caupi,
79 BR-17 Gurguéia e BR-14 Mulato, respectivamente. As cultivares de feijão-caupi testadas
80 responderam diferentemente à aplicação das lâminas de irrigação, no que diz respeito ao
81 número de vagens por planta e à produtividade de grãos secos.

82 Segundo Bezerra et al. (2003), avaliando o feijão-caupi para produção de grão secos
83 cultivar Epace-11, sob déficit hídrico em suas fases fenológicas, no município de Fortaleza-
84 CE e Mendes et al. (2007), avaliando as relações fonte-dreno em duas cultivares de feijão-
85 caupi: Epace 10 e Seridó submetido à deficiência hídrica, em Fortaleza-CE, concluíram que o
86 déficit hídrico afetou estatisticamente a produtividade de grãos secos, o número de vagem por
87 planta e o número de grão por vagem.

88 De acordo com Nascimento et al. (2004), estudando efeito da variação de níveis de água
89 disponível no solo (40%; 60%; 80% e 100% AD), sobre o crescimento e a produtividade de
90 vagens e grãos verdes do feijão-caupi cultivar IPA 206, em Areia ó PB, verificaram que os
91 diferentes níveis de água disponível no solo influenciaram, significativamente, o crescimento
92 das plantas e a produtividade de grãos verdes do feijão-caupi.

93 O genótipo BRS Guariba apresenta alta estabilidade temporal e pode ser indicado para
94 os sistemas de cultivos de sequeiro e irrigado, no município de Teresina ó PI, (Rocha et al.,
95 2007b). A cultivar BRS Paraguaçu apresenta potencialidades para o cultivo irrigado,
96 (Benvindo et al., 2010). Entretanto, há uma carência de informações sobre o manejo de
97 irrigação que otimize a produção de grãos verdes para essas cultivares.

98 O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos verdes, os componentes
99 de produção e a eficiência do uso de água do feijão-caupi, sob diferentes regimes hídricos.

100

101 **Material e Métodos**

102 O experimento foi conduzido em área experimental na Embrapa Meio-Norte, em
103 Teresina, Piauí (5°05'S, 42°29'W e 72 m de altitude), no período de setembro a novembro de
104 2009. O clima do município, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e
105 Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente
106 hídrico moderado no verão. Durante o trimestre setembro-outubro-novembro ocorre uma
107 concentração de 32 % da evapotranspiração potencial anual, sendo que as médias anuais de
108 umidade relativa do ar e de índice pluviométrico são de 72,6 % e 1.336,5 mm,
109 respectivamente, concentrando a maioria das chuvas nos meses de janeiro a abril (BASTOS;
110 ANDRADE JÚNIOR, 2008).

111 Os valores médios mensais de temperatura média do ar, umidade relativa média,
112 velocidade de vento e radiação durante a execução do experimento foram 29,3°C, 64,9%, 0,94
113 m/s e 21,4 MJ/m², respectivamente.

114 As características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental são
115 apresentadas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

116 **Tabela 1.** Características físico-hídricas do solo da área experimental Embrapa Meio-Norte,
117 Teresina, PI.

Características	Camadas do solo (m)	
	0,00 - 0,20	0,20 - 0,40
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,23	1,40
Areia grossa (g kg)	785	434
Areia fina (g kg)	95	191
Silte (g kg)	35	170
Argila (g kg)	86	206
Capacidade de campo (cm ³ . cm ⁻³)	0,22	0,22
Ponto de murcha permanente (cm ³ . cm ⁻³)	0,09	0,11

118 Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

119 **Tabela 2.** Características químicas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte,
120 Teresina, PI.

Prof. (m)	MO g/kg	pH (água)	P (mg dm ⁻³)	K ⁺ -----	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	CTC -----	V (%)
0,00 ó 0,20 m	4,20	5,78	33,80	0,17	1,47	0,76	0,01	2,15	4,56	52,91
0,20 ó 0,40 m	4,15	5,37	14,10	0,13	1,79	0,58	0,01	3,38	5,89	42,60

121 Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

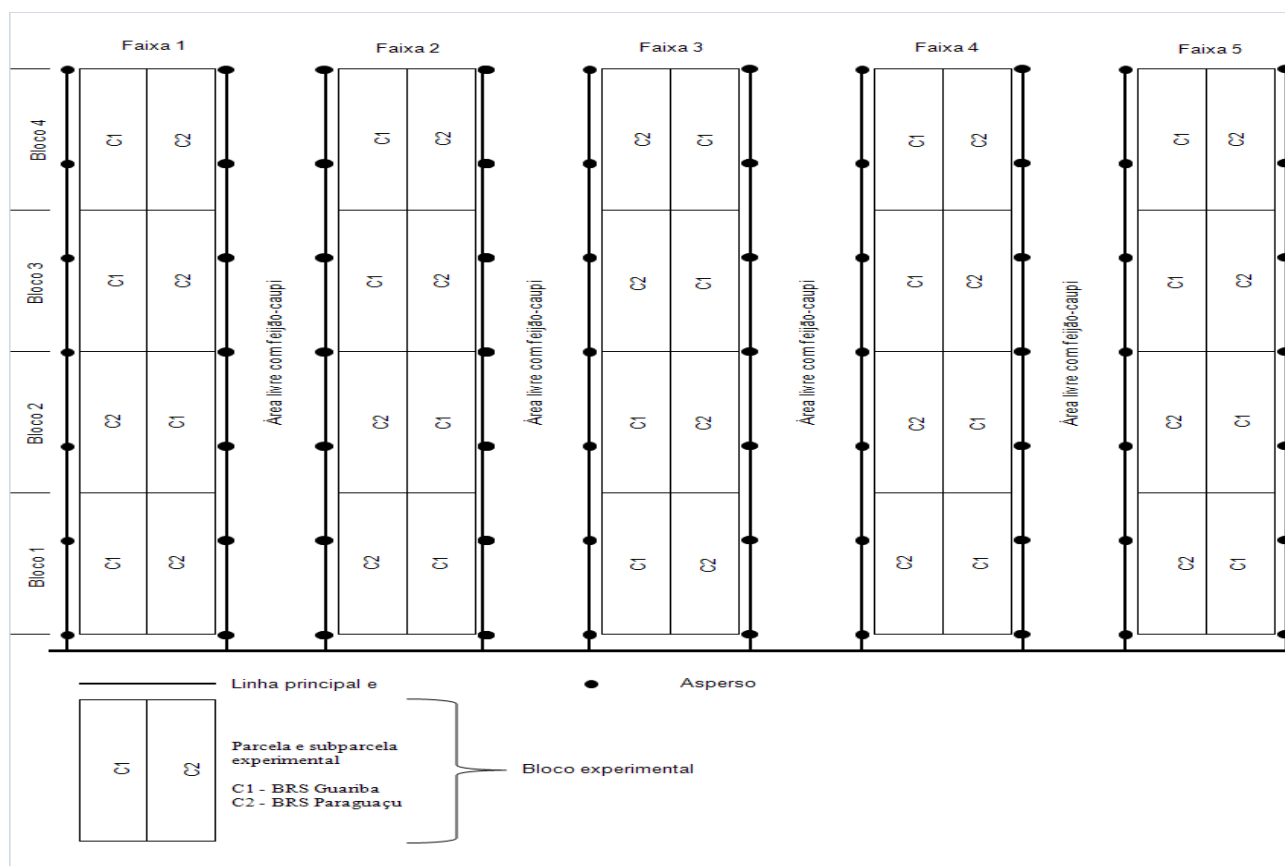
122 Avaliaram-se as cultivares de feijão-caupi BRS Guariba e BRS Paraguaçu. O semeio,
123 realizado no dia 10 de setembro de 2009, foi feito com plantadeira manual no espaçamento de
124 0,7 m x 0,2 m. Aos 15 dias após sementeira, foi realizado o desbaste deixando-se cinco
125 plantas por metro linear.

126 A adubação de fundação consistiu na aplicação de 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e de 40 kg de K₂O
127 ha⁻¹. Aos 20 dias após a sementeira, aplicou-se 20 kg de N ha⁻¹ em cobertura. Realizaram-se
128 tratamentos culturais de modo a manter a cultura livre de plantas invasoras, doenças e pragas.

129 A irrigação foi efetuada por um sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores
130 de impacto no espaçamento de 12 m x 12 m, com bocais de 4,4 mm x 3,2 mm e vazão de
131 1,59 m³ h⁻¹ a uma pressão de serviço de 3,0.10⁶ Pa.

132 Avaliaram-se cinco lâminas de irrigação, estabelecidas em função das seguintes frações
133 da evapotranspiração de referência (ET_o): 25% ET_o, 50% ET_o, 75% ET_o, 100% ET_o e 125%
134 ET_o. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith
135 (ALLEN et al., 1998), a partir de dados climatológicos obtidos em uma estação
136 agrometeorológica automática distante cerca de 500 m da área experimental. As lâminas
137 diferenciadas de irrigação foram aplicadas após 30 dias da sementeira.

138 O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições, com
139 tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, onde as lâminas de irrigação foram
140 distribuídas nas parcelas experimentais e as cultivares nas subparcelas. Cada subparcela foi
141 formada por sete fileiras de 7,0 m de comprimento. A área útil foi formada por três fileiras
142 eliminando-se 1,0 m em cada extremidade (Figura 1).



143

144 **Figura 1.** Croquis da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.

145 Monitorou-se o teor de água no solo diariamente, em camadas de 0,10 m, até 0,70 m de
 146 profundidade, por meio de uma sonda de capacitância elétrica. Instalaram-se três tubos de
 147 acesso para medição do teor de água no solo em cada tratamento.

148 Por ocasião da colheita, determinaram-se a produtividade de grãos verdes e a
 149 produtividade da vagem verde, o número de vagens verde por planta, o comprimento médio
 150 de 10 vagens verdes, o número de grãos verdes por vagem e a massa de cem grãos verdes.

151 Calculou-se a eficiência do uso de água dividindo-se as produtividades de grãos verdes
 152 e ou de vagens verdes pelas lâminas de irrigação aplicadas. A fim de verificar a influência das
 153 lâminas de irrigação sobre a produtividade de grãos e vagens verdes do feijão-caupi,
 154 realizaram-se análises de variância e de regressão, utilizando-se o programa computacional
 155 estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

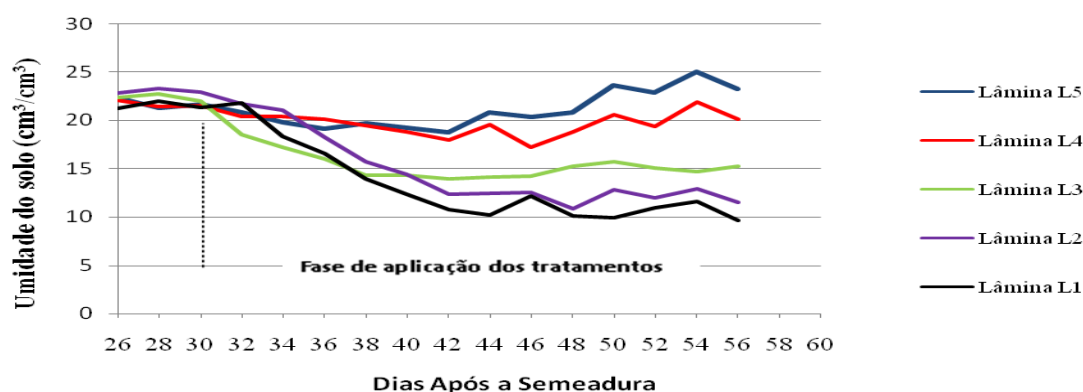
156

157 Resultados e Discussão

158 A aplicação das frações de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo resultou nas
 159 seguintes lâminas totais de irrigação para as duas cultivares de feijão-caupi: 161 mm (L1),
 160 196 mm (L2), 231 mm (L3), 275 mm (L4) e 322 mm (L5). Ressalta-se que durante o período
 161 experimental não houve a ocorrência de precipitação pluviométrica, de modo que a resposta
 162 produtiva ocorreu apenas em função das lâminas diferenciadas de irrigação aplicadas.

163 Como a diferenciação das lâminas de irrigação foi imposta somente a partir dos 30 dias
 164 após a semeadura (DAS), observou-se que não houve variações sensíveis no teor de água no
 165 solo, sob os cinco regimes de irrigação até esse período, os quais oscilaram entre 23% a 21%,
 166 próximos, portanto, do limite superior de disponibilidade de água no solo (Tabela 1).

167 A partir do início da diferenciação dos tratamentos de irrigação (30 DAS), os teores de
 168 água no solo variaram de forma significativa, ou seja, o teor médio de água no solo manteve-
 169 se sempre elevado com a aplicação da maior lâmina de irrigação e decresceu com a aplicação
 170 das lâminas menores, tendo atingido os teores médios de umidade de 13%, 15%, 16%, 19% e
 171 21% (Figura 2), correspondendo a 31%, 46%, 54%, 77% e 92% de água disponível no solo
 172 (AD), para as lâminas de irrigação equivalentes a 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo,
 173 respectivamente.



174 **Figura 2** - Variação do teor de água no solo para profundidade de 0,00 m a 0,20 m, ao longo
 175 do período do 26º ao 56º dias após a semeadura de feijão-caupi em função das lâminas de
 176 irrigação aplicadas.
 177

178 A análise de variância (Tabela 3 e 4) revelou efeito significativo das lâminas de
 179 irrigação para a produtividade de grãos verdes e produtividade de vagens verde, para os
 180 componentes de produção: número de vagens verde por planta, número de grãos verde por
 181 vagem, comprimento médio de vagem verde e para a eficiência do uso de água das cultivares
 182 BRS Paraguaçu e BRS Guariba. Não houve diferenças significativas para o componente de
 183 produção massa de cem grãos verde.

184 **Tabela 3** - Resumo de análises de variância do número de vagens verdes por planta em raiz
 185 quadrada (RQNVP), comprimento médio vagens verdes (CMV), número de grãos verdes por
 186 vagem em raiz quadrada (RQNGV) e da produtividade de vagens verdes (PV) do feijão-caupi
 187 em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS
 188 Paraguaçu, de feijão-caupi.

F.V	GL	Quadrado médio			
		RQNVP	CMV	RQNGV	PV
L. x BRS Paraguaçu	4	1.8022**	4.7237**	0.5312**	3723778**
L. x BRS Guariba	4	3.3980**	1.1200*	0.1826**	8958814**

189 *, ** Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

190

191 **Tabela 4** - Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), massa de
 192 cem grãos verdes (MCG), eficiência do uso de água para produtividade de grãos verdes
 193 (EUAPG) e para vagens verdes (EUAPV) em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas
 194 para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, de feijão-caupi.

F.V	GL	Quadrado médio			
		PG	MCG	EUAPG	EUAPV
L. x BRS Paraguaçu	4	1700573**	4.635 ^{n.s}	9.7324**	8.3408*
L. x BRS Guariba	4	3373799**	11.185 ^{n.s}	21.2288**	38.9461**

195 *, ** Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{n.s} Não significativo pelo
 196 teste F.

197 Esse resultados foram semelhantes aos obtidos por Mendes et al. (2007), avaliando as
 198 relações fonte-dreno em feijão-caupi para produção de grãos secos submetido à deficiência
 199 hídrica, onde constataram que o estresse hídrico aplicado tanto na fase vegetativa, como na
 200 reprodutiva reduziu significativamente as características agrônômicas produtividade de grãos,
 201 número de vagens por planta e número de grãos por vagem. Corroboram também com estes
 202 resultados Nascimento et al. (2004), estudando variação de níveis de água disponíveis no solo
 203 sobre cultivar de feijão-caupi (cultivar IPA 206) para produção de vagem e grãos verdes em
 204 Areia ó PB. Segundo os autores, houve diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos
 205 (níveis de água disponível no solo) para os componentes avaliados, número de grãos por

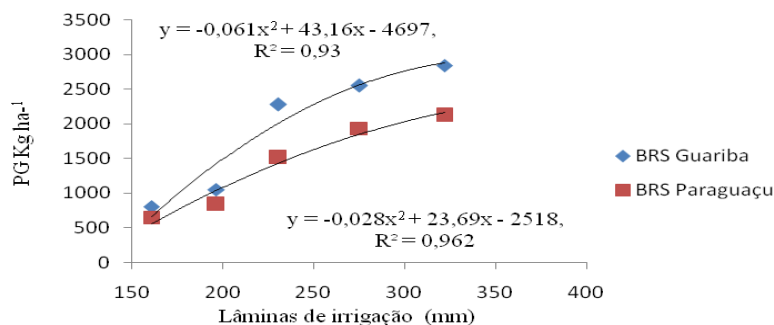
206 vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), massa de grãos por planta (MGP), massa
207 de vagens por planta (MVP) e comprimento médio de vagens por planta (CMV).

208 Quanto à massa de cem grãos verdes (Tabela 4) não se verificou diferenças
209 significativas entre os tratamentos aplicados para as cultivares BRS Guariba e BRS
210 Paraguaçu. Os valores foram 29,63g (L1), 29,44g (L2), 29,43g (L3), 32,75g (L4) e
211 32,32g (L5) para a cultivar BRS Guariba e 25,84g (L1), 26,92g (L2), 25,15g (L3),
212 25,15g (L4) e 27,49g (L5) para a cultivar BRS Paraguaçu. Esses resultados confirmam a
213 hipótese de que esse componente de produção não é influenciado por estresse hídrico.
214 Resultados semelhantes foram obtidos por Bezerra et al. (2003), Mendes et al. (2007) e Lima
215 (2008).

216 Conforme Ferreira et al. (1991), esse componente de produção, normalmente, é
217 resistente às modificações induzidas por estresse ambiental. Segundo Shouse et al. (1981),
218 citado por Costa et al. (1997), este componente de produção reflete a relação entre fonte e
219 dreno. Quando a massa de cem grãos é reduzida indica que a produção foi limitada na fonte.
220 Este fato pode ocorrer em virtude do grande número de vagens, como no caso dos tratamentos
221 adequadamente irrigados, ou pelo efeito do estresse hídrico sobre a fotossíntese ou
222 translocação de fotoassimilados. Neste caso, há uma redução do número de vagens e um
223 aumento da massa de grãos, refletindo em uma compensação para limitações de tamanho do
224 dreno.

225 A análise de regressão para a produtividade de grãos verdes mostrou que o efeito
226 médio das lâminas ajustou-se a uma função quadrática, com máximas produtividades de grãos
227 verdes de 2.937,3 kg.ha⁻¹ e 2.492,8 kg.ha⁻¹, com aplicação das lâminas de irrigação de
228 354 mm e 423 mm, para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, respectivamente
229 (Figura 3).

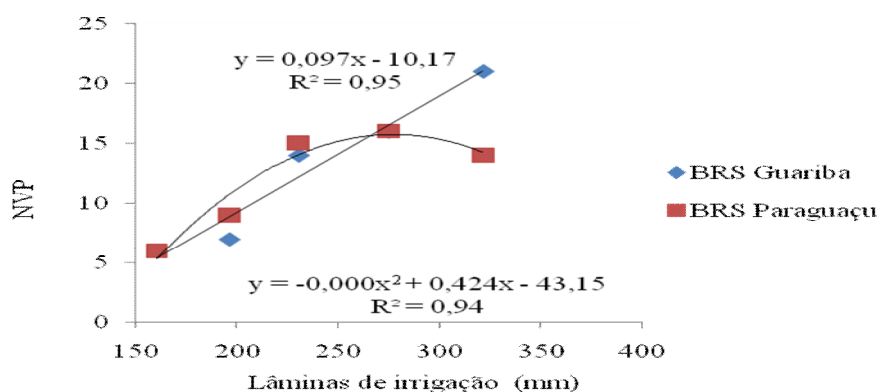
230 Ressalta-se, porém, que estas lâminas de irrigação estão um pouco acima da lâmina
 231 estudada 322 mm (125% ETo). Neste caso, Gomes e Garcia (2002), sugerem buscar um
 232 máximo absoluto que corresponde a 2.875,8 kg.ha⁻¹ e 2.207,0 kg.ha⁻¹ com a lâmina de
 233 irrigação de 322 mm (125% ETo).



234
 235 **Figura 3** - Produtividade de grãos verdes (PG) em função das lâminas de irrigação aplicadas
 236 para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009.

237 A menor produtividade de grãos verdes foi de 853,3 kg.ha⁻¹ e 650,8 kg.ha⁻¹ para as
 238 cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, com aplicação das lâminas de irrigação de
 239 161 mm (25% ETo), respectivamente. Observa-se uma redução significativa de 70% na
 240 produtividade de grãos verdes para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu,
 241 respectivamente, com a redução das lâminas de irrigação de 322 mm (125% ETo) para
 242 161 mm (25% ETo). Essa baixa produtividade de grãos verdes reflete o efeito negativo do
 243 déficit hídrico sobre esse componente de produção. Corroborando com os resultados deste
 244 trabalho, Andrade Júnior et al. (2002), que observaram resposta quadrática para as cultivares
 245 BR-17 Gurguéia e BR-14 Mulato, com máxima produtividade de grãos de 2.809,0 kg.ha⁻¹ e
 246 2.103,4 kg.ha⁻¹, obtidos com as lâminas de irrigação de 449,1 mm e 389,9 mm,
 247 respectivamente, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí.

248 Para o componente de produção número de vagens verdes por planta o efeito médio
 249 das lâminas ajustou-se a uma função quadrática para a cultivar BRS Paraguaçu e linear para a
 250 cultivar BRS Guariba (Figura 4).



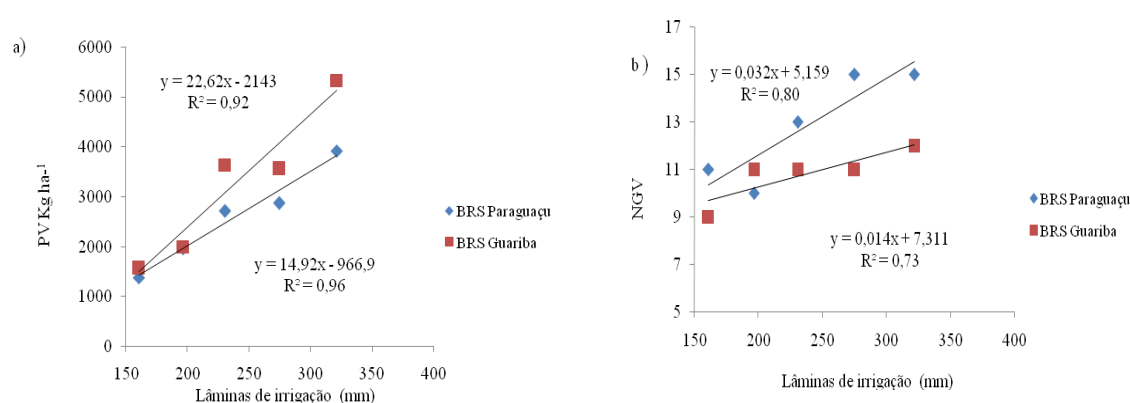
251
 252 **Figura 4** - Número de vagens verdes por planta (NVP) em função das lâminas de irrigação
 253 aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009.

254 O maior valor do número de vagens verdes por planta (21,0) para a cultivar BRS
 255 Guariba, foi obtido com a aplicação das lâminas de irrigação 322 mm (125% ETo) e o
 256 máximo valor (16,0) para cultivar BRS Paraguaçu, foi obtido com a aplicação das lâminas de
 257 irrigação 275 mm (100% ETo). Observa-se uma redução no número de vagens verdes por
 258 planta (14,0) da cultivar BRS Paraguaçu com a aplicação da maior lâmina de irrigação
 259 322 mm (125% ETo). Quanto a cultivar BRS Guariba a maior lâmina de irrigação não reduziu
 260 número de vagens verdes por planta, demonstrando o potencial produtivo desta cultivar,
 261 comprovado pela maior produtividade.

262 O menor número de vagens verdes por planta (6,0) foi obtido com a aplicação da
 263 lâmina de irrigação de 161 mm (25% ETo) para as duas cultivares. Observou-se uma redução
 264 de 62,5% e 71,4% no número de vagens verdes por planta para as cultivares BRS Guariba e
 265 BRS Paraguaçu, respectivamente, com a redução das lâminas de irrigação de 322 mm
 266 (125% ETo) para 161 mm (25% ETo). Segundo Ritchie (1981), citado por Nascimento et al.
 267 (2004), além de afetar a expansão foliar, a deficiência hídrica do solo pode causar o
 268 enrolamento e a abscisão, ou morte parcial das folhas, diminuição da brotação, polinização,
 269 translocação e enchimento de grãos, bem como, o abortamento das vagens.

270 Esses resultados estão semelhantes aos obtidos por Andrade Júnior et al. (2002), que
 271 avaliaram o feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação nas condições edafoclimáticas
 272 dos Tabuleiros Costeiros. Estes autores observaram resposta linear para a cultivar BR-17
 273 Gurguéia e quadrática para a cultivar BR-14 Mulato, com máxima NVP (15,0) obtido com a
 274 lâmina de 363,5 mm. Nascimento et al. (2004) também observou resposta linear para o
 275 número de vagens verdes, estudando o efeito da variação de níveis de água disponíveis no
 276 solo sobre o crescimento e produtividade de vagens e grãos verdes de feijão-caupi na cultivar
 277 IPA 206, em Areia ó PB. Lima (1996), avaliando o efeito de cinco níveis de água disponível
 278 no crescimento e produtividade do feijão-caupi, observou também que o número de vagens
 279 por planta diminuiu com o aumento do estresse hídrico. Para este autor, a redução deste
 280 componente parece ser o principal fator de decréscimos na produção de grãos de feijão-caupi.
 281 Segundo Leite et al. (2000), tal comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos
 282 de resistência à seca utilizado por esta planta, no sentido de buscar melhores condições para
 283 superar a falta de água, produzindo menor quantidade de vagens.

284 Quanto a produtividade de vagens verde e número de grãos verde por vagem, o efeito
 285 médio das lâminas ajustou-se a uma função linear para as duas cultivares (Figura 5).



286 **Figura 5** - Produtividade de vagem verde (PV) (a) e o número de grãos por vagem por planta
 287 (NVP) (b) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares BRS Guariba e
 288 BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009.

290 Para a produtividade de vagens verde os maiores valores foram de 3.921 kg.ha⁻¹ e
291 5.327 kg.ha⁻¹ obtidas com aplicação da lâmina de irrigação de 322 mm (125% ETo),
292 respectivamente, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba. As menores foram
293 1.380 kg.ha⁻¹ e 1.567 kg.ha⁻¹ obtidas com aplicação da lâmina de irrigação de 161 mm
294 (25% ETo), respectivamente, para as duas cultivares.

295 Observa-se uma redução de 64,8% e 70,6% na produtividade de vagens verde nas
296 cultivares estudadas, com a redução das lâminas de irrigação de 322 mm (125% ETo) para
297 161 mm (25% ETo), respectivamente. Essa redução ocorreu porque a deficiência hídrica
298 reduz o potencial hídrico das plantas, diminuindo a condutância e a transpiração foliar. Como
299 conseqüência há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados,
300 causando redução na produtividade da cultura (TAIZ; ZEIGER, 2004).

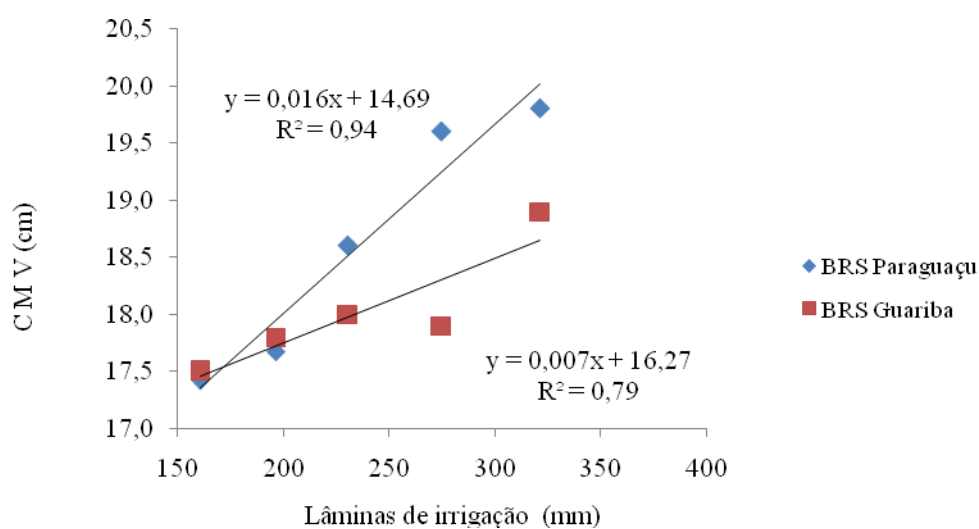
301 Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Andrade et al. (2009), que concluíram
302 que a produtividade de vagens verde do feijão-vagem cultivar Alessa, em Seropédica ó RJ,
303 apresenta decréscimo linear significativo com a diminuição da lâmina irrigada de 123% ETo
304 (334,8 mm) para 18% ETo (205,2 mm). Por outro lado, Nascimento et al. (2004), observaram
305 comportamento quadrático para a massa de vagens por planta de feijão-caupi da cultivar IPA
306 206, em Areia ó PB. As diferenças observadas podem ser devido às cultivares utilizadas e à
307 diversidade das condições edafoclimáticas dos locais onde os estudos foram conduzidos.

308 Para o número de grãos verde por vagem os maiores valores foram 15,0 e 12,0 e os
309 menores valores foram 11,0 e 9,0 obtidas com a aplicação da lâmina de irrigação de 322 mm
310 (125% ETo) e 161 mm (25% ETo), respectivamente, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS
311 Guariba.

312 Observa-se uma redução significativa de 26,6% e 25,0% com a redução das lâminas de
313 irrigação para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente. Esses resultados
314 estão de acordo com os obtidos por Andrade Júnior et al. (2002), que observaram resposta

315 linear do número de grãos verde por vagem do feijão-caupi da cultivar BR-17 Gurguéia.
 316 Entretanto, Nascimento et al. (2004), para a cultivar IPA 206, em Areia ó PB, observou
 317 resposta quadrática para o número de grãos verdes por vagem. Para esses autores, a
 318 ocorrência de estresse hídrico provoca redução do crescimento e da superfície fotossintética,
 319 ocorrendo conseqüentemente, menor número de grãos por vagens, além de afetar o
 320 enchimento dos grãos. Para Taiz e Zeiger (2004), a redução significativa do número de grãos
 321 por vagens deve-se ao estresse hídrico, que provoca uma menor a área foliar,
 322 conseqüentemente redução na produção de fotoassimilados, causando redução na
 323 produtividade de grãos.

324 Quanto ao componente de produção comprimento médio vagens verdes, o efeito médio
 325 das lâminas ajustou-se a uma função linear (Figura 6) para as duas cultivares.



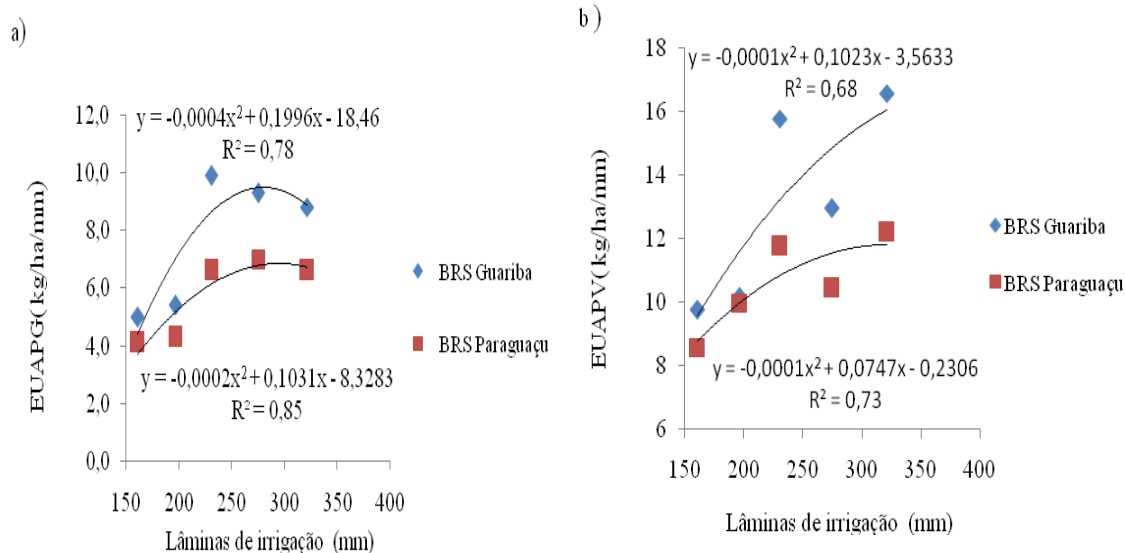
326
 327 **Figura 6** - Comprimento médio de vagens verdes (CMV) em função das lâminas de irrigação
 328 aplicadas para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009.

329 Para o comprimento médio de vagens verdes (CMV), os maiores valores foram
 330 18,97 cm e 19,80 cm e os menores foram 17,42 cm e 17,57 cm, obtidos com aplicação das
 331 lâminas de irrigação de 322 mm (125% ETo) e 161 mm (25% ETo), respectivamente, para as
 332 duas cultivares.

333 Observou-se uma redução significativa de 8,2 % e 11,3% com a redução das lâminas de
 334 irrigação para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba respectivamente. Esses resultados
 335 são semelhantes aos obtidos por Nascimento et al. (2004), que observaram decréscimos
 336 crescentes do CMV com o aumento do déficit hídrico, com reduções de aproximadamente
 337 8%, 16% e 24%, referentes aos níveis de 80%, 60% e 40% de água disponível,
 338 respectivamente.

339 De acordo com Taiz e Zeiger (2004), essa menor redução do CMV em relação aos
 340 outros componentes de produção ocorreu porque, durante o déficit hídrico, os assimilados são
 341 dirigidos para os frutos e distanciados das raízes, razão pelo qual o comprimento médio de
 342 vagens verdes tem menor sensibilidade ao estresse hídrico.

343 Para a eficiência do uso de água, o efeito médio das lâminas ajustou-se a uma função
 344 quadrática em relação a produtividade de grãos verdes e vagens verdes para as duas cultivares
 345 (Figura 7).



346 **Figura 7** - Eficiência do uso de água para a produtividade de grãos verdes (EUAPG) (a) e
 347 vagens verdes (EUAPV) (b) em função das lâminas de irrigação aplicadas para as cultivares
 348 BRS Guariba e BRS Paraguaçu, Teresina, PI. 2009.

350 A eficiência do uso de água para produtividade máxima de grãos verdes 7,04 kg/ha/mm
351 e 9,89 kg/ha/mm foram obtidas com a aplicação das lâminas de irrigação 275 mm e 231 mm,
352 respectivamente, para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba. Essas lâminas foram
353 inferiores às que maximizaram a produção de grãos para as cultivares BRS Paraguaçu
354 (423 mm) e BRS Guariba (354 mm).

355 Com relação à eficiência do uso de água para produtividade de vagem verde, os maiores
356 valores (12,19 kg/ha/mm e 16,56 kg/ha/mm) foram obtidos com a aplicação da lâmina de
357 irrigação de 322 mm correspondente ao tratamento de 125% ETo, para as cultivares
358 BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente.

359 Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Andrade Júnior et al. (2002), em que
360 observaram que a eficiência do uso de água apresentou resposta quadrática com máxima de
361 6,6 kg/ha⁻¹/mm aplicando-se uma lâmina de irrigação de 306,3 mm, para a cultivar
362 BR-14 Mulato, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí.

363 Segundo Chaves et al. (2003), muitas plantas tendem a apresentar aumentos na
364 eficiência do uso da água quando o estresse hídrico é moderado. Esse aumento é resultado da
365 relação não linear entre a assimilação do carbono e a condutância estomática, isto é, perda de
366 água acontecendo antes e mais intensamente do que a inibição da fotossíntese.

367 De acordo Taiz e Zeiger (2004), quando o estresse hídrico é moderado, a eficiência do
368 uso da água pode aumentar. A taxa fotossintética da folha raramente é tão responsiva ao
369 estresse hídrico moderado quanto à expansão foliar, pois a fotossíntese é muito menos
370 sensível ao turgor do que a expansão foliar. Ou seja, mais CO₂ pode ser absorvido por
371 unidade de água transpirada, isto acontece porque o fechamento estomático inibe a
372 transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO₂.

373

374 **Conclusões**

- 375 1. As máximas produtividades de grãos verdes 2.937,3 kg.ha⁻¹ e 2.492,9 kg.ha⁻¹ para as
376 cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu são obtidas, com aplicação das lâminas de
377 irrigação de 352 mm e 423 mm, respectivamente.
- 378 2. . A produtividade de grãos verdes e vagens verdes, o número de vagens verdes por planta, o
379 comprimento médio vagens verdes e o número de grãos verdes por vagem são
380 influenciados com a redução das lâminas de irrigação. O número de vagens verdes por
381 planta foi o componente de produção que mais influenciou na produtividade de grãos
382 verdes.
- 383 3. A máxima eficiência de uso da água é atingida com a aplicação das lâminas de irrigação
384 275 mm e 231 mm para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba.

385

386 **Referências**

- 387 ALLEN, R. G *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water**
388 **requirements.** Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- 389 ANDRADE, I. P. S. *et al.* Produtividade de feijão-vagem cv. alessa e produção de matéria
390 seca sob manejo orgânico de produção submetida a diferentes lâminas de irrigação. In:
391 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38, 2009. **Anais.** Juazeiro,
392 Petrolina: UNIVASF: Embrapa Semiárido. 1 CD.
- 393 ANDRADE JÚNIOR, A. S. de *et al.* Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista**
394 **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.17-20, 2002.
- 395 BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico do ano de 2008**
396 **para o município de Teresina, PI.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008, 37p. (Embrapa
397 Meio-Norte. Documentos, 181).

- 398 BENVINDO, R. N. *et al.* Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em
399 cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 1 p. 23-28, 2010.
400 Disponível em: <<http://www.ufpi.br/comunicata.htm>>. Acesso em 28 nov. 2010.
- 401 BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista**
402 **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 13-18, jan. 2003.
- 403 CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought
404 ófrom the genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, p. 239-264, 2003.
- 405 COSTA, M. M. M. N. *et al.* Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição
406 das raízes de caupi submetido a deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,
407 Brasília, v.32, n.1, p. 43-50, jan. 1997.
- 408 FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. Estresse hídrico nas fases
409 vegetativa e reprodutiva de dois cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.26,
410 n.7, p.1049-1055, 1991.
- 411 FREIRE FILHO, F. R. *et al.* Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi.
412 **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, n. 03, p. 286-290, 2007.
- 413 LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a
414 cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.75,
415 n.1, p. 9-20, 2000.
- 416 LIMA, A. A. F. **Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*phaseolus vulgaris* L. e**
417 ***vigna unguiculata* (L.) walp] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a**
418 **agricultura familiar do semi-árido sergipano**. 2008, 112f. Dissertação (Mestrado em meio
419 ambiente), Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão.
- 420 LIMA, G. P. B. Crescimento e produtividade do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] sob
421 diferentes níveis de disponibilidade hídrica do solo. In:REUNIÃO NACIONAL DE

- 422 PESQUISA DE CAUPI, 4., 1996, Teresina. **Resumos...** Teresina: CNPAMN/ EMBRAPA,
423 p.41-43, 1996.
- 424 MENDES, R. M. S. *et al.* Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência
425 hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 01, p. 95-103, 2007.
- 426 NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de
427 níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão-caupi, vagens e
428 grãos verdes. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v. 22, n. 2, p. 174-177, abr./jun. 2004.
- 429 OLIVEIRA, A. P. *et al.* Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo
430 mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.1, p. 81-84, mar. 2001.
- 431 OLIVEIRA, A. P. *et al.* Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de
432 aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 77-80, jan./mar.
433 2003.
- 434 PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos**
435 **agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos.**
436 Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p. il.
- 437 ROCHA, M. M. *et al.* Avaliação preliminar de genótipos de feijão-caupi para feijão-verde.
438 **Revista Científica Rural**, Bagé, RS, v. 12, n. 1, p. 153-156, 2007a.
- 439 ROCHA, M. M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de
440 porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,
441 v.42, n.9, p.1283-1289, set. 2007b.
- 442 SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT user's guide**. Version 8.1. Cary, v. 1, 890p, 2002.
- 443 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.il.

CAPÍTULO II

PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO-CAUPI RELACIONADOS À PRODUTIVIDADE DE GRÃOS VERDES SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS¹

¹ Manuscrito a ser enviado à revista Pesquisa Agropecuária Brasileira.

1 **Parâmetros fisiológicos do feijão-caupi relacionados à produtividade de grãos verdes sob**
2 **diferentes regimes hídricos¹**

3

4 Herbert Moraes Moreira Ramos⁽¹⁾, Edson Alves. Bastos⁽²⁾, Aderson Soares de Andrade
5 Júnior⁽²⁾, Fábio Nunes do Nascimento⁽¹⁾ e Milton Jose Cardoso⁽²⁾

6

7 ⁽¹⁾Programa de Pós-graduação em Agronomia/UFPI; Caixa Postal 12.168, 64049-550,
8 Teresina - PI. E-mail: moreiramos@uol.com.br, nunesf.nascimento@gmail.com

9 ⁽²⁾Embrapa Meio-Norte, Caixa-Postal 01, CEP 64006-220, Teresina, PI. E-mail:
10 edson@cpamn.embrapa.br, aderson@cpamn.embrapa.br, milton@cpamn.embrapa.br

11

12 **Resumo** - O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação
13 sobre o índice de área foliar, o teor de clorofila total e o potencial hídrico foliar, relacionando-
14 os com a produtividade de grãos verdes em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).
15 Conduziu-se o experimento na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, em um Argissolo
16 Vermelho-Amarelo Eutrófico, no período de setembro a novembro de 2009. Utilizaram-se as
17 cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu. Foram aplicadas cinco lâminas de irrigação, com
18 base em frações da evapotranspiração de referência (25%, 50%, 75%, 100% e 125% ETo).
19 Usou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições e
20 parcelas subdivididas. O índice de área foliar apresentou efeito linear decrescente para a
21 menor lâmina e quadrático para as demais lâminas. Os teores de clorofila total apresentaram
22 efeito quadrático. Houve uma redução média de 13,8% e 18,8% para os teores de clorofila
23 total, 116% para o potencial hídrico foliar, 70% para a produtividade de grãos verdes, entre a
24 menor e a maior lâmina para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, respectivamente. A
25 produtividade de grãos verdes correlaciona-se positivamente com o potencial hídrico foliar, o
26 índice de área foliar e o teor de clorofila total.

¹ Trabalho extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor da UFPI/PPGA

27 **Termos para indexação:** *Vigna unguiculata*, estresse hídrico, características fisiológicas.

28

29 **Physiological parameters of cowpea associated with the Green grain yield under**
30 **different water regimes**

31

32 **Abstract** ó The objective of this work is to evaluate the effect of different water regimes on
33 the leaf area index, the plant chlorophyll content, the leaf water potential and its correlation to
34 green grain yield in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). The experiment was carried out
35 at EMBRAPA [Brazilian Agricultural Research Corporation] Meio-Norte, in Teresina city,
36 Piauí State, in a eutrophic red-yellow argisol, from September to November 2009. The
37 cultivars BRS Guariba and BRS Paraguaçu were used. Five irrigation depths were applied,
38 based upon reference evapotranspiration fractions (25%, 50%, 75%, 100% and 125% ETo).
39 The experimental randomized blocks design was used with four repetitions and split-plot
40 arrangements. The leaf area index showed decreasing linear effect for the lowest irrigation
41 depth and quadratic for the other ones. The total chlorophyll content responded quadratically.
42 There was an average reduction of 13.8% and 18.8% for chlorophyll levels, 116% for leaf
43 water potential, 70% and 70.4% for the green grain yield, between the lowest and highest
44 blade for BRS Guariba and BRS Paraguaçu respectively. Green grain yield correlated
45 positively with, the leaf water potential, the leaf area index and chlorophyll content.

46

47 **Index terms:** *Vigna unguiculata*, water stress, physiological characteristics.

48

49

Introdução

50 No Meio-Norte do Brasil, o feijão-caupi possui uma grande importância sócio-
51 econômica, pois além de fixar mão-de-obra no campo, é uma importante fonte de proteína

52 vegetal. Seu maior consumo é verificado na forma de grãos secos, entretanto, os grãos verdes
53 são muito apreciados pelos nordestinos por seu agradável sabor e cozimento rápido.

54 O feijão-caupi é classificado como planta sensível tanto à deficiência hídrica quanto ao
55 excesso de água no solo. O requerimento de água pela cultura é variável com o seu estágio de
56 desenvolvimento. O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um
57 valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da
58 maturação (Nóbrega et al., 2001).

59 A disponibilidade de água é um dos fatores ambientais que mais influenciam a
60 produtividade vegetal. A ocorrência de déficit hídrico provoca diminuição da produtividade
61 justamente por inviabilizar o processo fotossintético, uma vez que a água, além de ser
62 componente básico da reação também é responsável pela manutenção da transpiração,
63 essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar (Buchanan et al., 2000).
64 Segundo Taiz & Zeiger (2004), a limitação na área foliar pode ser considerada uma primeira
65 reação das plantas ao déficit hídrico.

66 A área foliar, de uma maneira geral, apresenta-se como importantíssimo parâmetro na
67 determinação da capacidade fotossintética, da densidade ótima de plantio, da relação solo-
68 água-planta, ou em investigações sobre nutrição de várias culturas. Ela relaciona-se com o
69 metabolismo da planta produção de matéria seca e produtividade (Severino et al., 2004).

70 Lima Filho (2000) e Bastos et al. (2002) encontraram valores máximos de índice da área
71 foliar (IAF) variando de 2,8 a 4,3 para a cultura do feijão-caupi. O IAF acima de 3 representa
72 para o feijão-caupi máximo desenvolvimento do dossel, possibilitando uma maior
73 interceptação de luz solar, resultando em maior taxa fotossintética líquida (Summerfield,
74 1985).

75 Para avaliar o grau de déficit hídrico de uma planta é comum utilizar-se de variáveis
76 relacionadas às folhas, como o conteúdo relativo de água foliar e o potencial hídrico, sendo

77 este último o mais utilizado em estudos fisiológicos (Angelocci, 2002). Hsiao (1973) relata
78 que o potencial hídrico foliar (ψ_f) é aceito como medida indicadora das condições hídricas do
79 vegetal. A redução do potencial hídrico foliar (ψ_f) durante o déficit hídrico, quando
80 comparado ao controle irrigado, pode ser correlacionado com a produtividade de grãos.

81 Vários trabalhos com feijão-caupi registraram redução no potencial hídrico foliar sob
82 deficiência hídrica, Mendes et al. (2007) obtiveram $0,51$ MPa na fase vegetativa e de $0,88$
83 MPa na fase reprodutiva. Bastos et al. (2011) obtiveram $-1,62$ MPa na condição estressada.

84 Segundo Torre Netto et al. (2005), a determinação indireta do teor de clorofila em
85 folhas pode ser usada como uma ferramenta para diagnosticar a integridade do aparelho
86 fotossintético, quando as plantas estão sujeitas às adversidades ambientais.

87 Para Engel e Poggiani (1991), a eficiência fotossintética está ligada ao teor de clorofila
88 das plantas, afetando o crescimento e influenciando a adaptabilidade das mesmas aos diversos
89 ambientes. Segundo Nascimento (2009), o teor de clorofila total pode ser uma característica
90 importante, pois os mesmos podem aumentar sua eficiência na absorção de radiação solar,
91 conseqüentemente maior taxa fotossintética, resultando por sua vez em maiores rendimentos
92 de grãos.

93 Segundo Bastos et al. (2010), o déficit hídrico reduziu em 20% o índice médio de área
94 foliar, 16% o índice médio de clorofila, 175% o número médio de vagens por planta e em
95 60% a produção de grãos em genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico em Teresina-PI.

96 Atualmente, as pesquisas têm permitido o lançamento de variedades de feijão-caupi
97 que, além de resistentes às doenças, possuem caracteres agronômicos altamente favoráveis à
98 produção de grãos secos (Freire Filho et al., 2005a, 2006, 2007). Estas variedades,
99 normalmente, apresentam uma elevada resposta à irrigação e podem ser utilizadas para
100 produção de grãos secos ou vagens verdes.

101 No entanto, outras características diretamente associadas com o feijão-caupi para a
102 produção de grãos verdes têm sido pouco estudadas, como é o caso das respostas fisiológicas
103 das cultivares à variação de níveis hídricos. Assim, as pesquisas relacionadas à busca de
104 genótipos que apresentem elevadas produtividades e estabilidade de produção devem ser
105 associadas ao comportamento desses genótipos face ao estresse hídrico, pois, desenvolver
106 cultivares mais aptas às condições de deficiência hídrica, pode ser aumentada quando se
107 conhecem as respostas fisiológicas das plantas à variação dos fatores ambientais.

108 O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre o
109 índice de área foliar, o teor de clorofila total e o potencial hídrico foliar relacionado com a
110 produtividade de grãos verdes em feijão-caupi.

111

112

Material e Métodos

113 O experimento foi conduzido em área experimental na Embrapa Meio-Norte, em
114 Teresina, Piauí (5°05'S, 42°29'W e 72 m de altitude), no período de setembro a novembro de
115 2009. O clima do município, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e
116 Mather (1955) é C₁sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente
117 hídrico moderado no verão. Durante o trimestre setembro-outubro-novembro ocorre uma
118 concentração de 32 % da evapotranspiração potencial anual, sendo que as médias anuais de
119 umidade relativa do ar e de índice pluviométrico são de 72,6 % e 1.336,5 mm,
120 respectivamente, concentrando a maioria das chuvas nos meses de janeiro a abril (Bastos e
121 Andrade Júnior, 2008).

122 Os valores médios mensais de temperatura média do ar, umidade relativa média,
123 velocidade de vento e radiação global durante a execução do experimento foram 29,3°C,
124 64,9%, 0,94 m/s e 21,4 MJ/m², respectivamente.

125 As características físico-hídricas e químicas do solo da área experimental são
126 apresentadas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

127 Avaliaram-se as cultivares de feijão-caupi BRS Guariba e BRS Paraguaçu. O semeio,
128 realizado no dia 10 de setembro de 2009, foi feito com plantadeira manual no espaçamento de
129 0,7 m x 0,2 m. Aos 15 dias após semeadura, foi realizado o desbaste deixando-se cinco
130 plantas por metro linear.

131 A adubação de fundação consistiu na aplicação de 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} e de 40 kg de K_2O
132 ha^{-1} . Aos 20 dias após a semeadura, aplicou-se 20 kg de N ha^{-1} em cobertura. Realizaram-se
133 tratamentos culturais de modo a manter a cultura livre de plantas invasoras, doenças e pragas.

134 A irrigação foi efetuada por um sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores
135 de impacto no espaçamento de 12 m x 12 m, com bocais de 4,4 mm x 3,2 mm e vazão de
136 $1,59 m^3 h^{-1}$.

137 Avaliaram-se cinco lâminas de irrigação, estabelecidas em função das seguintes frações
138 da evapotranspiração de referência (ET_o): 25% ET_o , 50% ET_o , 75% ET_o , 100% ET_o e 125%
139 ET_o . A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith, tendo
140 sido os dados climatológicos necessários obtidos de uma estação agrometeorológica
141 automática distante cerca de 500 m da área experimental. As lâminas diferenciadas de
142 irrigação foram aplicadas após 30 dias da semeadura.

143 O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, com
144 tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, onde as lâminas de irrigação foram
145 distribuídas nas parcelas experimentais e as cultivares nas subparcelas. Cada subparcela foi
146 formado por sete fileiras de 7,0 m de comprimento. A área útil foi formada por três fileiras
147 eliminando-se 1,0 m em cada extremidade (Figura 1).

148 Monitorou-se o teor de água no solo diariamente, em camadas de 0,10 m, até 0,70 m de
149 profundidade, por meio de uma sonda de capacitância elétrica. Instalaram-se três tubos de
150 acesso para medição do teor de água no solo para cada lâmina de irrigação.

151 Avaliou-se o potencial hídrico foliar (ψ_f), aos 47 dias após a semeadura, através da
152 câmara de pressão de Scholander (Scholander et al., 1965). Para essas avaliações,
153 selecionaram-se ao acaso, duas folhas de plantas de cada cultivar na subparcela.

154 Determinou-se, semanalmente, a partir dos 30 dias após de semeadura, o índice da área
155 foliar (IAF), estimado pela média de quatro leituras (uma acima e três abaixo do dossel), com
156 o equipamento LAI-2000 em cada subparcela. A relação entre a luz incidente acima da cultura
157 e embaixo da copa das plantas fornece a transmitância de cada ângulo, que é inversamente
158 proporcional ao índice da área foliar (Hoffman & Blomberg, 2004).

159 Monitorou-se o teor de clorofila das plantas por meio do medidor eletrônico Clorofilog,
160 modelo CFL 1030. As medidas do teor de clorofila total (ICF) foram feitas semanalmente,
161 dos 35 aos 56 dias após a semeadura, tomando-se uma folha de duas plantas das cultivares,
162 previamente marcada em cada subparcela do experimento.

163 Por ocasião da colheita, foi determinada a produtividade de grãos verdes em kg ha^{-1} . O
164 índice de área foliar, o potencial hídrico foliar, o teor de clorofila total e a produtividade de
165 grãos verdes foram avaliados por análise de regressão e correlação, utilizando-se o programa
166 computacional estatístico SAS (SAS Institute, 2002).

167

168

Resultados e Discussão

169 A aplicação das frações de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da E_{To} resultou nas
170 seguintes lâminas totais de irrigação nas duas cultivares de feijão-caupi: 161 mm (L1), 196
171 mm (L2), 231 mm (L3), 275 mm (L4) e 322 mm (L5), respectivamente. Ressalta-se que
172 durante o período experimental não houve a ocorrência de precipitação pluviométrica, de

173 modo que a resposta produtiva ocorreu apenas em função das lâminas diferenciadas de
174 irrigação aplicadas.

175 Como a diferenciação das lâminas de irrigação foi imposta somente a partir dos 30 dias
176 após a semeadura, observou-se que não houve variações sensíveis no teor de água no solo,
177 nos cinco regimes de irrigação nesse período, os quais oscilaram entre 23% a 21%, próximo,
178 portanto, do limite superior de disponibilidade de água no solo (Tabela 1).

179 A partir do início da diferenciação dos tratamentos de irrigação, os teores de água no
180 solo variaram de forma significativa, ou seja, o teor médio de água no solo manteve-se
181 sempre elevado com a aplicação da maior lâmina de irrigação e decresceu com a aplicação
182 das lâminas menores, tendo atingido os teores médios de umidade de 13%, 15%, 16%, 19% e
183 21% (Figura 2), correspondendo a 31%, 46%, 54%, 77% e 92% de água disponível no solo
184 (AD), para as lâminas de irrigação equivalentes a 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo,
185 respectivamente.

186 Para o potencial hídrico foliar (ψ_f), os valores médios atingidos das plantas submetidas
187 às lâminas de irrigação, aos 47 dias após a semeadura (Figura 3), foram: -1,3 MPa (L1);
188 -1,3 MPa (L2); -1,1 MPa (L3); -0,8 MPa (L4) e -0,6 MPa (L5) para a cultivar BRS Paraguaçu
189 e -1,3 MPa (L1); -1,3 MPa (L2); -1,0 MPa (L3); -0,7 MPa (L4) e -0,6 MPa (L5) para a
190 cultivar BRS Guariba, correspondendo aos níveis de água disponíveis no solo (AD) de
191 8% (L1); 31% (L2); 54% (L3); 92% (L4) e 100% (L5) (Figura 4).

192 Observa-se uma diminuição de 116% no potencial hídrico foliar à medida que reduziu a
193 maior lâmina de irrigação (L5) -0,6 MPa para menor (L1) -1,3 MPa, para as duas cultivares
194 estudadas. Esses resultados foram superiores aos obtidos por Bastos et al. (2010) que
195 observou redução de 62% no potencial hídrico foliar em genótipos de feijão-caupi sob déficit
196 hídrico em Teresina-PI. Vale ressaltar que a diferenças observadas entre os resultados podem

197 ser devido ao nível de estresses e à diversidade das condições edafoclimáticas dos locais onde
198 os estudos foram conduzidos.

199 Vários trabalhos com feijão-caupi registraram redução no potencial hídrico foliar sob
200 deficiência hídrica, Mendes et al. (2007) obtiveram $01,51$ MPa na fase vegetativa e de
201 $01,88$ MPa na fase reprodutiva e Bastos et al. (2010) $-1,62$ MPa na condição estressada. De
202 acordo com Taiz & Zeiger (2004), quanto menor a quantidade de água no solo, mais negativo
203 deve ser o potencial desenvolvido pelos vegetais, formando um gradiente que favoreça a
204 absorção de água pelas plantas. Segundo Bray (1997), o potencial hídrico foliar, em plantas
205 sob efeito da deficiência hídrica, tende a decrescer, seja pela desidratação dos tecidos ou pela
206 hidrólise dos compostos de reserva, com a diminuição da disponibilidade de água no solo, a
207 planta responde osmoticamente com o aumento dos teores de alguns solutos orgânicos, no
208 sentido de se adaptar ou se ajustar ao ambiente com deficiência hídrica.

209 A análise de regressão do índice de área foliar (Figura 5) das cultivares BRS Guariba e
210 BRS Paraguaçu apresentou efeito linear decrescente para a lâmina 161 mm (L1) e quadrático
211 para as lâminas 196 mm (L2), 231 mm (L3), 275 mm (L4) e 322 mm (L5).

212 Os valores máximos obtidos para o índice de área foliar com a aplicação das lâminas de
213 irrigação foram: $3,29$ (L2); $3,87$ (L3); $4,22$ (L4) e $4,88$ (L5), para a cultivar BRS Paraguaçu, e
214 de $3,20$ (L2); $3,65$ (L3); $3,49$ (L4) e $4,99$ (L5), para a cultivar BRS Guariba. Estes resultados
215 foram semelhantes aos obtidos por Bastos et al. (2002), que encontraram valores máximos do
216 índice de área foliar variando de $3,0$ a $4,3$ para a cultivar de feijão-caupi BR 14 Mulato, e de
217 $3,0$ para a cultivar BR17 Gurguéia aos 47 dias após a sementeira.

218 Com a aplicação da menor lâmina de irrigação (L1), observou-se decréscimo contínuo
219 do índice de área foliar com o aumento do déficit hídrico, demonstrando que o índice de área
220 foliar foi mais afetado pela aplicação deste tratamento nas duas cultivares estudadas,
221 confirmando o efeito negativo do déficit hídrico sobre essa variável. Corrobora com estes

222 resultados Nascimento (2009) que observou redução de 20% no índice médio de área foliar
223 em genótipos de feijão-caupi sob déficit hídrico em Teresina-PI. Segundo Correia & Nogueira
224 (2004) a redução da área foliar em plantas sob déficit hídrico pode-se traduzir numa estratégia
225 de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível à transpiração.

226 A maior lâmina de irrigação (L5), tende a ser o limite superior do índice de área foliar
227 para as duas cultivares, ou seja, lâminas de irrigação maiores poderiam implicar em maiores
228 índices de área foliar e conseqüentemente redução de produtividade. De acordo Freire Filho et
229 al. (2005b) o elevado teor de água no solo pode favorecer um intenso desenvolvimento
230 vegetativo do feijão-caupi e valores do índice de área foliar excessivamente altos. Isso implica
231 em menor disponibilidade de luz para a planta em virtude do sombreamento das folhas
232 superiores sobre as folhas inferiores do dossel, o que reduz a eficiência fotossintética e o
233 rendimento de grãos.

234 Com relação ao teor de clorofila total (TCT), o efeito médio das lâminas ajustou-se a
235 uma função quadrática para as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba (Figura 6). Os
236 valores máximos foram 66 e 82, obtidos aos 44 dias após a semeadura com aplicação da
237 maior lâmina de irrigação (L5). Com a aplicação da menor lâmina de irrigação (L1), os
238 valores máximos obtidos foram 58 e 69, observando-se uma redução média de 13,8% e
239 18,8%, à medida que reduziu a lâmina de irrigação da maior (L5) para menor (L1) para as
240 cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente. Corroboram com estes resultados
241 Nascimento (2009), que verificou redução média de 19% no teor de clorofila total nas folhas,
242 em 20 genótipos de feijão-caupi, sob déficit hídrico, em Teresina-PI. Segundo o mesmo autor,
243 o teor de clorofila total é uma característica importante, pois indica a eficiência na absorção
244 de radiação solar pelas folhas, conseqüentemente maior taxa fotossintética, resultando por sua
245 vez em maiores produtividades de grãos.

246 A análise de regressão para a produtividade de grãos verdes mostrou que o efeito médio
247 das lâminas ajustou-se a uma função quadrática, com máximas produtividades de grãos
248 verdes, 2.937,3 kg.ha⁻¹ (BRS Guariba) e 2.492,9 kg.ha⁻¹ (BRS Paraguaçu), obtidas com as
249 lâminas de irrigação de 354 mm e 423 mm, respectivamente. (Figura 7).

250 A menor produtividade de grãos verdes foram 853,33 kg.ha⁻¹ e 650,78 kg.ha⁻¹ para as
251 cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, com aplicação das lâminas de irrigação de
252 161 mm (L1), respectivamente. Constatou-se uma redução significativa de 70% na
253 produtividade de grãos verdes para as duas cultivares, com a redução da maior lâmina de
254 irrigação (L5) para a menor (L1).

255 Essa redução na produtividade de grãos verdes foi influenciada pela diminuição no teor
256 de água no solo que implicou em menores valores de potencial hídrico foliar, índice de área
257 foliar e teor de clorofila total. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), uma das explicações para
258 a redução da produtividade de grãos, em decorrência do déficit hídrico, é que, nessa condição,
259 a planta sofre uma redução da condutância e da transpiração foliar. Como consequência, há
260 um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando
261 redução na produtividade de grãos. Outra consequência do déficit hídrico segundo os mesmos
262 autores é a redução na área foliar das plantas, isso ocorre como um mecanismo de defesa da
263 planta contra a deficiência hídrica, com a área foliar menor, a transpiração é reduzida,
264 conservando o suprimento de água limitado no solo por um período maior. No entanto, essa
265 redução limita a produtividade devido à queda na absorção de CO₂ e na interceptação de luz
266 (Mattos et al., 2005).

267 A clorofila, principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa utilizada
268 no processo de fotossíntese, constitui um dos principais fatores relacionados à eficiência
269 fotossintética de plantas e consequentemente ao crescimento e adaptabilidade a diferentes

270 ambientes. A alteração no processo fotossintético é fator determinante na produtividade
271 agrícola.

272 Dessa forma, pode-se inferir que há uma correlação positiva significativa da
273 produtividade de grãos verdes com o potencial hídrico da folha, o índice de área foliar e o teor
274 de clorofila total (Tabelas 3 e 4), uma vez que o aumento ou redução de qualquer um desses
275 parâmetros implica em aumento ou redução da produtividade de grãos. Corroboram com
276 esses resultados Jadoski (2003) que, avaliando o manejo da irrigação para maximização do
277 rendimento de grãos do feijoeiro em Santa Maria ó RS obteve uma relação positiva entre o
278 rendimento de grãos e o índice de área foliar na cultura do feijoeiro.

279

280

Conclusões

281 1. A produtividade de grãos verdes correlaciona-se positivamente com o potencial hídrico da
282 folha, o índice de área foliar e o teor de clorofila total.

283 2. A produtividade de grãos verdes, o potencial hídrico foliar, o índice de área foliar e o teor
284 de clorofila total são influenciados negativamente pela redução das lâminas de irrigação.

285

286

Agradecimentos

287 A Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, pelo suporte técnico e logístico (setor de campos
288 experimentais) na condução desta pesquisa.

289

290

Referências

291 ANGELOCCI, L. R. **Água na Planta e Trocas Gasosas/Energéticas com a Atmosfera:**
292 **Introdução ao Tratamento Biofísico**, Edição do Autor, Piracicaba; ESALQ/USP, 268 p. 2002.

- 293 BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico do ano de 2008**
294 **para o município de Teresina, PI.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008, 37p. (Embrapa
295 Meio-Norte. Documentos, 181).
- 296 BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M. da; FREIRE FILHO, F. R.; GOMIDE,
297 R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência**
298 **Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p.100-107, 2011.
- 299 BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.
300 Parâmetros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia**
301 **Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 43-50, 2002.
- 302 BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of**
303 **Plants.** Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000.1408p.
- 304 BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends Plant Science** v. 2, p. 48654, 1997.
- 305 CORREIA, K. G.=NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis*
306 *hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Belo
307 Horizonte, v.4, n.2, 2004.
- 308 ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro
309 de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais
310 nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.
- 311 FILHO, F. R. F.; ROCHA, M. D. M.; BRIOSO, P. S. T.; RIBEIRO, V. Q. 'BRS Guariba':
312 white-grain cowpea cultivar for the mid-north region of Brazil. **Crop Breeding and Applied**
313 **Biotechnology**, Londrina, v. 6, n. 2, p. 175-178, June, 2006.
- 314 FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços**
315 **tecnológicos.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-
316 Norte, 2005b. 519 p.

- 317 FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ALCÂNTARA, J. dos P.; BELARMINO FILHO,
318 J.; ROCHA, M. de M. BRS Marataoã: novo cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-
319 verde. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 303, p.771-777, 2005a.
- 320 FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R.;
321 MACHADO, C. de F. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. **Revista**
322 **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p.286-290, jul./set. 2007.
- 323 HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress induced proline accumulation
324 in plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 21, n. 2, p.79-102, 1997.
- 325 HOFFMANN, C. M.=BLOMBERG, M. Estimation of leaf area index of *beta vulgaris* L.
326 based on optical remote sensing data. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v.190,
327 p.197-204, 2004.
- 328 HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo
329 Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.
- 330 JADOSKI, S. O. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro.
331 **Irriga**, Botucatu, v.8, n.1, p.1-9, jan.-abr./ 2003.
- 332 LIMA FILHO, J. M. P. Physiological responses of maize and cowpea to intercropping.
333 **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 05, p.915-921, 2000.
- 334 MATTOS, J. L. S.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M. Crescimento de espécies do gênero
335 Brachiaria, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**,
336 Viçosa, v. 34, n. 3, p.746-754, 2005.
- 337 MENDES, R. M. de S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N. de; PITOMBEIRA, J. B.
338 Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência**
339 **Agrônômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.95-103, 2007.

- 340 NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão caupi para identificação de**
341 **genótipos com tolerância à seca.** 2009. 109p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
342 do Piauí, Teresina.
- 343 NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de
344 crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de**
345 **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.437-443, 2001.
- 346 NOGUEIRA, R. J. M. C.=SANTOS, R. C. dos=BEZERRA NETO, E.=SANTOS, V. F. dos.
347 Comportamento fisiológico de dois cultivares de amendoim submetidos a diferentes regimes
348 hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p. 1963-1969, 1998.
- 349 ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L. de;
350 BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J. A. A; ALCÂNTARA, J. dos P.; RAMOS, S. R. R.;
351 MACHADO, C. de F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de
352 porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,
353 v. 42, n.9, p. 1283-1289, set. 2007.
- 354 SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT user's guide.** Version 8.1. Cary, 2002. v. 1, 890p. 14.
- 355 SCHOLANDER, P. F.=HAMMEL, H. T.=HEMMINGSSEN, E. A.=& BRADSTREET, E. D.
356 Sap pressure in vascular plants. **Science**, v.148, p. 339-346, 1965.
- 357 SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. do; SATOS, J. W. dos. Método para
358 determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas.**
359 Campina Grande, v.8, n.1, jan-abr. 2004.
- 360 SUMMERFIELD, R.J., PATE, J. S., ROBERTS, E.H. and WIEN, H. C. (1985). The
361 physiology of cowpeas (*Vigna unguiculata*). In Cowpea; **Research, Production and**
362 **Utilization** (Eds S. R. Singh and K. O. Rachie). John Wiley and Sons, Chichester, p. 65-101.
- 363 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 719 p.

364 TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B.
 365 Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in
 366 coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104 p. 199-209, 2005.

367

368

Anexos

369 **Tabela 1.** Características físico-hídricas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte,
 370 Teresina, PI.

Característica	Camadas do solo (cm)	
	0-20	20-40
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,23	1,40
Areia grossa (g/kg ⁻¹)	785	434
Areia fina (g/kg ⁻¹)	95	191
Silte (g/kg ⁻¹)	35	170
Argila (g/kg ⁻¹)	86	206
Capacidade de campo (cm ³ . cm ⁻³)	0,22	0,22
Ponto de murcha permanente (cm ³ . cm ⁻³)	0,09	0,11

371 Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

372 **Tabela 2.** Características químicas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte,
 373 Teresina, PI.

Prof. (m)	MO g/kg	pH (água)	P (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	V
				----- (cmol _c dm ⁻³) -----						
0,00 ó 0,20 m	4,20	5,78	33,80	0,17	1,47	0,76	0,01	2,15	4,56	52,91
0,20 ó 0,40 m	4,15	5,37	14,10	0,13	1,79	0,58	0,01	3,38	5,89	42,60

374 Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

375 **Tabela 3.** Estimativas de correlação entre a produtividade de grãos verdes (PG), o índice de
 376 área foliar (IAF), teor de clorofila (TCT) e o potencial hídrico foliar (f), da cultivar de
 377 feijão-caupi BRS Paraguaçu.

Parâmetro	PG	IAF	TCT	f
PG	1			
IAF	0,97**	1		
TCT	0,97**	0,96**	1	
f	0,97**	0,93**	0,88**	1

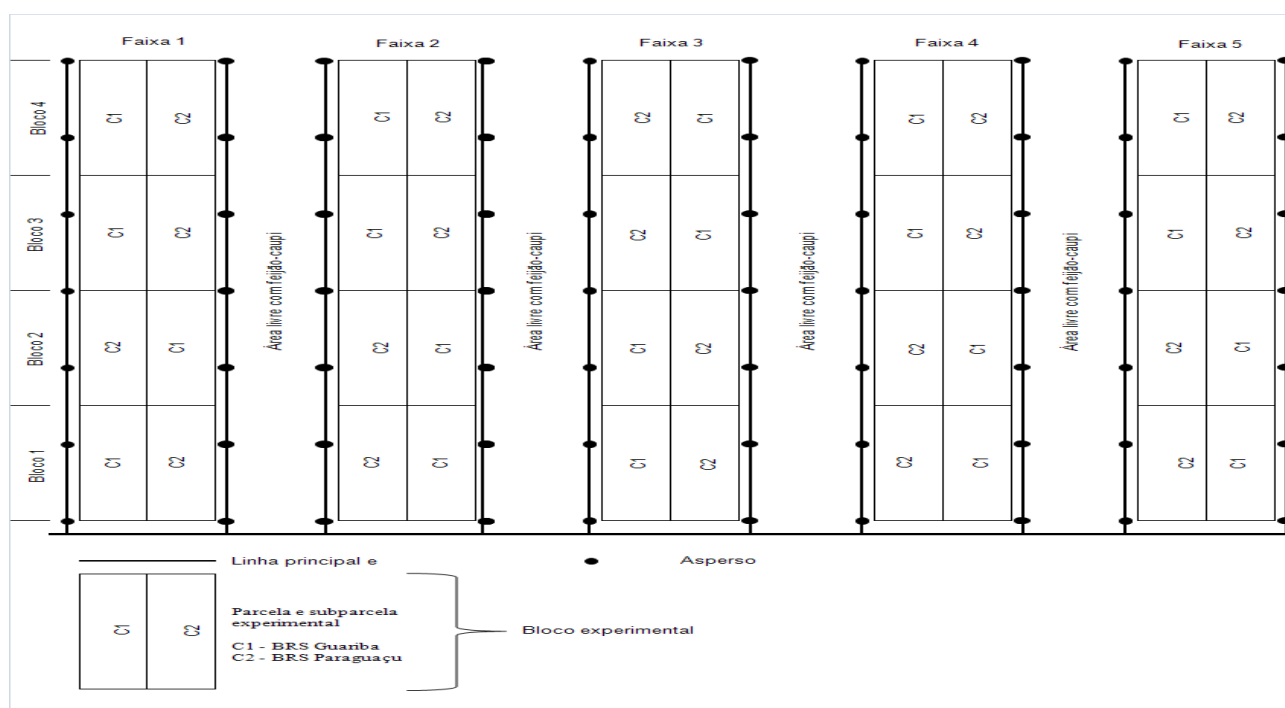
378 ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

379 **Tabela 4.** Estimativas de correlação entre a produtividade de grãos verdes (PG), o índice de
 380 área foliar (IAF), teor de clorofila (TCT) e o potencial hídrico foliar (f), da cultivar de
 381 feijão-caupi BRS Guariba.

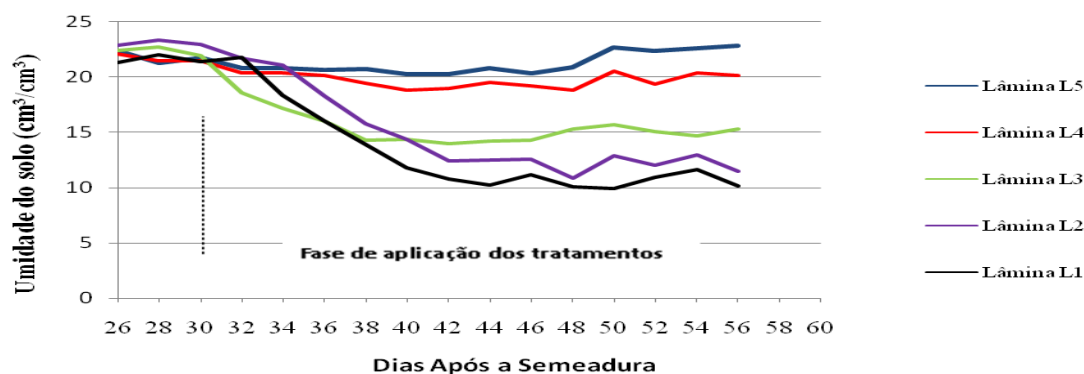
Parâmetro	PG	IAF	TCT	f
PG	1			
IAF	0,84**	1		
TCT	0,93**	0,97**	1	
f	0,95**	0,83**	0,92**	1

382 ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

383

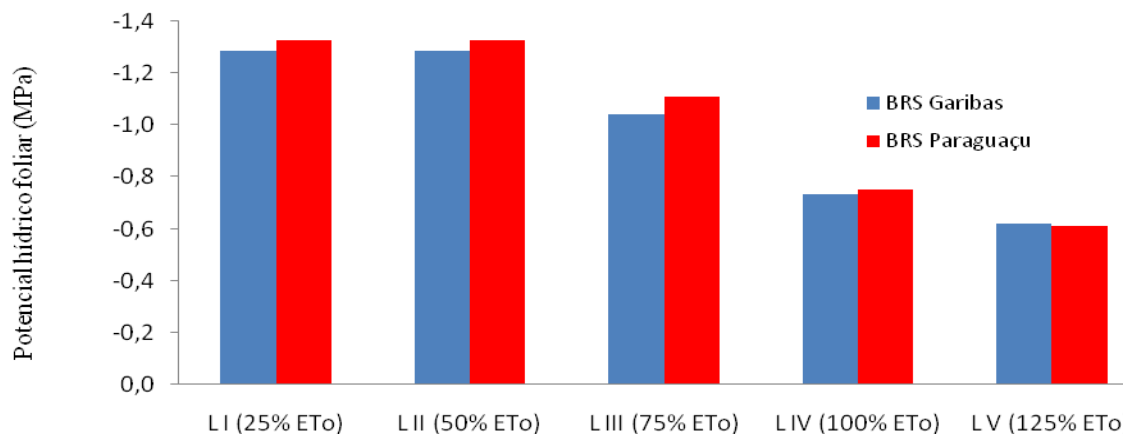


385 **Figura 1.** Croquis da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.



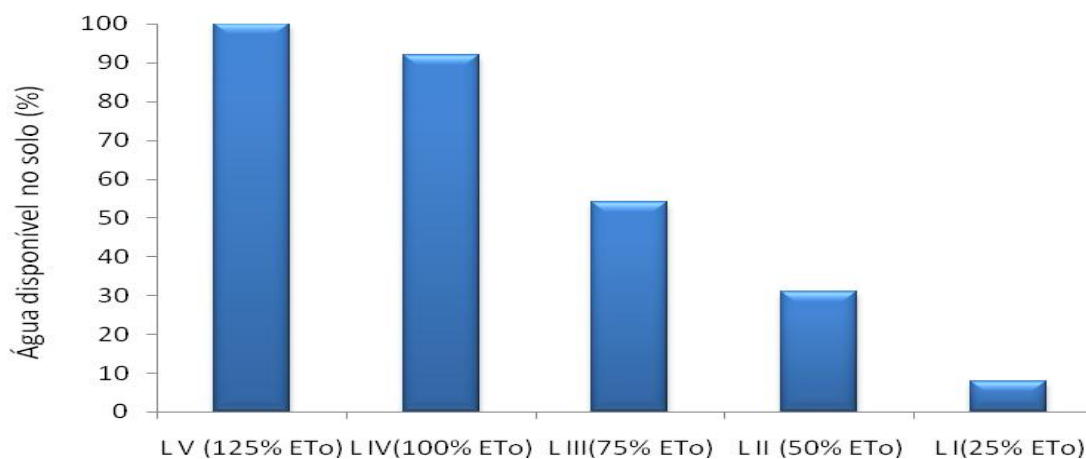
387 **Figura 2.** Variação média do teor de água no solo para profundidade de 0,00 m a 0,20 m, ao
 388 longo do período do 26º ao 56º dias após a semeadura, de feijão-caupi em função das lâminas
 389 de irrigação aplicadas.

390



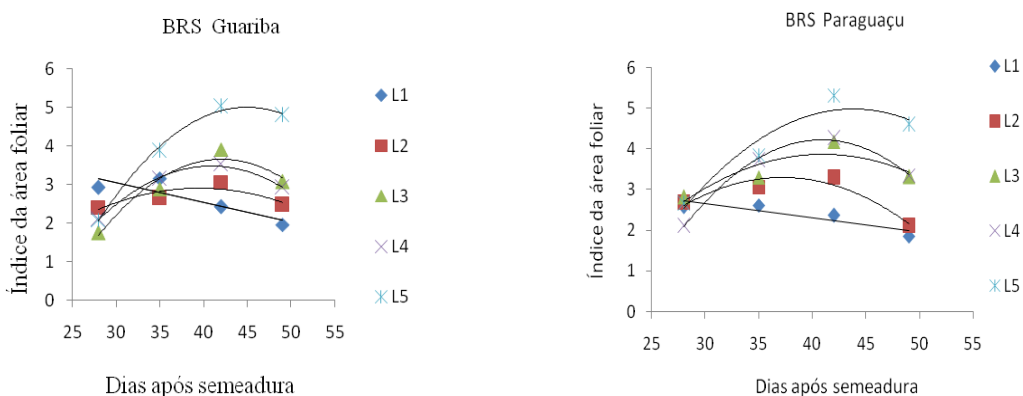
391

392 **Figura 3.** Variação do potencial hídrico foliar, aos 47 dias após a semeadura, das cultivares
 393 de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação
 394 aplicadas.



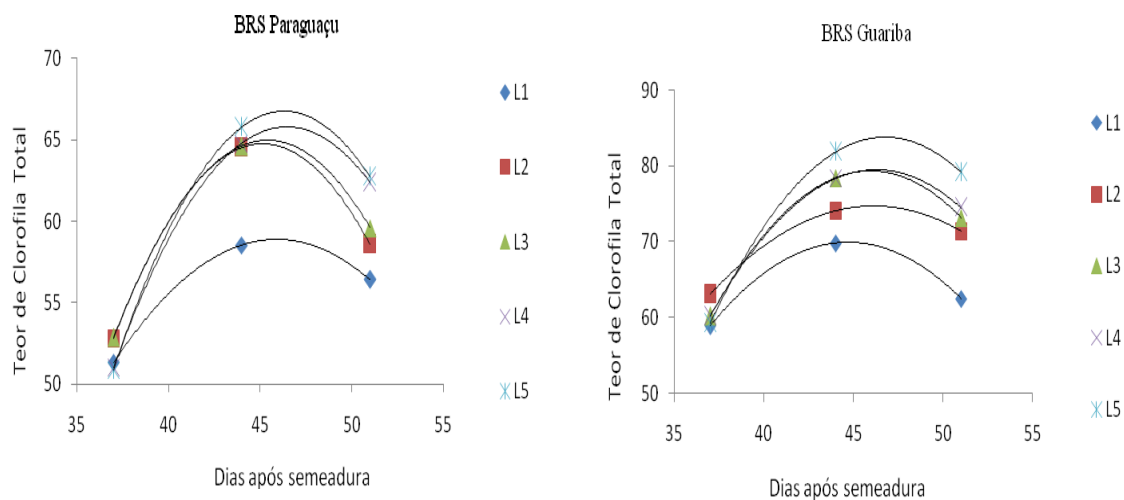
395

396 **Figura 4.** Teor de água disponível no solo, aos 47 dias após a semeadura, das cultivares de
 397 feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação aplicadas.



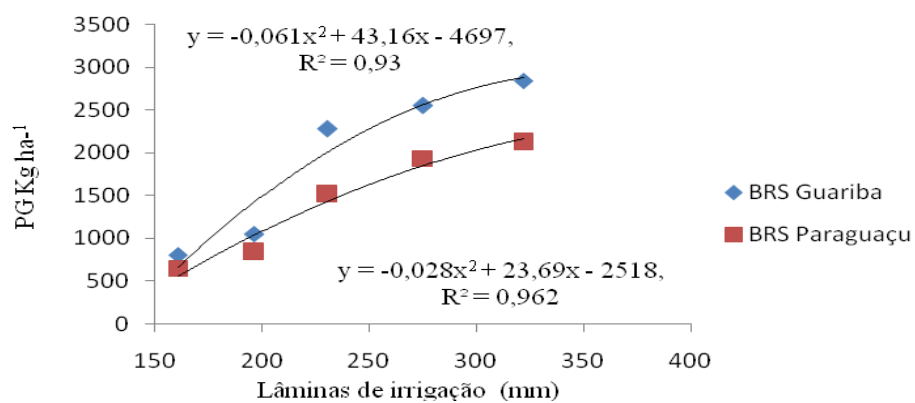
398

399 **Figura 5.** Índice de área foliar (IAF), das cultivares de feijão caupi BRS Paraguaçu e BRS
 400 Guariba, obtidas em função das lâminas de irrigação.



401

402 **Figura 6.** Teor de clorofila total das cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS
 403 Guariba, em função das lâminas de irrigações aplicadas.



404

405 **Figura 7 -** Produtividade de grãos verdes (PG) em função das lâminas de irrigação aplicadas
 406 para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi, Teresina, PI. 2009.

CAPÍTULO III

ESTRATÉGIAS ÓTIMAS DE IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES¹

¹ Manuscrito a ser enviado à Revista Engenharia Agrícola.

ESTRATÉGIAS ÓTIMAS DE IRRIGAÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI PARA PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES¹

HERBERT M. M. RAMOS⁽²⁾, EDSON A. BASTOS⁽³⁾, ADERSON S. DE ANDRADE JÚNIOR⁽³⁾ e WALDIR APARECIDO MAROUELLI⁽⁴⁾

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias de irrigação do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) para produção de grãos verdes, considerando-se a água como fator limitante da produção e diferentes valores para o preço do produto. O estudo foi conduzido na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, durante setembro a novembro de 2009. Foram utilizadas cinco lâminas de irrigação, estabelecidas com base em frações da evapotranspiração de referência (25% ETo, 50% ETo, 75% ETo, 100% ETo e 125% ETo) e duas cultivares de feijão-caupi (BRS Guariba e BRS Paraguaçu). Aplicou-se a irrigação por meio de um sistema por aspersão convencional fixo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e parcelas subdivididas (cultivares). As lâminas de irrigação entre 239 mm e 331 mm (BRS Paraguaçu) e entre 238 mm e 354 mm (BRS Guariba) se mostraram plenamente viáveis na faixa de variação de preço do produto entre US\$ 0,75 kg⁻¹ e US\$ 2,00 kg⁻¹, para as cultivares BRS Paraguaçu e entre US\$ 0,50 kg⁻¹ e US\$ 2,00 kg⁻¹, para a cultivar BRS Guariba, respectivamente. A cultivar BRS Guariba mostrou melhor desempenho econômico quando comparada com a cultivar BRS Paraguaçu.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*, planejamento de irrigação, irrigação com déficit.

⁽¹⁾ Trabalho extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor da UFPI/PPGA.

⁽²⁾ Engenheiro agrônomo, Mestrando em Agronomia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFPI/Teresina - PI, Fone: (0XX86) 3232.6027, Caixa Postal 12.168, CEP 64049-550, E-mail: moreiramos@uol.com.br;

⁽³⁾ Engenheiro agrônomo, D.Sc Irrigação e Drenagem, Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina ó PI,

⁽⁴⁾ Engenheiro agrícola, Ph.D. Irrigação e Drenagem, Pesquisador, Embrapa Hortaliça, Brasília ó DF.

24 **OPTIMAL IRRIGATION STRATEGIES FOR COWPEA GREEN GRAIN PRODUCTION**

25

26 **ABSTRACT:** The purpose of this study was to define optimal strategies for the irrigation of
27 cowpea production, considering water as a limiting factor of production and different values for the
28 price of products. The experiment was carried out at Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí, in a
29 Red-Yellow Eutrophic soil, from September to November of 2009. Two varieties, BRS Guariba and
30 BRS Paraguaçu, were evaluated under different water regimes, based on fractions of a reference
31 evapotranspiration (ET₀ 25%, 50% ET₀ ET₀ 75%, 100% and 125% ET₀ ET₀). Randomized block
32 design was used with four replications and plots. Irrigation was applied through a sprinkle system
33 fixed. The economic water depth ranged from 239 mm to 331 mm and from 238 mm to 354 mm for
34 BRS Paraguaçu and BRS Guariba, respectively. Considering the range of variation in product price
35 from US\$ 0.75 kg⁻¹ to US\$ 2.00 kg⁻¹ (BRS Paraguaçu) and from US\$ 0.50 kg⁻¹ to US\$ 2.00 kg⁻¹
36 (BRS Guariba). The BRS Guariba shows better economic performance when compared with BRS
37 Paraguaçu.

38

39 **KEYWORDS:** *Vigna unguiculata*, planning irrigation, deficit irrigation.

40

41 **INTRODUÇÃO**

42 O feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-macassar é uma das principais fontes de proteína
43 para grande parte da população das regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo cultivado,
44 predominantemente, por agricultores familiares. É uma cultura bastante versátil em termos de
45 mercado, podendo a produção ser comercializada na forma de grãos secos, grãos verdes, vagens
46 verdes, farinha para acarajé e sementes (ROCHA et al. 2007).

47 Segundo FREIRE FILHO et al. (2005b), o feijão-verde é colhido quando as vagens estão bem
48 intumescidas e começam a sofrer uma leve mudança de tonalidade, podendo ser comercializado na
49 forma de vagens ou de grãos debulhados. Segundo os mesmos autores, o consumo de feijão-verde é

50 uma tradição na região Nordeste brasileiro, compondo vários pratos típicos e, por isso, tem se
51 tornado uma importante fonte de emprego e renda em torno das cidades de médio e grande porte da
52 região. Relatam ainda que a preferência do mercado é por vagens de cor roxa, com grãos brancos e
53 hilo pequeno a médio, com anel de hilo de cor clara e sem halo ou com halo vermelho.

54 Atualmente, pesquisas realizadas por instituições públicas, como a Embrapa, têm permitido o
55 lançamento de cultivares de feijão-caupi, as quais possuem, além de resistentes às diversas doenças,
56 caracteres agronômicos altamente favoráveis à produção de grãos secos (ALCÂNTARA et al.,
57 2002; FREIRE FILHO et al., 2005a; FREIRE FILHO et al., 2006; FREIRE FILHO et al., 2007;
58 SANTOS et al., 2007; ROCHA et al., 2007). Estas cultivares, em geral, apresentam uma elevada
59 resposta à irrigação e podem ser utilizadas tanto para a produção de grãos secos, quanto de vagens
60 verdes. Porém, existe uma grande carência de informações sobre o manejo ótimo da água de
61 irrigação para a obtenção do máximo rendimento físico e econômico da cultura.

62 Irrigar de forma a suprir a demanda plena de água da cultura visando maximizar a
63 produtividade é uma questão bastante estudada para muitas culturas. Entretanto, segundo
64 FRIZZONE (2004), mudança fundamental deverá ocorrer na prática da irrigação, nos próximos
65 anos, em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo
66 uso da água e dos impactos ambientais decorrentes do uso da irrigação. Tais fatores deverão
67 motivar mudança de paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que
68 apenas suprir a demanda hídrica das plantas.

69 O enfoque de eficiência econômica, com caráter maior de otimização considera
70 explicitamente aspectos econômicos, como custos e lucros, que não são normalmente considerados
71 no manejo tradicional da irrigação, que tem sido geralmente praticado objetivando maximizar a
72 produtividade. Segundo FIGUEIREDO et al. (2008), no entanto, irrigar visando maximizar o lucro
73 é um problema substancialmente mais complexo e desafiador que irrigar buscando o máximo
74 rendimento físico. Para os autores, uma irrigação ótima, sob o foco econômico, implica na aplicação
75 de menores lâminas em relação à irrigação plena, mesmo que se permitindo alguma conseqüente

76 redução de produtividade, mas com alguma vantagem econômica significativa. Tais benefícios
77 potenciais advêm de três aspectos principais: aumento da eficiência da irrigação; redução dos custos
78 da irrigação e redução dos riscos associados aos impactos ambientais vindos da irrigação plena.

79 De acordo com ANDRADE JÚNIOR et al. (2001), um dos elementos básicos para estudos
80 econômicos relativos ao planejamento de irrigação é a obtenção da função de resposta de produção
81 da cultura à água. A partir da função de resposta, é possível obter a solução ótima para uma
82 determinada combinação insumo-produto, que possa maximizar a receita líquida do produtor.

83 Segundo FRIZZONE & ANDRADE JÚNIOR (2005), a definição de estratégias ótimas de
84 irrigação, com base na análise econômica de funções de produção, pode considerar duas situações.
85 A primeira onde a disponibilidade de terra é o único fator limitante da produção e a água pode ser
86 adquirida e aplicada a um custo unitário constante. A regra da otimização agroeconômica preconiza
87 que a lâmina aplicada deva maximizar a receita líquida por unidade de área. Na segunda situação a
88 disponibilidade de água é o único fator que limita a produção. Nesta condição, a quantidade de terra
89 é relativamente abundante e não limitante. A regra da otimização é atingir a máxima receita líquida
90 por unidade de volume de água, deixando alguma área sem irrigar.

91 Segundo FIGUEIREDO et al.(2008), podem ser identificadas na literatura várias alternativas
92 para definir o manejo ótimo da água de irrigação podendo-se classificá-las em dois grupos. A
93 primeira diz respeito ao aumento da eficiência técnica, ou seja, maximizar a produtividade por
94 unidade de volume de água aplicada. Neste caso, o aumento da eficiência técnica pressupõe
95 produzir o máximo com menor uso de água, sendo este objetivo alcançado com a redução das
96 perdas de água com a melhoria das estruturas de condução e distribuição de água e das técnicas de
97 manejo da irrigação. A segunda está relacionada ao aumento da eficiência econômica, que significa
98 obter o máximo retorno econômico por unidade de área cultivada ou por unidade de volume de água
99 utilizada, dependendo da escassez relativa desses recursos. Enquanto a disponibilidade de terra for
100 escassa em relação à água, o objetivo deverá ser selecionar a lâmina de irrigação que maximiza a

101 receita líquida por unidade de área. Por outro lado, sendo a água restrita em relação à terra, o
102 objetivo deverá ser maximizar a receita líquida por unidade de volume de água.

103 Quando a água se constitui fator limitante à produção agrícola, a utilização de irrigação com a
104 imposição de déficit hídrico controlado às plantas permite maior retorno econômico do que se
105 irrigando sem déficit hídrico (ENGLISH, 1990). A definição de um intervalo de manejo da água de
106 irrigação, a partir de uma função de produção conhecida, permite a utilização racional da irrigação
107 com déficit hídrico controlado. A definição deste intervalo de manejo de irrigação, considerando
108 uma abordagem econômica, pode ser definida como estratégias ótimas de irrigação para o manejo
109 da água de irrigação.

110 Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi definir estratégias ótimas para o manejo da água
111 de irrigação na produção de grãos verdes de duas cultivares de feijão-caupi, considerando-se
112 diferentes valores de preço do produto e a água como fator limitante da produção.

113

114 **MATERIAL E MÉTODOS**

115 O experimento foi conduzido na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí (5°05'S, 42°29'W e
116 72 m), no período de setembro a novembro de 2009. O clima do município, de acordo com a
117 classificação climática de THORNTHWAITE E MATHER (1955), é C1sA'a', caracterizado como
118 subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Durante o trimestre
119 setembro-outubro-novembro ocorre uma concentração de 32% da evapotranspiração potencial
120 anual, sendo que as médias anuais de umidade relativa do ar e de precipitação são de 72,6 % e
121 1.336,5 mm, respectivamente, concentrando a maioria das chuvas nos meses de janeiro a abril
122 (BASTOS & ANDRADE JÚNIOR, 2008).

123 As características químicas e físico-hídricas do solo da área experimental são apresentadas
124 nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

125 TABELA 1. Características químicas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina,
 126 PI. **Chemical characteristics of the experimental area Embrapa Mid-North, Teresina, PI.**

Prof. (m)	MO g/kg	pH (água)	P (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	V
				----- (cmol _c dm ⁻³) -----						(%)
0,00 ó 0,20 m	4,20	5,78	33,80	0,17	1,47	0,76	0,01	2,15	4,56	52,91
0,20 ó 0,40 m	4,15	5,37	14,10	0,13	1,79	0,58	0,01	3,38	5,89	42,60

127 Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte. **Soil Laboratory of Embrapa Mid-North, Teresina, PI.**
 128

129 TABELA 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental, Embrapa Meio-Norte,
 130 Teresina, PI. **Soil Physical and hidric characteristics of the experimental area, Embrapa Mid-**
 131 **North, Teresina, PI.**

Característica	Camadas do solo (cm)	
	0-20	20-40
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,23	1,40
Areia grossa (g/kg ⁻¹)	785	434
Areia fina (g/kg ⁻¹)	95	191
Silte (g/kg ⁻¹)	35	170
Argila (g/kg ⁻¹)	86	206
Capacidade de campo (cm ³ . cm ⁻³)	0,22	0,22
Ponto de murcha permanente (cm ³ . cm ⁻³)	0,09	0,11

132 Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte. **Soil Laboratory of Embrapa Mid-North, Teresina, PI.**

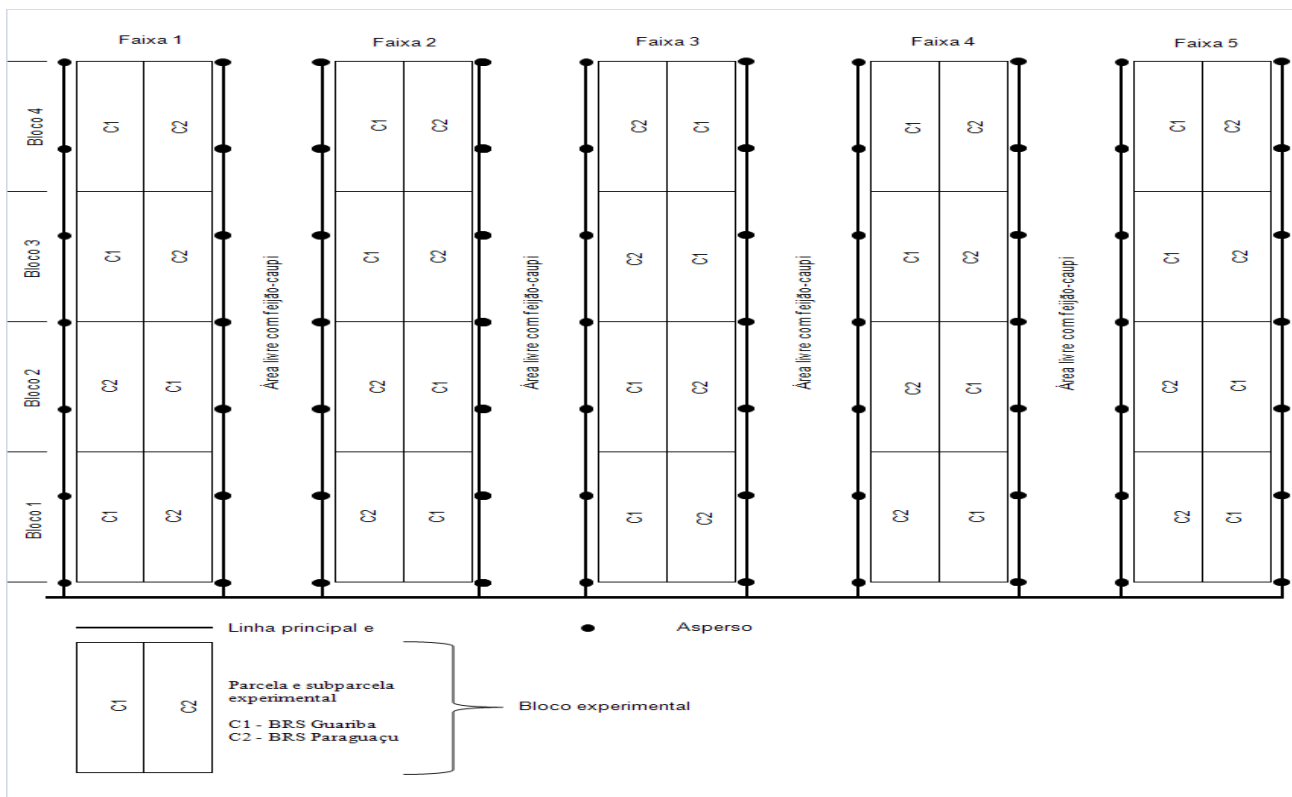
133 Avaliaram-se as cultivares de feijão-caupi BRS Guariba e BRS Paraguaçu. O semeio das
 134 cultivares, realizado no dia 10 de setembro de 2009, foi feito com plantadeira manual, no
 135 espaçamento de 0,7 m x 0,2 m. Aos 15 dias após semeadura foi realizado o desbaste, deixando-se
 136 cinco plantas por metro linear.

137 A adubação de fundação foi realizada com base na análise de solo e consistiu na aplicação de
 138 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e de 40 kg de K₂O ha⁻¹. Aos 20 dias após a semeadura, aplicou-se 20 kg de
 139 N ha⁻¹ em cobertura. Realizaram-se tratos culturais de modo a manter a cultura livre de plantas
 140 invasoras, doenças e pragas.

141 A irrigação foi efetuada por um sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores de
 142 impacto com bocais de 4,4 mm x 3,2 mm, vazão de 1,59 m³ h⁻¹ a uma pressão de serviço de
 143 3,0x10⁶ Pa, espaçados de 12 m x 12 m.

144 Avaliaram-se cinco lâminas de irrigação, estabelecidas em função das seguintes frações da
 145 evapotranspiração de referência (ET_o): 25% ET_o, 50% ET_o, 75% ET_o, 100% ET_o e 125% ET_o. A
 146 evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al.,
 147 1998), tendo sido os dados climatológicos necessários obtidos de uma estação agrometeorológica
 148 automática distante cerca de 500 m da área experimental.

149 O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, com
 150 tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, onde as lâminas de irrigação foram distribuídas nas
 151 parcelas experimentais e as cultivares nas subparcelas (Figura 1).



152
 153 FIGURA 1. Croquis da área experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí. **Design of**
 154 **experimental area, Embrapa Meio Norte, Teresina, Piauí State.**

155 Durante os primeiros 30 dias após a semeadura, as irrigações foram uniformes a fim de
 156 permitir estabelecimento uniforme das plantas em todas as parcelas experimentais. No período, as
 157 irrigações foram realizadas diariamente, sendo a lâmina líquida de água aplicada igual à
 158 evapotranspiração de referência (ET_o). Os tratamentos de irrigações foram iniciados a partir do 31º
 159 dia após a semeadura e estenderam-se até a colheita.

160 Cada tratamento foi constituído por quatro blocos, formados por sete fileiras de plantas de 7,0
161 m de comprimento. A área útil avaliada em cada subparcela experimental foi formada por três
162 fileiras centrais eliminando-se 1,0 m em cada extremidade (3,5 m²).

163 Monitorou-se o teor de água no solo diariamente, em camadas de 0,10 m, até 0,70 m de
164 profundidade, por meio de uma sonda de capacitância elétrica. Instalaram-se três tubos de acesso
165 para medição do teor de água no solo para cada tratamento.

166 A lâmina média de irrigação efetivamente aplicada em cada tratamento foi determinada com
167 base nas medições realizadas, imediatamente após cada irrigação, em 16 coletores, espaçados 3,0 m
168 x 3,0 m, instalados em cada tratamento.

169 A colheita foi realizada aos 56 dias após semeadura quando as vagens estavam bem
170 intumescidas e começavam a sofrer uma leve mudança de tonalidade (FREIRE FILHO et al.,
171 2005b). Ao final da colheita as vagens foram debulhadas e foi avaliada a produtividade de grãos
172 verdes.

173 As funções de produção água-cultura para o feijão-caupi, relacionando as lâminas de irrigação
174 aplicadas e as produtividades de grãos verdes obtidas, foram determinadas conforme FRIZZONE &
175 ANDRADE JÚNIOR (2005). Para tal, utilizou-se uma função de produção água-cultura do tipo
176 polinomial de segundo grau (equação 1).

$$177 \quad Y(w) = a_1 + b_1 w + c_1 w^2 \quad (1)$$

178 em que:

179 $Y(w)$ = representa a produtividade de grãos verdes;

180 W = representa a lâmina de água e

181 a_1 , b_1 e c_1 - coeficientes da equação de regressão.

182 Foi considerada uma função de custo de produção linear (equação 2). Assumiu-se, como
183 condição simplificadora, que a soma dos custos fixos com os custos indiretamente dependentes da
184 quantidade de água aplicada é constante conforme sugerido por ENGLISH (1990) e FRIZZONE &
185 ANDRADE JÚNIOR (2005).

$$186 \quad C(w) = C_o + C_w \times W \quad (2)$$

187 em que:

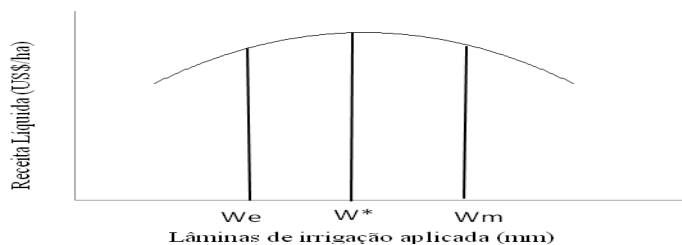
188 $C(w)$ = custo total de produção por unidade de área irrigada (US\$ ha⁻¹);

189 C_o = soma dos custos fixos com os custos indiretamente dependentes da irrigação (US\$ ha⁻¹);

190 C_w = custo da água de irrigação US\$. mm⁻¹ ha⁻¹ e

191 W = lâmina de irrigação (mm).

192 Para a determinação das estratégias ótimas de irrigação, utilizou-se a metodologia proposta
 193 por ENGLISH (1990), que consiste na definição das lâminas máxima, ótima e equivalente para cada
 194 combinação de preço do produto e custo da água (Figura 2). A lâmina máxima (W_m) é a que
 195 proporciona a máxima produtividade fisiológica, a lâmina ótima (W_o) a que proporciona a máxima
 196 receita líquida por volume de água aplicado, para um dado preço do produto (P_c) e um preço da
 197 água (C_w), e a lâmina equivalente (W_e) a que proporciona uma receita líquida igual à lâmina
 198 máxima, conforme descrito pelas equações 3,4,5 e 6.



199

200 FIGURA 2. Receita líquida por unidade de volume de água aplicada, quando a disponibilidade de
 201 água é fator limitante da produção (ENGLISH, 1990). **Net revenue per unit volume of water**
 202 **applied when water availability is a limiting factor of production.**

203 Lâmina máxima:

$$204 \quad W_m = - \frac{b_1}{2c_1} \quad (3)$$

205 Lâmina ótima:

$$206 \quad W_o = \frac{(P_c a_1 - a_2)^{1/2}}{P_c c_1} \quad (4)$$

207 Lâmina equivalente:

$$208 \quad We = \frac{-Z + [Z^2 - 4P_c c_1 (P_c a_1 - a_2)^{1/2}]}{P_c c_1} \quad (5)$$

209 Sendo:

$$210 \quad Z = \frac{P_c b_1^2 - 4 a_2 c_1 + 4 P_c a_1 c_1}{2 b_1} \quad (6)$$

211 em que:

212 a_1 = coeficiente da função de produção, b_1 = coeficiente da função de produção, c_1 =

213 coeficiente da função de produção, a_2 = coeficiente da função de custo, b_2 = Coeficiente da função

214 de custo, P_c = preço do produto.

215 A determinação da receita líquida, para cada combinação de preço do produto (P_c) e preço da
216 água (C_w), foi determinada utilizando-se a equação 7, conforme sugerido por ANDRADE JÚNIOR
217 et al. (2001):

$$218 \quad RL = [P_c Y w_i - (C_o + C_w W_i)] / 10 W_i \quad (7)$$

219 Em que:

220 RL = receita líquida obtida com a aplicação da lâmina W_i (US\$. m^{-3})

221 P_c = preço do produto (US\$. kg^{-1});

222 $Y w_i$ = produção obtida com a aplicação da lâmina W_i ($kg \cdot ha^{-1}$);

223 C_o = soma dos custos fixos com os custos indiretamente dependentes da irrigação (US\$. ha^{-1});

224 C_w = custo da água de irrigação US\$. $mm^{-1} ha^{-1}$;

225 W_i = lâmina máxima, ótima ou equivalente de irrigação (mm).

226 Para o cálculo da água economizada pela irrigação $\Delta(W_i)$, área adicional $\Delta(A)$ e da produção
227 adicional $\Delta Y(w)$, utilizou-se as equações 8, 9 e 10.

$$228 \quad \Delta(W_i) = W_m - W_i \quad (8)$$

$$229 \quad \Delta(A_i) = W_i / W_m \quad (9)$$

230 $\Delta Y(w) = \Delta(A_i) \times Y_{W_m}$ (10)

231 em que:

232 ΔW_i = água economizada com a aplicação da lâmina W_i (mm) em comparação à aplicação da
233 lâmina máxima;

234 W_m = lâmina máxima (mm);

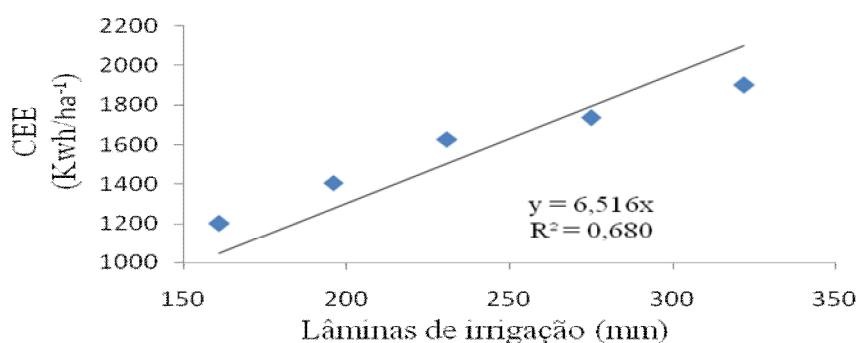
235 W_i = lâmina ótima ou equivalente de irrigação (mm);

236 $\Delta(A_i)$ = área adicional para irrigação com a água economizada (ha);

237 $\Delta Y(w)$ = produção adicional obtida com a aplicação da lâmina economizada ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

238 Y_{W_m} = produção obtida com a aplicação da lâmina W_m ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

239 O preço da água estimado em função do preço do quilowatt-hora (Kwh) de energia elétrica,
240 segundo informações da Eletrobrás Distribuição Piauí, no mês de outubro de 2010, foi de R\$
241 $0,320209 \text{ Kwh}^{-1}$ ou US\$ $0,1884 \text{ Kwh}^{-1}$, convertido em dólar à taxa de câmbio R\$ 1,70 por US\$ 1,0,
242 representando o valor cobrado para a tarifa rural irrigante sem os subsídios da Lei Estadual de
243 incentivo à irrigação. O consumo médio de energia elétrica, para cada lâmina de irrigação, foi
244 obtido em função do tempo de irrigação consumido pela unidade de bombeamento durante a
245 condução do experimento de campo, usando-se motobomba elétrico trifásico de 5 CV/3500 RPM
246 em $\text{Kwh} \cdot \text{ha}^{-1}$, ajustada por meio da equação de regressão (Figura 3).



247
248 FIGURA 3. Consumo médio de energia elétrica (CEE) em função das lâminas de irrigações.
249 **Average consumption of electricity (EEC) as a function of the irrigation depth.**

250 Dessa forma, os custos da água para cada lâmina de irrigação avaliada, que expressou apenas
251 o custo de energia para bombeamento, foram obtidos pela seguinte equação (11):

$$252 \quad C_w = \left(\frac{CEE}{LL} \right) P_e \quad (11)$$

253 em que:

254 C_w = custo da água de irrigação (US\$ mm⁻¹ ha⁻¹);

255 CEE = consumo de energia elétrica durante o ciclo da cultura (kWh. ha⁻¹);

256 LL = lâmina de irrigação total aplicada (mm);

257 P_e = preço do quilowatt-hora de energia elétrica (US\$ kWh⁻¹).

258 O custo médio de produção do feijão-caupi (C_o), excetuando-se o custo da água de irrigação,
259 considerado na análise foi de US\$ 882,35 por hectare, para condições de solo arenoso e de baixa
260 fertilidade natural do estado do Piauí (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002b).

261 O preço médio mensal dos grãos verde do feijão- caupi, no período de janeiro de 2008 a julho
262 de 2010, no mercado atacadista de Teresina, fornecido pela Central de Abastecimento do Piauí S/A,
263 variou de US\$ 0,70 a US\$ 1,50 por quilo.

264 As análises de variância e regressão envolvendo os fatores lâminas de irrigação e
265 produtividades de grãos verdes foram efetuadas utilizando-se o programa computacional estatístico
266 SAS (SAS INSTITUTE, 2002).

267

268 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

269 A aplicação das frações de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo resultou na aplicação das
270 seguintes lâminas totais de irrigação nas duas cultivares de feijão-caupi: 161 mm (L1), 196 mm
271 (L2), 231 mm (L3), 275 mm (L4) e 322 mm (L5), respectivamente. Ressalta-se que durante o
272 período experimental não houve a ocorrência de precipitação pluviométrica, de modo que a resposta
273 produtiva ocorreu apenas em função das lâminas diferenciadas de irrigação aplicadas.

274 A análise de variância (Tabela 4) revelou efeito significativo indicando que as lâminas de
275 irrigação influenciaram a produtividade de grãos verdes do feijão caupi, para as cultivares BRS
276 Guariba e BRS Paraguaçu, respectivamente.

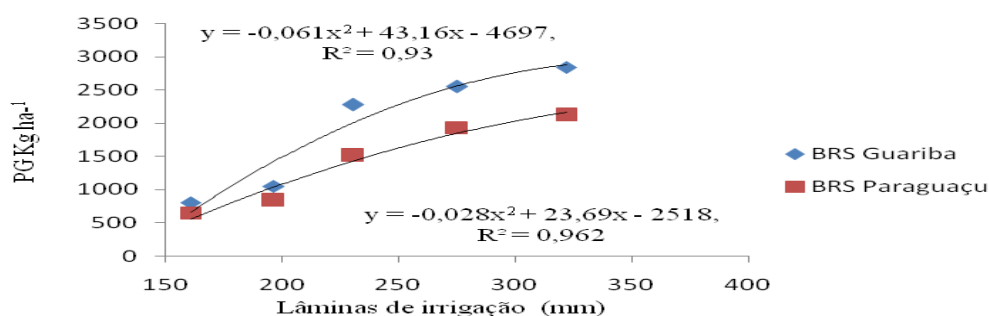
277 **Tabela 3** - Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), em função das
 278 lâminas de irrigação (L) aplicadas para as duas cultivares de feijão-caupi. **Summary of analysis of**
 279 **variance for grain yield of green (PG) as a function of irrigation (L) applied to two cultivars of**
 280 **cowpea.**

F.V	GL	Quadrado médio
		PG
L. x BRS Paraguaçu	4	1700573**
L. x BRS Guariba	4	3373799**

281 ** Significativo ao nível de 5%, pelo teste F.

282 Esses resultados estão de acordo com os obtidos por ANDRADE JÚNIOR et al. (2002a), que
 283 observaram interação significativa das cultivares versus lâminas de irrigação, para a produtividade
 284 de grãos, avaliando diferentes níveis de irrigação para as cultivares BR17 Gurguéia e BR14 Mulato,
 285 nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí.

286 As funções de produção água-cultura para o feijão-caupi, cultivares BRS Guariba e BRS
 287 Paraguaçu, ajustaram-se a uma equação polinomial quadrática (Figura 4). Pelas equações ajustadas,
 288 as lâminas de irrigação que proporcionaram a máxima produtividade física de grãos verdes foram
 289 de 423 mm e 354 mm, respectivamente, para as cultivares BRS Paraguaçu ($2.492,86 \text{ kg ha}^{-1}$) e BRS
 290 Guariba ($2.937,36 \text{ kg ha}^{-1}$). Essas lâminas de irrigação situam-se dentro da faixa considerada como
 291 ideal para a cultura (300 a 450 mm/ciclo) relatada por ANDRADE JÚNIOR et al. (2001).

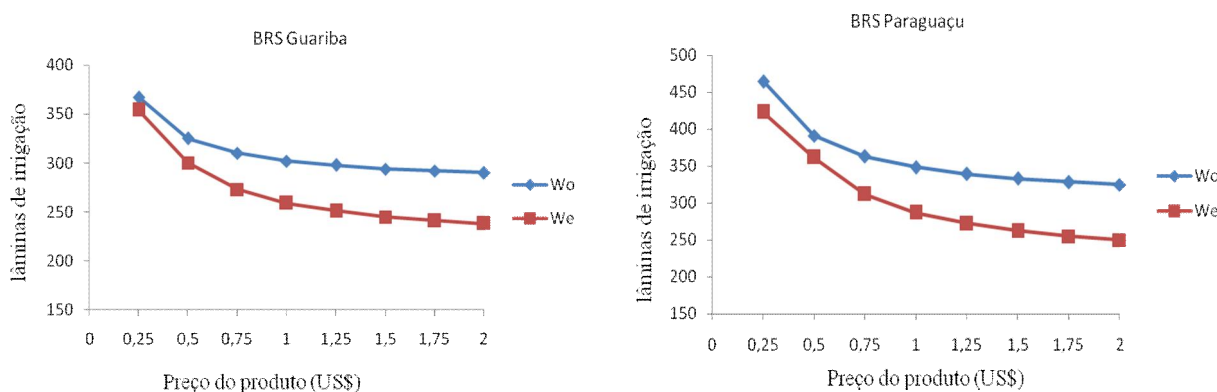


292

293 FIGURA 4. Produtividade de grãos verdes (PG) em função das lâminas de irrigação aplicadas para
 294 as cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba. **Green beans productivity (PG) as a**
 295 **function of irrigation applied to the BRS Paraguaçu and BRS Guariba cowpea cultivars.**

296 Na Figura 5 são apresentados os valores das lâminas ótimas (W_o) e equivalentes (W_e) em
 297 função da variação do preço do feijão-caupi. Verifica-se que à medida que o preço do produto
 298 aumenta as lâminas ótimas (W_o) e equivalentes (W_e) diminuem, aumentando o intervalo de manejo

299 econômico da água. Dessa forma, a economia de água com a aplicação de W_o ou W_e varia de
 300 acordo com o preço do produto. Comportamento semelhante foi verificado por ANDRADE
 301 JÚNIOR et al. (2001).



302

303 FIGURA 5. Lâminas ótimas (W_o) e equivalentes (W_e) em função do preço do produto das
 304 cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu de feijão-caupi. **Optimum water depths (W_o) and**
 305 **equivalent (W_e) as a function of the product price of BRS Guariba and BRS Paraguaçu**
 306 **cowpea cultivars.**

307 Nas Tabelas 4 e 5 são apresentadas as estratégias de irrigação e os valores das lâminas
 308 máxima, ótima e equivalente e as respectivas receitas líquidas obtidas em razão das diferentes
 309 combinações de preço do feijão-caupi e custo fixo de água para as duas cultivares avaliadas. Os
 310 valores inferiores para cada preço do produto representam as lâminas equivalentes (W_e), enquanto
 311 os valores superiores correspondem às lâminas que maximizam a produção (W_m) e as centrais
 312 representam as lâminas que otimizam a receita líquida do produtor (W_o).

313 Dependendo do custo do feijão-caupi, os intervalos de lâmina de irrigação que viabilizam
 314 economicamente a produção de grãos verdes foram de 250 mm a 423 mm, para a cultivar BRS
 315 Paraguaçu, e de 238 mm a 354 mm, para a cultivar BRS Guariba.

316 Entretanto, para o preço na faixa de US\$ 0,50 kg^{-1} , para a cultivar BRS Guariba, e
 317 US\$ 0,75 kg^{-1} , para a cultivar BRS Paraguaçu, até US\$ 2,00 kg^{-1} , a adoção de estratégia para o
 318 manejo econômico de irrigação mostrou-se viável. Por exemplo, com o preço do produto a
 319 US\$ 1,00 o quilo, as receitas líquidas 0,29 US\$ m^{-3} (BRS Paraguaçu) e 0,50 US\$ m^{-3}
 320 (BRS Guariba) obtidas com as lâminas ótimas superaram em 8,0% e 8,70% as receitas líquidas

321 0,26 US\$ m⁻³ (BRS Paraguaçu) e 0,46 US\$ m⁻³ (BRS Guariba) obtidas com aplicação das lâminas
322 que proporcionaram as máximas produções físicas e as lâminas equivalentes (Tabela 4 e 5).

323 TABELA 4. Estratégias de irrigação, lâminas máxima, ótima e equivalente e respectivas receitas
324 líquidas (RL) com as diferentes combinações de preço do produto (Pc), considerando custo da água
325 (Cw) de US\$ 1,253 (mm ha⁻¹) da cultivar BRS Paraguaçu. **Irrigation strategies, slides maximum,**
326 **optimum and equivalent and its net revenues (NR) with different combinations of price (Pc),**
327 **considering the cost of water (Cw) of U.S. \$ 1.253 (mm ha⁻¹) cowpea BRS Paraguaçu.**

Pc (US\$ kg ⁻¹)	BRS Paraguaçu					
	W ⁽¹⁾ (mm)	Y(w) (kg.ha ⁻¹)	RL (US\$ m ⁻³)	ΔW ⁽¹⁾ (mm)	ΔA (ha)	ΔY(w) (kg.ha ⁻¹)
0,50	423,0	2492,86	-0,04	-	-	-
	391,1	2464,29	-0,04	-	-	-
	361,6	2387,04	-0,04	-	-	-
0,75	423,0	2492,86	0,11	-	-	-
	363,2	2392,75	0,13	59,79	0,14	352,35
	311,9	2147,03	0,11	111,13	0,26	654,89
1,00	423,0	2492,86	0,26	-	-	-
	348,5	2337,24	0,29	74,55	0,18	439,32
	287,1	1975,23	0,26	135,97	0,32	801,21
1,25	423,0	2492,86	0,40	-	-	-
	339,3	2296,63	0,46	83,71	0,20	493,31
	272,2	1855,58	0,40	150,86	0,36	889,01
1,50	423,0	2492,86	0,55	-	-	-
	333,1	2266,24	0,63	89,96	0,21	530,14
	262,2	1768,91	0,55	160,80	0,38	947,53
1,75	423,0	2492,86	0,70	-	-	-
	328,5	2242,81	0,80	94,50	0,22	556,87
	255,1	1703,62	0,70	167,89	0,40	989,34
2,00	423,0	2492,86	0,84	-	-	-
	325,1	2224,25	0,97	97,94	0,23	577,16
	249,8	1652,80	0,84	173,21	0,41	1020,69

328 ¹⁾ Para cada valor de Pc, os valores de W correspondem às lâminas W_m, W_o e W_e. **For each value**
329 **of Pc, the values of W correspond to the irrigation depths W_m, W_o and W_e.**

330 TABELA 5. Estratégias de irrigação, lâminas máxima, ótima e equivalente e respectivas receitas
 331 líquidas (RL) com as diferentes combinações de preço do produto (Pc), considerando custo da água
 332 (Cw) de US\$ 1,253 (mm ha⁻¹) da cultivar BRS Guariba. **Irrigation strategies, slides maximum,**
 333 **optimum and equivalent and its net revenues (NR) with different combinations of price (Pc),**
 334 **considering the cost of water (Cw) of U.S. \$ 1.253 (mm ha⁻¹) cowpea BRS Guariba.**

Pc (US\$ kg ⁻¹)	BRS Guariba					
	W ⁽¹⁾ (mm)	Y(w) (kg.ha ⁻¹)	RL (US\$ m ⁻³)	ΔW ⁽¹⁾ (mm)	ΔA (ha)	ΔY(w) (kg.ha ⁻¹)
0,25	353,8	2937,37	-0,17	-	-	-
	367,2	2926,31	-0,17	-	-	-
	353,8	2937,37	-0,17	-	-	-
0,50	353,8	2937,37	0,04	-	-	-
	325,5	2888,50	0,05	28,30	0,08	235,00
	299,4	2757,24	0,04	54,34	0,15	451,19
0,75	353,8	2937,37	0,25	-	-	-
	310,3	2822,10	0,27	43,47	0,12	360,93
	272,2	2531,21	0,25	81,60	0,23	677,52
1,00	353,8	2937,37	0,46	-	-	-
	302,4	2776,59	0,50	51,34	0,15	426,27
	258,5	2384,20	0,46	95,23	0,27	790,68
1,25	353,8	2937,37	0,66	-	-	-
	297,6	2744,97	0,73	56,16	0,16	466,30
	250,4	2285,11	0,66	103,41	0,29	858,58
1,50	353,8	2937,37	0,87	-	-	-
	294,4	2722,00	0,96	59,42	0,17	493,35
	244,9	2214,53	0,87	108,86	0,31	903,84
1,75	353,8	2937,37	1,08	-	-	-
	292,0	2704,64	1,19	61,77	0,17	512,86
	241,0	2161,89	1,08	112,75	0,32	936,18
2,00	353,8	2937,37	1,29	-	-	-
	290,2	2691,07	1,43	63,54	0,18	527,59
	238,1	2121,19	1,29	115,67	0,33	960,42

335 ⁽¹⁾ Para cada valor de Pc, os valores de W correspondem às lâminas W_m, W_o e W_e. **For each value**
 336 **of Pc, the values of W correspond to the irrigation depths W_m, W_o and W_e.**

337 Para o preço do produto a US\$ 1,00 o quilo, a lâmina ótima é de 348,5 mm para a cultivar
 338 BRS Paraguaçu (Tabela 4) e de 302,4 mm, para a cultivar BRS Guariba (Tabela 5), o que
 339 corresponde a uma economia de água de 74,55 mm e 51,34 mm, respectivamente, em relação à
 340 lâmina para irrigação que proporcionou a máxima produção física 423,0 mm (BRS Paraguaçu) e
 341 353,8 mm (BRS Guariba). Com esta economia de água, é possível aumentar em 0,18ha e 0,15ha a

342 área a ser irrigada, gerando uma produtividade adicional de 439,32 kg.ha⁻¹ e 426,27 kg.ha⁻¹, para as
343 cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente.

344 Considerando-se as receitas líquidas das duas cultivares, para uma mesma combinação de
345 preço do produto e custo da água, a cultivar BRS Guariba foi superior a BRS Paraguaçu, por
346 unidade de volume de água, ou seja, a cultivar BRS Guariba proporciona maior receita líquida e
347 maior produtividade de grãos verdes quando comparada com a cultivar BRS Paraguaçu, indicando
348 que ser usada, preferencialmente, para a produção de grãos verdes.

349 Ressalta-se que a qualidade dos grãos verdes, não foi afetada pela adoção da estratégia para o
350 manejo econômico da irrigação.

351

352 CONCLUSÕES

353 1) A adoção de estratégia para o manejo econômico da irrigação do feijão-caupi, visando a
354 produtividades de grãos verdes, mostra-se plenamente viável na faixa de variação de preço
355 de produto de US\$ 0,75 kg⁻¹ a US\$ 2,00 kg⁻¹ e US\$ 0,50 kg⁻¹ a US\$ 2,00 kg⁻¹, para as
356 cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba, respectivamente,

357 2) Os intervalos de lâmina de irrigação que viabilizam economicamente a produção de grãos
358 verdes foram de 250 mm a 423 mm, para a cultivar BRS Paraguaçu e de 238 mm a 354 mm,
359 para a cultivar BRS Guariba.

360 3) A cultivar BRS Guaribas mostra melhor desempenho econômico e produtivo no que
361 concerne às receitas líquidas e produtividades de grãos verdes quando comparada com a
362 cultivar BRS Paraguaçu.

363

364 AGRADECIMENTOS

365 A Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, pelo suporte financeiro, técnico e logístico na condução
366 deste trabalho.

367

368 **REFERÊNCIAS**

- 369 ALCÂNTARA, J. dos P.; MONTEIRO, I. D.; VASCONCELOS, O. L.; FREIRE FILHO, F. R.;
- 370 RIBEIRO, V. Q. BRS Paraguaçu, novo cultivar de caupi de porte "enramador" e tegumento branco
- 371 para o Estado da Bahia. **Revista Ceres**, v. 49, n. 286, p. 695-703, 2002.
- 372 ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for**
- 373 **computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage
- 374 Paper, 56).
- 375 ANDRADE JUNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.;
- 376 RODRIGUES, B. H. N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa**
- 377 **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p. 301-305, 2001.
- 378 ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SANTOS, A. A. dos; ATHAYDE SOBRINHO, C.; BASTOS, E.
- 379 A.; MELO, F. de B.; VIANA, F. M. P.; FREIRE FILHO, F. R.; CARNEIRO, J. da S.; ROCHA, M.
- 380 de M.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S. da; RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna***
- 381 ***unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002b. 108p. (Embrapa Meio-Norte.
- 382 **Sistemas de Produção**, 2). Editor Técnico: Valdenir Queiroz Ribeiro.
- 383 ANDRADE JUNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.;
- 384 BASTOS, E. A.; MELO, F. de B. Níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira**
- 385 **de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.1, p.17-20, 2002a.
- 386 BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Boletim Agrometeorológico do ano de 2008 para o**
- 387 **município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008, 37p. (Embrapa Meio-Norte.
- 388 **Documentos**, 181).
- 389 ENGLISH, M. J. Déficit irrigation. I. Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage**
- 390 **Engineering**, Reston, v.116, n.3, p.339-412, 1990.
- 391 FIGUEIREDO, M. G.; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de
- 392 irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor.
- 393 **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-87, 2008.

- 394 FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C.
395 de F. Novo gene produzindo cotilédone verde em feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**,
396 Fortaleza, v. 38, n. 3, p.286-290, jul./set. 2007.
- 397 FILHO, F. R. F.; ROCHA, M. D. M.; BRIOSO P. S. T.; RIBEIRO, V. Q. 'BRS Guariba': white-
398 grain cowpea cultivar for the mid-north region of Brazil. **Crop Breeding and Applied**
399 **Biotechnology**, Londrina, v. 6, n. 2, p. 175-178, June 2006.
- 400 FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ALCÂNTARA, J. dos P.; BELARMINO FILHO, J.;
401 ROCHA, M. de M. BRS Marataoã: novo cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-verde.
402 **Revista Ceres**, v.52, n. 303, p. 771-777, 2005a.
- 403 FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos. **Melhoramento**
404 **genético**. In: Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Editores técnicos: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA,
405 J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.29-92, 2005b.
- 406 FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. (Ed.). **Planejamento de irrigação: análise de**
407 **decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio
408 Norte, 2005. 627 p.
- 409 FRIZZONE, J. A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios.
410 **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 15, único, p. 37-56, 2004.
- 411 ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L. de;
412 BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J. A. A; ALCÂNTARA, J. dos P.; RAMOS, S. R. R.;
413 MACHADO, C. de F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte
414 semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.42, n.9,
415 p.1283-1289, set. 2007.
- 416 ROCHA, M. de M.; SOARES, M. da C.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V.
417 Q. Avaliação preliminar de genótipos de feijão-caupi para feijão-verde. **Revista Científica Rural**,
418 Bagé, RS, v. 12, n. 1, p. 153-156, 2007.

- 419 SANTOS, C. A. F.; SANTOS, I. C. N. dos; RODRIGUES, M. A. BRS Pujante: nova cultivar de
420 feijão-caupi para áreas irrigadas e de sequeiro do vale do rio São Francisco. **Horticultura**
421 **Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, ago. 2007.
- 422 SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT user's guide**. Version 8.1. Cary, 2002. v. 1, 890p.14.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se que, de toda água utilizada no mundo, 70% é destinada à irrigação, é relevante que se evite ao máximo o desperdício desse importante recurso natural, sendo que os aspectos relacionados ao fornecimento adequado de água às plantas vêm sendo objeto de grande parte das pesquisas sobre agricultura irrigada. Do ponto de vista do manejo de água nos sistemas irrigados, é fundamental a definição do momento das irrigações, pois a aplicação de água no momento certo é um dos fatores mais importantes para o sucesso do empreendimento.

Visto que, nos últimos anos, a cultura do feijão-caupi vem adquirindo uma maior expressão econômica, e seu cultivo tem sido realizado em áreas irrigadas, onde se emprega tecnologias mais adequadas na produção e as pesquisas têm permitido o lançamento de variedades de feijão-caupi que, além de resistentes às doenças, possuem caracteres agrônômicos altamente favoráveis à produção de grãos secos ou verdes. É importante conhecer a capacidade de resposta aos níveis de déficit hídrico, bem como a relação entre consumo de água e produtividade.

Com os resultados apresentados nesta pesquisa pôde-se observar o efeito extremamente deletério do déficit hídrico sobre a produtividade de grãos verdes e os componentes de produção do feijão-caupi. Observa-se ainda a ocorrência de alterações fisiológicas nas plantas de feijão-caupi quando submetidas às condições de estresse hídrico, bem como a viabilidade econômica do manejo de irrigação para produção de grãos verdes ou vagens verdes do feijão-caupi.

Recomenda-se a realização de pesquisas regionais visando avaliar outras cultivares de feijão-caupi e de novas pesquisas que auxiliem no avanço da adoção de novas tecnologias para a melhorar a produtividade de grãos verdes ou vagens verdes.

Recomenda-se ainda a realização de pesquisas com vista avaliar outros caracteres com facilidade de abertura de vagens verdes, facilidade de soltura dos grãos de vagens verdes, tempo de cocção e teor de zinco, bem como os melhores espaçamentos, população e densidade de plantas.

Essa pesquisa credencia o feijão-caupi a receber uma maior atenção por parte das políticas de abastecimento, visando diminuir o risco associado à variação de preço.

ANEXOS

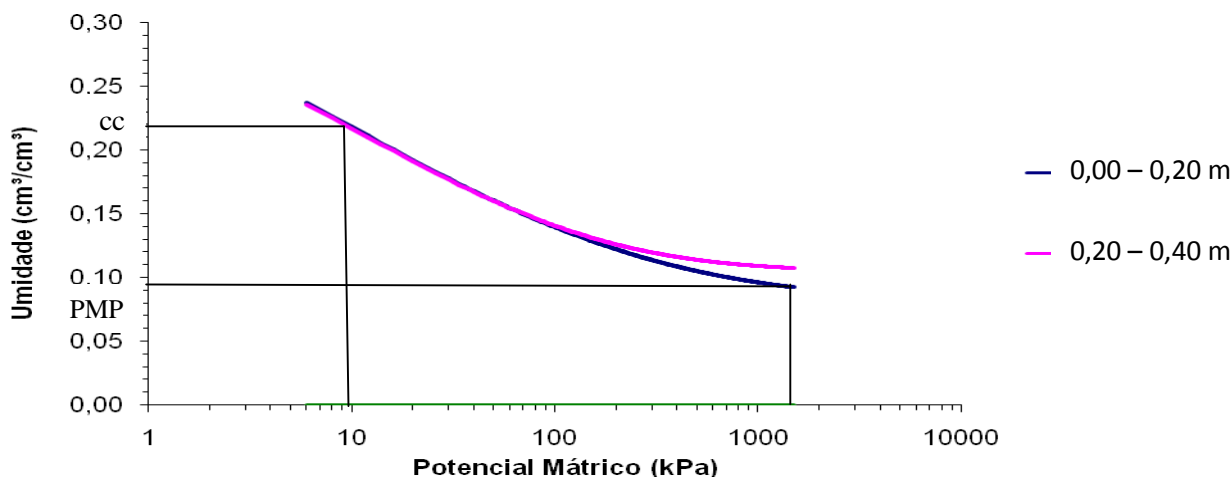


Figura 1. Curva de retenção de água da área experimental Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

Tabela 1 - Médias dos componentes de produção; número de vagens por planta (NVP), peso de vagens (PV), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG), comprimento médio de 10 vagens (CMV); produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso de água para produção de grão (EUAPG) e de vagem (EUAPV) do feijão-caupi das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu e Lâminas de irrigação (L) Teresina, PI. 2009.

Características agronômicas	Cultivar	Lâminas de irrigação (mm)					Médias
		161	196	231	275	322	
NVP	BRS Paraguaçu	6,0	9,0	15,0	16,0	14,0	12,0
	BRS Guariba	6,0	7,0	14,0	16,0	21,0	13,0
	Médias	6,0	8,0	14,5	16,0	17,5	
PV (kg ha ⁻¹)	BRS Paraguaçu	1380	1962	2712	2872	3921	2569
	BRS Guariba	1567	1997	3636	3562	5327	3218
	Médias	1473	1979	31740	3217	4624	
NGV	BRS Paraguaçu	11,0	10,0	13,0	15,0	15,0	13,0
	BRS Guariba	9,0	11,0	11,0	11,0	12,0	11,0
	Médias	10,0	10,5	12,0	13,0	13,5	
MCG (g)	BRS Paraguaçu	25,14	25,92	25,15	25,08	27,49	26
	BRS Guariba	29,62	29,45	29,42	32,75	32,33	31
	Médias	27,73	28,19	27,29	28,92	29,91	
CMV (cm)	BRS Paraguaçu	17,42	17,67	18,87	19,60	19,80	18,67
	BRS Guariba	17,57	17,85	18,12	17,95	18,97	18,09
	Médias	17,50	17,76	18,50	18,78	19,39	
PG (kg ha ⁻¹)	BRS Paraguaçu	651	839	1514	1935	2125	1413
	BRS Guariba	808	1053	2280	2555	2844	1908
	Médias	730	946	1897	2340	2390	
EUAPG (kg/ha/mm)	BRS Paraguaçu	4,05	4,27	6,56	7,73	6,02	5,73
	BRS Guariba	5,03	5,36	9,89	9,29	8,84	7,68
	Médias	4,54	4,82	8,23	8,51	7,43	
EUAPV (kg/ha/mm)	BRS Paraguaçu	8,58	9,98	11,76	10,44	12,19	10,59
	BRS Guariba	9,75	10,16	15,76	12,95	16,56	13,04
	Médias	9,17	10,07	13,76	11,70	14,38	

Tabela 2. Médias do potencial hídrico foliar (ψ) MPa, aos 47 dias após a semeadura, das cultivares de feijão-caupi BRS Paraguaçu e BRS Guariba, em função das lâminas de irrigação aplicadas, Teresina, PI. 2009.

Característica fisiológica	Cultivar	Lâminas de irrigação (mm)					Médias
		161	196	231	275	322	
f	BRS Paraguaçu	-0,60	-0,80	-1,10	-1,30	-1,30	-1,02
	BRS Guariba	-0,60	-0,70	-1,00	-1,30	-1,30	-0,98
	Médias	-0,60	-0,75	-1,05	-1,30	-1,30	

Tabela 3. Médias do índice de área foliar (IAF) ao longo do período do 22º ao 56º dias após a semeadura (DAS), do feijão-caupi das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu e Lâminas de irrigação (L) Teresina, PI. 2009.

Lâminas de irrigação	Cultivar	Índice de área foliar (IAF)				Médias
		DAS				
		28	35	42	49	
L1 161 mm	BRS Paraguaçu	2,75	2,82	2,37	1,86	2,45
	BRS Guariba	2,92	3,16	2,43	1,97	2,62
L2 196 mm	BRS Paraguaçu	2,67	3,07	3,29	2,10	2,78
	BRS Guariba	2,41	2,65	3,06	2,48	2,65
L3 231 mm	BRS Paraguaçu	2,82	3,30	4,18	3,32	3,41
	BRS Guariba	1,76	2,89	3,91	3,08	2,91
L4 275 mm	BRS Paraguaçu	2,11	3,72	4,27	3,35	3,36
	BRS Guariba	2,10	3,15	3,52	2,92	2,92
L5 322 mm	BRS Paraguaçu	2,65	3,85	5,11	4,59	4,05
	BRS Guariba	2,09	3,87	5,02	4,79	3,94

Tabela 4. Médias do teor de clorofila total ao longo do período do 37º ao 51º dias após a semeadura (DAS), do feijão-caupi das cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu e lâminas de irrigação (L), Teresina, PI. 2009.

Teor de clorofila total	Cultivar	DAS			Médias
		37	44	51	
L1 161 mm	BRS Paraguaçu	51,34	58,53	56,40	55,42
	BRS Guariba	58,89	69,80	62,46	63,72
L2 196 mm	BRS Paraguaçu	52,82	64,52	58,58	58,67
	BRS Guariba	63,00	74,14	71,41	69,52
L3 231 mm	BRS Paraguaçu	52,84	64,59	59,58	59,00
	BRS Guariba	60,20	78,40	73,17	70,59
L4 275 mm	BRS Paraguaçu	51,03	64,76	62,36	59,39
	BRS Guariba	60,20	78,40	74,51	71,04
L5 322 mm	BRS Paraguaçu	50,88	65,76	62,71	59,78
	BRS Guariba	59,26	81,86	79,17	73,43

Tabela 5 - Resumo de análises de variância do número de vagens verdes por planta em raiz quadrada (RQNVP), comprimento médio vagens verdes (CMV), número de grãos verdes por vagem em raiz quadrada (RQNGV) e do peso de vagens verdes (PV) do efeito das lâminas de irrigação (L) aplicadas do feijão-caupi na cultivar BRS Paraguaçu.

F.V	GL	Quadrado médio			
		RQNVP	CMV	RQNGV	PV
L 1	1	4.7543 ^{**}	17.4330 ^{**}	1.5822 ^{**}	14347635.81 ^{**}
L 2	1	2.0589 ^{**}	0.4462 ^{n.s}	0.0187 ^{n.s}	440.25 ^{n.s}
L 3	1	0.1473 ^{n.s}	0.7117 ^{n.s}	0.3712 ^{**}	259726.90 ^{n.s}
L 4	1	0.2480 [*]	0.3039 ^{n.s}	0.1525 ^{n.s}	28308.78 ^{n.s}
Erro Comb.	27	0.0570	0.6496	0.0444	169154.42
CV(a)		6.97	4.38	6.15	14.21

*, ** Significativamente ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F; ^{n.s} Não significativos pelo teste F.

Tabela 6 - Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), massa de cem grãos verdes (MCG), eficiência do uso de água para produtividade de grãos verdes (EUAPG) e para vagens verdes (EUAPV) do efeito das lâminas de irrigação (L) aplicadas do feijão-caupi na cultivar BRS Paraguaçu.

F.V	GL	Quadrado médio			
		PG	MCG	EUAPG	EUAPV
L 1	1	5738481.98 ^{**}	1.2683 ^{n.s}	19.7979 ^{**}	22.3673 ^{**}
L 2	1	455149.40 ^{**}	6.4434 ^{n.s}	10.5217 ^{**}	1.9520 ^{n.s}
L 3	1	591631.30 ^{**}	8.8832 ^{n.s}	7.7516 ^{**}	4.5401 ^{n.s}
L 4	1	17027.36 ^{n.s}	1.9459 ^{n.s}	0.8582 ^{n.s}	4.5039 ^{n.s}
Erro Comb.	27	44667.56	8.9953	0.9007	2.8170
CV(a)		12.72	10.55	14.15	14.20

*, ** Significativamente ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F; ^{n.s} Não significativos pelo teste F.

Tabela 7 - Resumo de análises de variância do número de vagens verdes por planta em raiz quadrada (RQNVP), comprimento médio vagens verdes (CMV), número de grãos verdes por vagem em raiz quadrada (RQNGV) e do peso de vagens verdes (PV) do efeito das lâminas de irrigação (L) aplicadas do feijão-caupi na cultivar BRS Guariba.

F.V	GL	Quadrado médio			
		RQNVP	CMV	RQNGV	PV
L 1	1	12.8357 ^{**}	3.5363 [*]	0.4669 ^{**}	32965213.33 ^{**}
L 2	1	0.1408 ^{n.s}	0.2443 ^{n.s}	0.0106 ^{n.s}	35287.58 ^{n.s}
L 3	1	0.1148 ^{n.s}	0.5413 ^{n.s}	0.2166 ^{**}	327352.89 ^{n.s}
L 4	1	0.5004 ^{**}	0.1579 ^{n.s}	0.0360 ^{n.s}	2507403.01 ^{**}
Erro Comb.	27	0.0570	0.6496	0.0444	169154.42
CV(a)		6.97	4.38	6.15	14.21

*, ** Significativamente ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F; ^{n.s} Não significativos pelo teste F.

Tabela 8 - Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), massa de cem grãos verdes (MCG), eficiência do uso de água para produtividade de grãos verdes (EUAPG) e para vagens verdes (EUAPV) do efeito das lâminas de irrigação (L) aplicadas do feijão-caupi na cultivar BRS Guariba.

F.V	GL	Quadrado médio			
		PG	MCG	EUAPG	EUAPV
L 1	1	12016853.72 ^{**}	31.5056 ^{n.s}	48.4971 ^{**}	103.3452 ^{**}
L 2	1	543837.69 ^{**}	0.7529 ^{n.s}	17.6335 ^{**}	2.4460 ^{n.s}
L 3	1	210004.24 ^{**}	8.6314 ^{n.s}	2.8039 ^{n.s}	3.5055 ^{n.s}
L 4	1	724502.10 ^{**}	3.8529 ^{n.s}	15.9809 ^{**}	46.4876 ^{**}
Erro Comb.	27	44667.56	8.9953	0.9007	2.8170
CV(a)		12.72	10.55	14.15	14.20

^{*}, ^{**} Significativamente ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F; ^{n.s} Não significativos pelo teste F.

Tabela 9 - Resumo de análises de variância do número de vagens verdes por planta em raiz quadrada (RQNVP), comprimento médio vagens verdes (CMV), número de grãos verdes por vagem em raiz quadrada (RQNGV) e do peso de vagens verdes (PV) do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas para as duas cultivares de feijão-caupi.

F.V	GL	Quadrado médio			
		RQNVP	CMV	RQNGV	PV
L. x BRS Paraguaçu	4	1.8022 ^{**}	4.7237 ^{**}	0.5312 ^{**}	3723778 ^{**}
L. x BRS Guariba	4	3.3980 ^{**}	1.1200 [*]	0.1826 ^{**}	8958814 ^{**}

^{*}, ^{**} Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 10 - Resumo de análises de variância da produtividade de grãos verdes (PG), massa de cem grãos verdes (MCG), eficiência do uso de água para produtividade de grãos verdes (EUAPG) e para vagens verdes (EUAPV) em função das lâminas de irrigação (L) aplicadas para as duas cultivares de feijão-caupi.

F.V	GL	Quadrado médio			
		PG	MCG	EUAPG	EUAPV
L. x BRS Paraguaçu	4	1700573 ^{**}	4.635 ^{n.s}	9.7324 ^{**}	8.3408 [*]
L. x BRS Guariba	4	3373799 ^{**}	11.185 ^{n.s}	21.2288 ^{**}	38.9461 ^{**}

^{*}, ^{**} Significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ^{n.s} Não significativo pelo teste F.

Tabela 11. Equações de regressão do número de vagens por planta em raiz quadrada (RQNVP), comprimento médio de 10 vagens (CMV), número de grãos por vagem em raiz quadrada (RQNGV), massa de 100 grãos (MCG), peso de vagens (PV), produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso de água para produção de grão (EUAPG) e vagem (EUAPV) das cultivares de feijão caupi BRS Guariba e BRS Paraguaçu obtidas em função das lâminas de irrigação.

Características Agronômicas	Cultivares	Equações de Regressão	R2
RQNVP	BRS Paraguaçu	$y = -0.0001x^2 + 0.0643x - 4.9767$	0.94
	BRS Guariba	$y = 0.014x + 0.151$	0.94
CMV	BRS Paraguaçu	$y = 0.0166x + 14.696$	0.94
	BRS Guariba	$y = 0.0074x + 16.344$	0.79
RQNGV	BRS Paraguaçu	$y = 0.0049x + 2.4131$	0.76
	BRS Guariba	$y = 0.003x + 2.5592$	0.84
MCG	BRS Paraguaçu	$y = 0.0129x + 22.545$	0.84
	BRS Guariba	$y = 0.025x + 24.653$	0.79
PV	BRS Paraguaçu	$y = 14.926x - 966.92$	0.96
	BRS Guariba	$y = 22.625x - 2142.4$	0.92
EUAPG	BRS Paraguaçu	$y = -1E-05x^2 + 0.0064x - 0.266$	0.69
	BRS Guariba	$y = -2E-05x^2 + 0.0106x - 0.7018$	0.70
EUAPV	BRS Paraguaçu	$y = -0.0003x^2 + 0.1472x - 13.239$	0.78
	BRS Guariba	$y = -0.0003x^2 + 0.1953x - 17.992$	0.78
PG	BRS Paraguaçu	$y = -0.055x^2 + 36.41x - 3903$	0,91
	BRS Guariba	$y = -0.061x^2 + 43.16x - 4697$	0,93

Tabela 12. Equações de regressão do índice de área foliar das cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba de feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas.

Lâminas de irrigação	Cultivares	Equações de Regressão*	R2
L1 161 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,034x + 3,683$	0,79
	BRS Guariba	$y = -0,051x + 4,589$	0,76
L2 196 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,008x^2 + 0,603x - 7,925$	0,91
	BRS Guariba	$y = -0,004x^2 + 0,331x - 3,636$	0,74
L3 231 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,006x^2 + 0,560x - 7,619$	0,76
	BRS Guariba	$y = -0,01x^2 + 0,841x - 14,03$	0,94
L4 275 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,012x^2 + 1,054x - 17,32$	0,99
	BRS Guariba	$y = -0,008x^2 + 0,688x - 10,59$	0,99
L5 322 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,009x^2 + 0,862x - 13,9$	0,92
	BRS Guariba	$y = -0,010x^2 + 0,921x - 15,71$	0,99

Tabela 13. Equações de regressão do teor de clorofila total das cultivares BRS Paraguaçu e BRS Guariba de feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas.

Lâminas de irrigação	Cultivares	Equações de Regressão*	R2
L1 161 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,095x^2 + 8,730x - 141,4$	1,00
	BRS Guariba	$y = -0,186x^2 + 16,64x - 301,9$	1,00
L2 196 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,18x^2 + 16,25x - 302,0$	1,00
	BRS Guariba	$y = -0,141x^2 + 13,05x - 226,2$	1,00
L3 231 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,171x^2 + 15,53x - 287,6$	1,00
	BRS Guariba	$y = -0,239x^2 + 21,96x - 425,2$	1,00
L4 275 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,164x^2 + 15,29x - 289,5$	1,00
	BRS Guariba	$y = -0,225x^2 + 20,85x - 402,9$	1,00
L5 322 mm	BRS Paraguaçu	$y = -0,183x^2 + 16,94x - 325,6$	1,00
	BRS Guariba	$y = -0,258x^2 + 24,13x - 480,3$	1,00

Tabela 14. Coeficientes técnicos, médios, para um hectare de feijão-caupi para produção de grãos verdes, em regime irrigado por aspersão convencional.

Discriminação	Unidade	Quantidade	Valor	Total
A. Insumos				
Sementes	Kg	20	5,00	100,00
Herbicida pré ó plantio	L	1	70,00	70,00
Herbicida pré - emergente	L	1	30,00	30,00
Inseticida (Actara)	g	100	30,00	30,00
Inseticida(Agricoato)	L	1	26,00	26,00
Fungicida (Score)	L	0,25	200,00	50,00
N	kg	20	4,5	90,00
P ₂ O ₅	kg	60	2,25	135,00
K ₂ O	kg	40	2,1	84,00
Subtotal				615,00
B. Serviços				
Preparo da área, semeadura e adubação	hm	4	70,00	280,00
Aplicação de herbicida	hm	0,5	20,00	10,00
Aplicação de inseticidas	hm	1	20,00	20,00
Aplicação de inseticida	dh	1	20,00	20,00
Tratos culturais (capina)	dh	7	20,00	140,00
Manejo da irrigação	dh	10	20,00	200,00
Trato fitossanitário	hm	0,5	70,00	35,00
Trato fitossanitário	dh	1	20,00	20,00
Colheita	dh	8	20,00	160,00
Transporte interno	hm	0,5	70,00	35,00
Subtotal				885,00
Custo variável total (A + B)				1.500,00 R\$
Custo variável total (A + B)				882,00 US\$