



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI- UFPI**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-PPGA**

**EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO**  
**DO FEIJÃO-FAVA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**ANTONIO EUDES DE SOUSA OLIVEIRA**

**TERESINA**  
**Estado do Piauí, Brasil,**  
**Agosto 2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI- UFPI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-PPGA**

**EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO  
DO FEIJÃO-FAVA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**ANTONIO EUDES DE SOUSA OLIVEIRA**

Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí – UFPI, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho  
Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Regina Lúcia Ferreira Gomes

**TERESINA  
Estado do Piauí, Brasil,  
Agosto 2011**

**O48e**

Oliveira, Antonio Eudes de Sousa

Efeito do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão-fava em ambiente protegido / Antonio Eudes de Sousa Oliveira -2012  
80 f. : il .

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012

Orientação : Prof.Dr. Francisco Edinaldo  
Pinto Mousinho.

1. *Phaseolus lunatus* L 2. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico 3. Eficiência do uso da água I. Título.

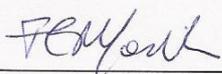
**CDD 635. 651**

**EFEITO DO DEFICIT HIDRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO  
DO FEIJÃO-FAVA EM AMBIENTE PROTEGIDO**

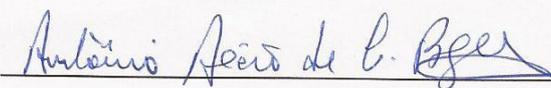
**ANTONIO EUDES DE SOUSA OLIVEIRA**  
**Engenheiro Agrônomo**

Aprovado em 27/08/2012

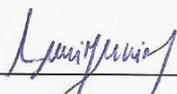
**Comissão Julgadora:**



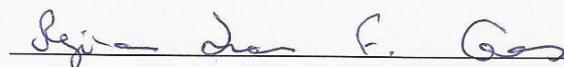
\_\_\_\_\_  
Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho - Presidente  
CAT/UFPI



\_\_\_\_\_  
Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra – Titular  
CCA/UFPI



\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior - Titular  
UESPI/Parnaíba



\_\_\_\_\_  
Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes– Titular  
CCA/UFPI

**TERESINA**  
**Estado do Piauí, Brasil,**  
**Agosto 2012**

"I do not know how I look in the eyes of the world, but even I see myself as a poor boy who was playing on the beach and had fun finding a smoother pebble once in a while, or a prettier shell than usual, while the great ocean of truth lay all unexplored before me. "

Isaac Newton

Ao meu Pai Joaquim de Oliveira e Minha mãe Maria do Socorro  
Ao meu avo Torquato e Minha Avó Maria Gomes  
A meus irmãos Marcos, Mazim, Jose e lamara

**DEDICO**

A minha esposa Patrícia de Sousa  
A meu filho Vinicius de Oliveira

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, provedor de todo o bem, pela minha existência e força para alcançar meus objetivos, pois sem ele nada é possível.

À Universidade Federal do Piauí, por ter concedido a oportunidade de cursar o mestrado em Agronomia e desenvolver todos os meus trabalhos.

Ao Colégio Agrícola de Teresina, pela ajuda e suporte para a instalação e condução do experimento.

Aos Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho, pelo apoio, pelas eficientes orientações, pela compreensão, pelos conhecimentos, pela amizade, por todo ensinamento e conhecimento oferecido desde os tempos de graduação e por toda paciência e confiança em mim depositada durante todo esse tempo.

A Professora Dra. Regina Lúcia Ferreira Gomes, pela amizade, pela orientação, paciência e compreensão.

Ao Diretor do Colégio Agrícola Prof. José Bento, pelo apoio para execução do experimento e pela amizade.

Aos demais professores do Curso de Mestrado em Agronomia do PPGA, pelos ensinamentos, de fundamental importância para a elaboração deste trabalho.

Ao Secretário do mestrado em Agronomia Vicente de Sousa Paulo, pelo respeito, conversas e alegrias.

À minha querida esposa Patrícia de Sousa, por ter contribuído para a suavização dessa longa caminhada, pelo seu amor, dedicação, e por sua compreensão durante os momentos de estresse e ausência;

Aos colegas de mestrado, Gisele Castelo Branco, Dorotéia Marçal, Maiany Carvalho, Antonia Maria, Ricardo Silva, Sergio Augusto, José de Ribamar, Theofilo Santos, Chico Léo, Sabrina pelo convívio e alegrias dentro e fora de sala de aula;

Aos amigos de longa data, Agenor Rocha, Natalia, Wilon, Kadson, Jacqucilene Moura, Marcelo Simeão, Minguel, Michel Barros, Dyego Ferreira, Diego da Paz, Jedeias Amorim, Bruno Guerra, Marlon Castelo Branco pela amizade, convivência fraterna em todos os momentos, principalmente nos momentos de descontração na “Mazé”.

À Meus pais Joaquim de Oliveira e Maria do Socorro, e meus avós Torquato e Maria Gomes, pelo exemplo de luta, garra, fibra e serenidade, e especialmente por ter sido meu referencial na busca de ser um cidadão, pelos conhecimentos empíricos repassados e motivação para busca do conhecimento técnico científico. À CAPES pela concessão de bolsa de pesquisa.

Àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram, de alguma forma, para a execução deste trabalho.

Meus eternos agradecimentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. O feijão-fava – considerações gerais .....	3
2.2. Relações água-solo-planta-atmosfera.....	6
2.3. Cultivo e evapotranspiração em ambiente protegido .....	15
2.4. Efeito da água sobre o IAF e o teor de clorofila .....	16
2.5. Efeito da água sobre o rendimento das culturas .....	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1. Procedimentos experimentais .....	22
3.2. Evaporação e evapotranspiração da cultura .....	23
3.3. Tratamentos e delineamento experimental .....	25
3.4. Variáveis avaliadas .....	26
3.5 Fator de resposta da cultura ao déficit hídrico (ky).....	28
3.6 Eficiência do uso da água (EUA).....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1. Déficit hídrico e fenologia do feijão-fava.....	30
4.2. Relação água-solo-planta-atmosfera em ambiente protegido .....	36
4.3. Efeito do déficit hídrico sobre o desempenho produtivo do feijão-fava .....	39
4.4. Fator de resposta do feijão-fava ao déficit hídrico.....	45
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>53</b>

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização físico-química do solo usado nos vasos, Teresina-PI, 2012.....	22
<b>Tabela 2.</b> Resumo das análises de variância para dias ao início da floração, maturação e ciclo (DAE) de feijão-fava, sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.....	31
<b>Tabela 3.</b> Valores do período de duração, em dias após a emergência (DAE), para florescimento, para a maturação de vagens; ciclo da cultura, sob estresse hídrico e em irrigação plena.....	32
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância para índice de área foliar de feijão-fava, aos 40 DAE; índice de abortamento de flores e vagens de feijão-fava sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.....	33
<b>Tabela 5.</b> Índice de área foliar; índice de abortamento de flores e vagens do feijão-fava, sob estresse hídrico e em irrigação plena.....	34
<b>Tabela 6.</b> Resumo das análises de variância para teor de clorofila ICF no feijão-fava aos 40, 48 60 e 80 DAE, sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.....	35
<b>Tabela 7.</b> Valores médios do índice do teor de clorofila (ICF), medida aos 40, 48, 60 e 80 DAE, em feijão-fava com estresse e sem estresse hídrico por fase de desenvolvimento.....	36
<b>Tabela 8.</b> Resumo da análise de variância para massa de 100 grãos, número de vagens por plantas e número de grãos por vagens do feijão-fava sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.....	41
<b>Tabela 9.</b> Valores de massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem do feijão-fava, sobre estresse hídrico e em irrigação plena.....	42
<b>Tabela 10.</b> Resumo da análise de variância para produtividade de vagens, produtividade de grãos e produção de matéria seca total ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) do feijão-fava sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.....	44
<b>Tabela 11.</b> Valores médios da produtividade de vagens, de grãos e da produção de matéria seca total, em feijão-fava com estresse e sem estresse hídrico por fase de desenvolvimento.....	44

<b>Tabela 12.</b> Valores médios de $[1-(ET_r/ET_m)]$ e $[1-(y_r/y_m)]$ e do fator de sensibilidade $k_y$ do feijão fava, para produção de vagens ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), nos tratamentos sob déficit hídrico.....	48
<b>Tabela 13.</b> Valores médios de $[1-(ET_r/ET_m)]$ e $[1-(y_r/y_m)]$ e do fator de sensibilidade $k_y$ do feijão fava, para produção de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), nos tratamentos sob déficit hídrico.....	49
<b>Tabela 14.</b> Resumo das análises de variância para valores médios de eficiência do uso da água para produção de vagens, grãos e MST de feijão fava ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), nos tratamentos sob déficit hídrico e irrigação plena.....	50
<b>Tabela 15.</b> Valores médios de eficiência do uso da água para produção de vagens, grãos e MST de feijão fava ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), nos tratamentos sob déficit hídrico e irrigação plena.....	51

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Curva generalizada do coeficiente de cultura (Kc).....	15
<b>Figura 2.</b> Detalhes da irrigação dos tratamentos.....	25
<b>Figura 3.</b> Detalhes da determinação do teor de clorofila.....	26
<b>Figura 4.</b> Teores médios de clorofila em feijão-fava sob estresse hídrico, aos 40, 48, 60 e 80 dias após a emergência.....	27
<b>Figura 5.</b> Valores médios da evaporação diária da superfície do solo em ambiente protegido durante a condução do experimento.....	35
<b>Figura 6.</b> Valores médios da evapotranspiração diária do feijão-fava da emergência ao final do ciclo em ambiente protegido.....	37
<b>Figura 7.</b> Valores médios da transpiração diária do feijão-fava da emergência ao final do ciclo em ambiente protegido.....	38
<b>Figura 8.</b> Valores médios da evapotranspiração diária do feijão-fava da emergência ao final do ciclo em ambiente protegido.....	39

## EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO FEIJÃO-FAVA EM AMBIENTE PROTEGIDO

Autor: Antonio Eudes de Sousa Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho

Co-Orientador(a) Prof. Dra. Regina Lúcia Ferreira Gomes

### RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão-fava, bem como determinar o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico ( $K_y$ ) nas fases fenológicas em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em vasos sob casa de vegetação, com cobertura de polietileno de baixa densidade de 15  $\mu m$  de espessura, na área experimental do Colégio Agrícola de Teresina da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina-PI. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) e os tratamentos consistiram da combinação de indução do estresse hídrico de 50% da evapotranspiração do feijão-fava, sendo estes: estresse hídrico na fase vegetativa I; estresse hídrico na fase vegetativa II; estresse hídrico na fase reprodutiva III; Estresse hídrico na fase reprodutiva IV; estresse hídrico nas fases vegetativa I e II; Estresse hídrico nas fase vegetativa e reprodutiva II, III e IV; estresse hídrico nas fases reprodutiva III e IV; estresse hídrico na fases vegetativa e reprodutiva I, II e III; estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva I, II, III e IV e um tratamento sem estresse hídrico. Foram avaliadas, número de vagens por planta, número de grãos, peso de 100 grãos, Produtividade de grãos e vagens, índice de área foliar, matéria seca total bem como o fator de sensibilidade ao déficit hídrico e a eficiência do uso da água. O déficit hídrico afetou significativamente diminuindo o índice de área foliar, índice de clorofila, e número de vagens por plantas e aumentando o abortamento de flores e vagens. O feijão-fava foi mais sensível ao estresse hídrico quando o mesmo deu-se em mais de uma fase de desenvolvimento (com maior prolongação no tempo) e quando ocorreu na floração e formação de vagens; sendo mais tolerante no desenvolvimento vegetativo e na maturação de vagens. O déficit hídrico afetou o rendimento do feijão fava para a produção de vagens, grãos e matéria seca total. A eficiência do uso da água pelo feijão-fava foi maior nos tratamentos sem estresse hídrico.

**Palavras Chaves:** *Phaseolus lunatus* L., Fator de sensibilidade ao déficit hídrico, Eficiência do uso da água

## EFFECT OF WATER DEFICIT ON THE DEVELOPMENT OF FAVA BEAN IN GREENHOUSE

Author: Antonio Eudes de Sousa Oliveira  
Adviser: Prof. Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho  
Co-Adviser: Prof. Dr. Regina Lúcia Ferreira Gomes

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of water deficit on the development of fava beans, as well as, to determine the coefficient of sensitivity to water deficit (Ky) in phenological phases in a greenhouse. The experiment was conducted in pots in a greenhouse covered with polyethylene of low density 15 mm thick, in the Experimental Area of the Agricultural College of Teresina, Federal University of Piauí (UFPI), Teresina-PI. The experimental design was completely randomized and the treatments were a combination of water deficit induced 50% of the evapotranspiration of fava beans, which are: water deficit during the vegetative stage I; water deficit during the vegetative stage II; Stress water in the reproductive phase III water deficit during the reproductive phase IV; water deficit in vegetative stages I and II; water deficit on vegetative and reproductive phases II, III and IV; water deficit in the reproductive stages III and IV; water deficit in the vegetative and reproductive I, II and III; water deficit on vegetative and reproductive stages I, II, III and IV and a treatment without water deficit. Were evaluated, number of pods per plant, number of grains, weight of 100 grains, grain yield and pods, leaf area index, total dry matter, as well as the factor of sensitivity to water deficit and water use efficiency. Water deficit affected significantly reducing the leaf area index, chlorophyll content, number of pods per plant and increasing the abortion of flowers and pods. The fava bean was more sensitive to water deficit when it came in more than one development phase (greater extension in time) and when it occurred during the flowering and pod formation, being more tolerant in the vegetative development and maturation of pods. The drought affected the yield of fava beans to produce pods, grain and total dry matter. The efficiency of water use by fava bean was greater in treatments without water deficit

**Keywords:** *Phaseolus lunatus* L., coefficient of sensitivity to water deficit, efficiency of water use

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade que apresenta um grau de risco relativamente alto, em função das características inerentes às culturas, ao solo, ao clima além dos relacionados, à economia e do pouco uso de tecnologias. Principalmente na zona semi-árida do Nordeste brasileiro, a ocorrência de períodos de secas prolongadas resultante da escassez e má distribuição das chuvas, aliado aos fatores sócioeconômicos e culturais que limitam, em parte, o emprego de determinadas tecnologias pelos produtores, transforma a agricultura de sequeiro numa atividade de alto risco e baixo retorno econômico. Ainda assim quando as precipitações pluviométricas são suficientes e distribuídas regularmente, a produção agrícola atinge valores razoáveis. Tais condições evidenciam que a água se constitui em fator limitante e que do seu melhor aproveitamento, bem como da utilização de culturas mais adaptadas a essas condições, resultaria no aumento do rendimento das culturas. Assim, disponibilidade de água é um fator de relevância no que concerne à maximização dos ganhos de produtividade agrícola.

A técnica de irrigação, se utilizada de forma adequada, poderia contribuir para garantir rendimentos satisfatórios das culturas. O uso da irrigação, bem como a determinação da quantidade e o momento de aplicação de água inserem-se em uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. Para tanto, torna-se necessário estudar métodos e técnicas de manejo de irrigação que compatibilizem quantidades mínimas adequadas de água, correlacionadas aos requerimentos dos estádios de desenvolvimento (fases fenológicas), assim como, qual a influencia do déficit hídrico, na produtividade, em tais estádios.

É necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecidas, as etapas de seu desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou excesso redundaria em quedas de produção (BERNARDO, 2005). O estresse hídrico que se desenvolve em qualquer situação particular na planta é o resultado de uma completa combinação dos fatores do solo, da planta e da atmosfera, os quais interagem para controlar a taxa de absorção e a perda de água (VAADIA et al., 1961), ainda que, de acordo com Gavande (1976), a resposta das plantas ao fator "água" pareça estar relacionada mais estreitamente com o potencial total de água no solo.

O feijão-fava se destaca como uma das culturas da região Nordeste do Brasil, cultivado em regime de sequeiro, com pouco uso de tecnologias, por agricultores familiares, resultando em baixos índices de produtividade, e grande oscilação na produção. A sensibilidade do feijão-fava ao déficit hídrico no solo e as incertezas climáticas, principalmente as relacionadas às variações pluviométricas entre anos e locais de cultivo determinam esses baixos índices de rendimento e oscilação da produção anual desta cultura.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a relação entre o rendimento de uma cultura e o suprimento de água pode ser determinada quando se puder quantificar, de um lado, as necessidades hídricas da cultura e os efeitos dos déficits hídricos e, de outro, o rendimento máximo e real da cultura. Estes autores enfatizam, ainda, que o estresse hídrico (representado pela deficiência relativa de evapotranspiração) e a produção relativa são relacionados por meio de um coeficiente ( $K_y$ ), denominado "fator de resposta". Esse coeficiente é variável em função das diferentes etapas de desenvolvimento da cultura (estabelecimento vegetativo, floração, formação de vagem e maturação). O "fator de resposta" ( $K_y$ ) é útil no planejamento e operação de áreas irrigadas, pois permite quantificar a água de irrigação e sua utilização, em termos de rendimento e produção total da cultura, para toda a área irrigada.

Considerando a necessidade de maiores informações sobre o comportamento da cultura do feijão-fava em relação à aplicação de irrigação, e ainda, dada a importância dos efeitos do manejo hídrico sobre a produção da cultura do feijão-fava o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico, no comportamento produtivo do feijão-fava, bem como determinar o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico, "fator de resposta" ( $K_y$ ) nas fases fenológicas em ambiente protegido.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. O feijão-fava – considerações gerais

O gênero *Phaseolus* com sua origem nas Américas é amplamente distribuído por todo o mundo, sendo cultivado nos trópicos, subtropicais e zonas temperadas (GAITAN-SÓLIS et al., 2002). Este gênero *Phaseolus* possui cerca de 70 espécies (FREYTAG e DEBOUCK, 2002), dentre as quais apenas cinco são cultivadas pelo homem: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray e *P. polyanthus* Greenman. Devido à sua importância econômica, esse gênero tem sido alvo de vários estudos agrônômicos, sistemáticos e moleculares (WETZEL et al., 2006). Segundo Ramalho et al. (1993), *P. vulgaris* L. e *P. lunatus* são as espécies mais importantes do gênero.

Segundo Melchior (1964), o gênero *Phaseolus* pertence à ordem Rosales, subtribo Phaseolinae, tribo Phaseoleae, subfamília Papilionoideae e família Leguminosae, no entanto, Cronquist (1988) classifica-o na subclasse Rosidae, ordem Fabales e família Fabaceae. Broughton et al. (2003) afirmam que essa família é uma das maiores entre as dicotiledôneas, com 643 gêneros e 18.000 espécies distribuídas por todo o mundo, especialmente nas regiões tropicais e subtropicais.

Segundo Silva et al. (2002), estudos indicam que o número de espécies pode variar de 31 a 52 espécies, todas originárias do Continente Americano. Quanto à classificação baseada na morfologia floral, Delgado Salinas (1985), citado por Debouck (1999), sugeriu quatro seções para gênero: *Chiapasana*, *Minkeliersia*, *Xanthotricha* e *Phaseolus*. Estes agrupamentos, de acordo com Silva et al. (2003) foram posteriormente, confirmados através de estudos baseados em polimorfismo de DNA cloroplastidial e nas sequências de DNA.

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), uma das cinco espécies cultivadas do gênero *Phaseolus*, é uma leguminosa tropical caracterizada por elevada diversidade genética e elevado potencial de produção, que se adaptam às mais diferentes condições ambientais, mas desenvolve-se melhor nos trópicos úmidos e quentes (MAQUET et al., 1999), sendo amplamente distribuída pelas Américas (GUTIÉRREZ-SALGADO et al., 1995). Segundo Vieira (1992), o feijão-fava adapta-se melhor em solo areno-argiloso, fértil e bem drenado, tendo bom rendimento com

pH entre 5,6 e 6,8, mas tolera as mais diversas condições ambientais, sendo considerado mais tolerante à seca que o feijão-comum.

É uma espécie plurianual, predominantemente autógama, com aproximadamente 10% de taxa de cruzamento natural (HARDY et al., 1997). De acordo com Beyra e Artiles (2004), o hábito de crescimento dessa espécie pode ser indeterminado trepador, com o desenvolvimento da gema terminal em uma guia, ou determinado anão com desenvolvimento completo da gema terminal em uma inflorescência. De acordo com Zimmermann e Teixeira (1996), o *P. lunatus* pode ser identificado como uma leguminosa de germinação epígea; com folhas trifoliadas geralmente apresentando coloração escura, mais persistente que em outras espécies do gênero, mesmo depois do amadurecimento das vagens; bractéolas pequenas e pontiagudas; vagens geralmente oblonga e recurvada, com duas alturas distintas (ventral e dorsal) e número de sementes por vagem variando de duas a quatro. Tais sementes exibem grande variação de tamanho e cor de tegumento (SANTOS et al., 2002).

O feijão-fava é uma alternativa de renda e alimento para a população da região Nordeste do Brasil, que o consome sob a forma de grãos secos ou verdes, sendo cultivado principalmente por agricultores familiares, que utilizam principalmente cultivares de crescimento indeterminado (OLIVEIRA et al., 2004). Segundo o IBGE (2010), no Brasil foram produzidas 7.349 toneladas de grãos secos do feijão-fava, numa área plantada de 29.825 hectares. Os Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Maranhão e Alagoas em ordem decrescente são os maiores produtores, e juntos fazem do Nordeste a região maior produtora com a produção de 6.667 toneladas em 28.628 hectares, O Piauí produziu 485 toneladas de feijão-fava em 2.107 hectares, no ano agrícola de 2010.

A cultura do feijão-fava tem percebido pouca atenção por parte dos órgãos de pesquisas e extensão, o que resulta em limitado conhecimento de suas características agrônômicas. Em vários municípios, do nordeste brasileiro, o feijão-fava apresenta relativa importância econômica e social, sendo uma fonte de alimento alternativo juntamente com o milho, mandioca e feijão-caupi. Considerada mais tolerante a seca ao excesso de umidade e calor que o feijão comum (VIEIRA, 2002), seu cultivo nessa região é rústico, em consorcio com milho, mandioca ou mamona, tomando as plantas dessa cultura como suporte (AZEVEDO et al., 2003).

De acordo com IBGE (2010) uma serie histórica de dados de produção do feijão fava do ano agrícola de 1990 a 2010, a produtividade é baixa variando de 200 a 476 kg ha<sup>-1</sup>, oscilante com instabilidade de produção e produtividade. Há também, oscilação da área plantada e da área colhida com diminuição da área destinada ao cultivo de feijão-fava no Nordeste do Brasil de 26,51 % de 1990 a 2010. No Piauí, a área de cultivo com o feijão-fava, nestas duas décadas, permanece constante, sendo recorrentes os baixos índices de produtividade. Também contribuem o baixo nível tecnológico empregado, pois há a carência de recomendação de cultivares de feijão-fava adaptadas com estabilidade de produção.

A fenologia é o estudo da periodicidade das condições climáticas influenciado pelas condições edáficas e ecológicas em geral, sobre o ciclo biológico das plantas especialmente os órgãos reprodutivos e de crescimento vegetativo (WIELGOLASKI, 1974). O conhecimento e a compreensão dos padrões fonológicos são primordiais para o manejo e tratos culturais. Fatores como, estresse hídrico, excesso de adubação fosfatada, temperatura elevada, pouca luminosidade, fotoperíodo inadequado e fatores bióticos contribuem para a variação na duração do período reprodutivo e para uma baixa eficiência na relação frutos/flores (SUMMERFIELD et al., 1985).

Oliveira et al. (2010) estudando o desenvolvimento do feijão-fava, observaram que a germinação ocorreu entre o sexto e o décimo dia após a sementeira, os cotilédones emergiram entre o nono e o décimo quinto dia, as primeiras folhas unifoliadas surgiram entre o décimo terceiro e décimo quarto dia, a primeira folha trifoliada entre o décimo sexto e décimo oitavo dia, a segunda entre o vigésimo primeiro e o vigésimo quarto, os primórdios do ramo secundário surgiram entre o vigésimo sétimo e vigésimo oitavo dia. Na fase reprodutiva do feijão-fava, os primeiros botões florais surgiram entre 36 e 52 dias após a emergência, a primeira flor entre 46 e 60 dias, e a fase de maturação dos frutos inicia entre 51 e 74 dias, a maturidade de 50% das vagens entre 67 e 85 dias.

Câmara (1997) relata que o tempo de duração entre os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, pode variar de acordo com a cultivar, temperatura, clima e época de sementeira, entre outros fatores.

## **2.2. Relações água-solo-planta-atmosfera**

O desenvolvimento das plantas depende da água para a manutenção de turgescência e para o arrefecimento das folhas. Quando o abastecimento de água é insuficiente, os estômatos se fecham. O estresse hídrico reduz o alongamento das células das plantas, enquanto que o fechamento estomático reduz a disponibilidade de CO<sub>2</sub> e, assim, a produção de assimilados e o crescimento (KUIPER, 1961; JARVIS; DAVIES, 1998). A água se move através do sistema solo-planta-atmosfera por fluxo de massa, principalmente na fase líquida (em condições muito secas, por fluxo de vapor no solo, onde, desempenha um importante papel). O fluxo ocorre por difusão de vapor de água a partir dos espaços intercelulares das folhas (TARDIEU; DAVIES, 1992; TARDIEU; SIMONNEAU, 1998). A água flui através de uma via composta por um sistema de resistências hidráulicas a partir do solo, passando através da planta e, finalmente, atingindo a atmosfera (ZIMMERMANN; MEINZER; BENTRUP, 1995).

Vários estudos descrevem detalhes sobre as resistências de cada parte do sistema solo-planta-atmosfera, por exemplo Angelocci (2002), Tuzet, Perrier e Leuning, (2003), Raats (2007) e Jong Van Lier et al. (2008). Para a água ser absorvida pela raiz, primeiro é necessário superar a resistência hidráulica do solo em si, esta resistência é dependente das propriedades hidráulicas do solo, do teor de água e da distância a ser percorrida. Depois que a água é absorvida pelas raízes e chega aos vasos do xilema, encontra uma baixa resistência hidráulica (DURIGON, 2011). A partir do xilema, a água sobe no interior dos vasos xilêmicos depositando-se nas paredes das células mesofílicas, ainda como um líquido, após a água evapora, e é difusa, em forma de vapor de água, nos espaços intercelulares das folhas até chegar à atmosfera através da epiderme e da cutícula, e/ou através de estômatos, a via cuticular tem uma alta resistência hidráulica, portanto, os estômatos são a principal via de difusão do vapor de água a partir das folhas para a atmosfera (DURIGON, 2011).

A resistência do ar à difusão do vapor de água na vizinhança próxima as folhas é representado pela resistência da camada limite ou resistência aerodinâmica. Não existe consenso sobre a parte do sistema responsável pela ocorrência do estresse hídrico. Frequentemente, a redução da umidade do solo e o aumento resultante da resistência hidráulica do solo são indicados como os principais mecanismos que levam ao estresse hídrico das plantas (CARBON, 1973; HULUGALLE; WILLATT, 1983; SCHRÖDER et al., 2008). A absorção de água

pelas raízes depende do movimento de água no solo em direção a superfície radicular mas também pode ser influenciada pela transpiração. No entanto, a taxa de transpiração depende da condutância estomática e das condições ambientais que afetam a transpiração (CAMPBELL; NORMAN, 1998). Através dos estômatos fluem gás carbônico, oxigênio e vapor d'água, na maioria das plantas os estômatos permanecem abertos durante o dia e fechados durante a noite e nas condições de acentuado estresse hídrico. Conforme Pereira et al. (1997) o estresse hídrico ocorre em duas situações, quando o solo não contém água disponível às plantas; quando o solo contém água disponível mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender a demanda atmosférica (poder evaporante do ar).

A evaporação da água é um fenômeno físico que propicia a mudança de estado da água da fase líquida para a gasosa diretamente de uma superfície líquida mar, lago, rio, etc., ou úmida, planta e solo, (BERLATO E MOLION, 1981). De acordo com Philip (1957) a evaporação da água das camadas de perfil e superfície do solo pode ser dividida em fases. Na fase 1, o solo seca a uma taxa constante que depende apenas da energia disponível em sua superfície, é influenciado pela demanda atmosférica, pela profundidade do solo e por suas propriedades hidráulicas; na fase 2 ou fase de recessão (depleção), a superfície seca, e a evaporação ocorre no interior do solo. O vapor de água atinge a superfície por difusão molecular e o fluxo de massa é causado por flutuação na pressão do ar; na fase 3 a velocidade de evaporação em condição de baixa umidade, perde a linealidade e ocorre o movimento da água no perfil em consequência das forças adsorção entre a água e as partículas sólidas do solo. Em suma, a evaporação depende das propriedades físicas do solo, que transmite a água vagorosamente até a superfície para atendimento da demanda induzida pelas condições atmosféricas.

Quando esta mudança de estado físico da água se dá através das plantas recebe o nome de transpiração. A transpiração consiste na vaporização de água líquida contida nos tecidos da planta e da remoção do vapor para a atmosfera essa evaporação se dá através dos estômatos que são estruturas de dimensões microscópicas ( $<50 \mu\text{m}$ ) que ocorrem nas folhas e que permite a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera (PEREIRA et al., 1997). Praticamente, toda água absorvida é perdida pela transpiração e somente uma pequena fração é usada no interior da planta (COUTO e SANS, 2002).

Numa superfície vegetada ocorrem simultaneamente os processos de evaporação e transpiração. A evapotranspiração é o termo que foi utilizado por Thornthwaith, no início da década de 40, para expressar esta ocorrência simultânea (PEREIRA et al., 1997).

Thornthwaite (1948) definiu a evapotranspiração potencial (Etp) como a quantidade de água utilizada por uma extensa área vegetada, em crescimento ativo, sob condições ótimas de umidade do solo. A evapotranspiração de referência (Eto) foi definida por Doorenbos e Pruitt (1977) como sendo a água utilizada por uma extensa superfície de grama, em crescimento ativo, com altura de 0,08 a 0,15 m, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água. Referida definição da Eto é coincidente com a da Etp proposta por Thornthwaite (1948).

Jensen (1973) propôs como cultura referencial a alfafa e definiu como evapotranspiração de referência a que se verifica em uma área sem deficiência hídrica, com bordadura mínima de 100 m plantada com a referida cultura sendo que a alfafa deve apresentar um porte de 30 a 50 cm de altura. A evapotranspiração real (Etr) é aquela que ocorre em uma superfície vegetada, independente de sua área e das condições de umidade do solo (Thornthwaite, 1948; Pruitt et al., 1972; Villa Nova e Reichardt, 1989; Pereira, 1992).

Penman (1956) definiu evapotranspiração potencial como “a quantidade de água utilizada na unidade de tempo por uma cultura de porte baixo e verde, cobrindo totalmente a superfície, com altura uniforme e sem deficiência hídrica”. Culturas de porte baixo estão implícitas nesta definição; no entanto, Penman (1956) aplicou esse conceito apenas para gramas de porte baixo. A evapotranspiração de culturas irrigadas pode ser de 10 a 30 % maior do que a ocorrida em superfície gramada.

O conceito de evapotranspiração da cultura (Etc) foi introduzido por Doorenbos e Pruitt (1977), caracterizando-a como sendo a evapotranspiração de uma cultura agrônômica, livre de doenças, desenvolvendo-se em uma área cultivada de um ou mais hectares, sob condições otimizadas de solo, incluindo água e fertilidade.

A evapotranspiração pode ser determinada ou estimada de diferentes maneiras. De acordo com Miranda et al. (2001), ela pode ser mensurada utilizando métodos diretos ou estimada por meio de informações climáticas. No primeiro grupo, entre outros, estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo; enquanto no segundo, estão enquadrados os métodos teóricos e empíricos,

como os de Penman (1948), Thornthwaite (1948), Blaney e Criddle (1950), Jensen e Haise (1963), Priestley e Taylor (1972), Hargreaves (1977) e evaporímetros como o tanque “Classe A” (SENTELHAS, 2003), dentre outros.

A evapotranspiração pode ser medida por meio de equipamentos denominados lisímetros ou evapotranspirômetros. Hillel et al. (1969) citados por Aboukhaled et al. (1986) definiram os lisímetros como recipientes onde procura-se representar as condições naturais do sistema solo-água-plantas, que possibilitam regular e controlar convenientemente os processos que ocorrem no perfil natural do solo. Inicialmente, os lisímetros foram utilizados para estudar a drenagem profunda e a concentração de nutrientes extraídos do volume de solo, e mais recentemente passaram a ser utilizados para determinar a evapotranspiração, sendo muito utilizados em pesquisa agrometeorológica (PEREIRA et al., 1997).

Conforme Aboukhaled et al. (1986) a lisimetria, basicamente, propicia o cálculo da medida volumétrica das águas que entram e saem do sistema que pode ou não ser coberto por vegetal. Os lisímetros mais empregados são: o de drenagem; de lençol freático constante e o de pesagem. Lisímetro de drenagem baseia-se no princípio de conservação de massa de água em um volume de solo. Este tipo de lisímetro funciona mais adequadamente em períodos longos de observação, em torno de dez dias, conforme Camargo (1962) citado por Pereira (2002).

Cunha et al. (1995) avaliaram o efeito do clima sobre o consumo de água durante as fases do ciclo da cultivar IAC-165, de arroz-de-sequeiro, em Jaboticabal-SP, e para tanto utilizaram lisímetros de drenagem profunda, tipo “Thornthwaite modificado” para determinação da evapotranspiração máxima da cultura. Para a estimativa da evapotranspiração de referência, foram utilizados os métodos Tanque classe A, Radiação Solar, Penman, Linacre e Hargreaves. Os resultados mostraram que a relação entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração de referência aumentou com o desenvolvimento das plantas, atingindo valores máximos durante o subperíodo florescimento e enchimento dos grãos, diminuindo, em seguida, até a maturação fisiológica.

Carlesso et al. (2000) utilizaram lisímetro de drenagem para avaliar alterações de alguns parâmetros morfológicos de híbridos de milho submetidos a diferentes manejos de água para irrigação e relacionar o rendimento de grãos com as diferentes lâminas de irrigação aplicadas, na região de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos mostraram que a utilização de lâminas de

irrigação maiores que 30 mm ocasionam redução no rendimento de grãos e acúmulo de massa seca, e que a irrigação deve ser aplicada quando a evapotranspiração máxima da cultura indicar acúmulo de 20 a 25 mm.

Lisímetro de lençol freático constante é composto por uma caixa de cimento amianto acoplada em um dos lados na parte inferior e central um tubo de PVC que interliga a um tanque intermediário através de uma mangueira. Um tanque medidor cilíndrico com saída para o tanque intermediário, com tomada para um tubo de escala graduada, fornece a leitura do volume de água requerido pela superfície evaporante (CURY e VILA NOVA, 1987).

Klosowski e Lunardi (2002) utilizaram lisímetros de nível de lençol freático para determinar o consumo de água e o coeficiente de cultura do pimentão cultivado em ambiente protegido. O resultado apresentado para o consumo total de água pela cultura de pimentão, num ciclo de 198 dias, foi de 293,5 mm com média de 1,5 mm.dia<sup>-1</sup>. Sendo que o maior consumo hídrico foi observado no estágio compreendido entre o florescimento e a primeira colheita. O coeficiente de cultura variou entre 0,4 e 0,7 de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura.

Klosowski et al. (1999) utilizaram este mesmo tipo de lisímetros de nível de lençol freático, para determinar o consumo de água e o coeficiente de cultura (kc) da abóbora italiana, na região de Botucatu, Estado de São Paulo. Os resultados mostraram que o consumo total de água foi de 231,52 mm, com média de 3,31 mm por dia, para um ciclo de 70 dias. O período de maior demanda de água ocorreu entre o florescimento e desenvolvimento dos frutos. O coeficiente de cultura apresentou valores extremos entre 0,68 e 1,96, correspondentes às primeira e sexta semanas após o plantio.

Os lisímetros de pesagem foram classificados por Aboukhaled (1982) em quatro tipos: de sistema mecânico; mecânico com célula de carga eletrônica; célula de carga eletrônica e célula de carga hidráulica. Os lisímetros de pesagem com células de carga hidráulica são equipamentos que apresentam qualidade e precisão dos resultados, além de baixo custo e facilidade na construção e operacionalização, com resolução de até 0,025 mm por leitura de evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*) (Freitas, 1994).

Os lisímetros de pesagem hidráulica foram descritos por Hanks e Shawcroft (1965), Tanner (1967) e Mcfarland et al. (1983). No Brasil, o primeiro equipamento deste tipo foi construído e descrito por Rodrigues (1987), para estudos de

evapotranspiração de grama ( $ET_o$ ), na cidade de Parnamirim, Pernambuco. Posteriormente no Brasil, outros equipamentos deste tipo foram construídos e avaliados (Freitas, 1994). Diferentes modelos e adaptações têm sido feitas para estes equipamentos ao longo dos anos. A principal vantagem destes equipamentos está relacionada à boa precisão em escala diária e o baixo custo de construção comparado aos construídos com células de carga eletrônica, por exemplo.

Na ausência de medidas diretas, como as obtidas por meio dos lisímetros, a evapotranspiração pode ser estimada por medidas indiretas utilizando diferentes metodologias, agrupadas, segundo Pereira et al. (1997), em cinco categorias: empíricos, aerodinâmico, balanço de energia, combinados e correlações dos turbilhões. Os métodos empíricos tais como o do tanque Classe A, de Thornthwaite, de Camargo, de Makink; da radiação solar, de Hargreaves-Samani etc., são, normalmente, resultantes de correlações entre a evapotranspiração medida em condições padronizadas e os elementos meteorológicos medidos em postos também padrões. O método aerodinâmico é um método micrometeorológico com embasamento físico-teórico da dinâmica dos fluídos e transporte turbulento. O método de balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. Os métodos combinados retratam os efeitos do balanço de energia com aqueles do poder evaporante. O método dos turbilhões baseia-se nos deslocamentos vertical da atmosfera e conseqüente transporte das suas propriedades. Os métodos indiretos se caracterizam pelo uso de equações empíricas ou modelos matemáticos, que necessitam de dados climático-fisiológicos para a sua aplicação. De acordo com MELLO (1998), apresentam inúmeros problemas de precisão, principalmente pelo fato de terem sido desenvolvidos para condições climáticas diferentes daquelas onde normalmente são aplicados.

Jensen et al. (1990) afirmaram que na prática a estimativa da evapotranspiração de uma cultura específica ( $ET_c$ ) envolve o cálculo da evapotranspiração uma cultura de referência ( $ET_o$ ), aplicando-se, posteriormente, coeficientes de cultivo ( $K_c$ ). Outras formas de se estimar a evapotranspiração de referencia ( $ET_o$ ) são possíveis, por exemplo, o uso da evaporação de uma superfície de água livre. Contudo, a taxa de evaporação de tanques varia com o tamanho do tanque e com as condições de contorno. O mesmo autor sugere que a  $ET_o$  pode ser definida como “a taxa com que a água, se disponível, é removida da superfície do

solo e das plantas, de uma cultura específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência". A ETo é normalmente expressa como taxa de calor latente por unidade de área ou lâmina de água evaporada. A ETo é equivalente a evapotranspiração potencial com uma especificação adicional de que ela representa a evapotranspiração de uma cultura com umidade do solo ideal e cobertura total da área. Para realização do manejo da água via clima é necessário se conhecer o consumo de água pelas culturas (ETc), que representa a lâmina que deve ser aplicada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais (Pereira et al., 1997). Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a ETc é o resultado do produto da evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente da cultura (Kc). Portanto, a determinação do consumo de água por uma cultura é dependente do conhecimento da evapotranspiração de referência, que diz respeito às condições climáticas do local da sua implantação, e também das características fisiológicas e morfológicas que lhe são peculiares, representadas através do seu coeficiente de cultivo.

Sentelhas (2001) apresenta como métodos mais empregados, quer pela simplicidade ou pelo grau de confiabilidade, os de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith. Além desses, muitos outros métodos são apresentados na literatura, mas em virtude de suas condições empíricas ou semi-empíricas, não são tão utilizados como a maioria dos que foram citados, exatamente por terem sido desenvolvidos para condições climáticas e agrônômicas específicas, não tendo assim, validade para condições distintas.

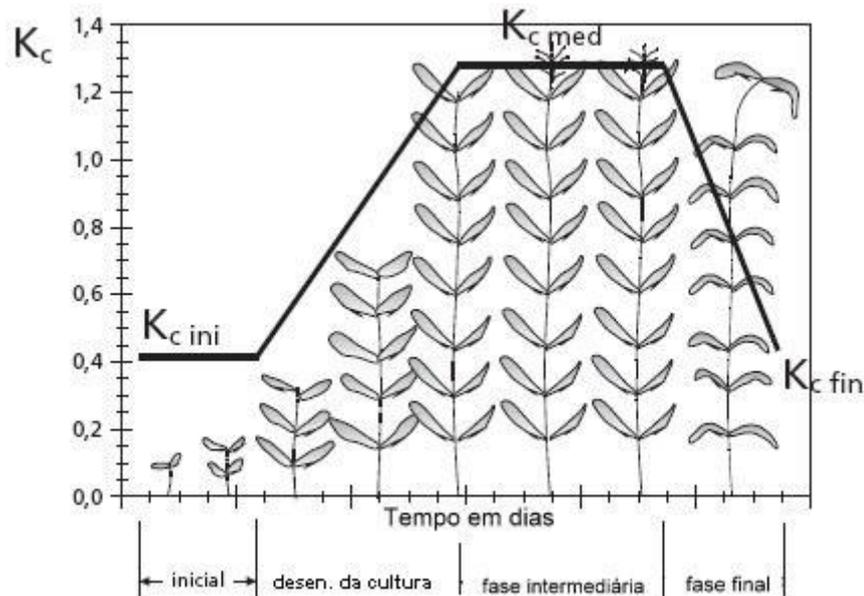
ALLEN et al. (1998) comentam que, em maio de 1990, a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), reuniu vários pesquisadores da Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem e da Organização Mundial de Meteorologia, a fim de rever as metodologias empregadas na estimativa das necessidades hídricas dos cultivos. Como resultado, os maiores especialistas no assunto recomendaram o método de Penman-Monteith como padrão na estimativa da ETo. Este método, denominado PM-FAO 56, foi selecionado por apresentar resultados que muito se aproximam da evapotranspiração da grama em diferentes localidades, por representar as condições físicas presentes no processo e por incorporar tanto parâmetros fisiológicos como aerodinâmicos. Para estimativas da ETo por este método, são necessários dados de temperatura do ar, umidade relativa, radiação e velocidade do vento, diários, semanais, decendiais ou mensais.

Cury e Villa Nova (1989) determinaram os valores de coeficientes de cultura do repolho obtidos a partir de vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, e dados medidos por evapotranspirômetro de nível de lençol freático. Os resultados demonstraram que não se deve utilizar um coeficiente de cultura único anual, e que para maior precisão dos resultados deve-se empregar o coeficiente adequado para cada método de estimativa da evapotranspiração de referência.

O coeficiente de cultivo utilizado na estimativa da  $ET_c$ , resultante da razão entre  $ET_o$  e  $ET_c$ , considera condições ideais, sem limitações locais para o desenvolvimento da cultura, ou redução da evapotranspiração devido a restrições na água do solo, densidade de plantio, doenças, vegetação espontânea, insetos ou salinidade. Segundo Pires et al. (2001), a  $ET_c$  difere da  $ET_o$  principalmente quanto as diferenças de cobertura do solo, propriedade do dossel vegetativo e resistência aerodinâmica entre a grama e as culturas. Para uma mesma cultura, o  $K_c$  varia em função estágio de desenvolvimento, podendo atingir valor maior que 1 quando a mesma estiver em pleno desenvolvimento.

Outras características como o espaçamento entre as plantas, a altura, área foliar e rugosidade da folhagem também influenciam na variação deste coeficiente. Além das características da cultura o  $K_c$  é influenciado intensamente pela umidade da superfície evaporante, sendo que, a maioria das curvas de  $K_c$ , se aplicam as culturas bem supridas por água. (Sedyama et al, 1998). Os efeitos da variação das condições climáticas são incorporados na estimativa da  $ET_o$ . Por isso, o  $K_c$  varia predominantemente com as características específicas da cultura e as práticas culturais adotadas que afetam o desenvolvimento (Allen et al. 1998). Este fato tem justificado a transferência de valores padrões de  $K_c$  entre locais e climas.

Doorenbos e Pruitt, (1977), ressaltam que é indispensável a coleta de dados no local, para culturas irrigadas, de preferência sobre o período vegetativo e desenvolvimento da cultura. O ciclo da cultura é dividido em quatro estádios de desenvolvimento, os quais descrevem os seguintes períodos fenológicos:  $K_{cini}$  (início do estabelecimento da cultura, nº de dias correspondente aos primeiros 10% do desenvolvimento vegetativo da cultura),  $K_{cméd}$  (pleno desenvolvimento da cultura, nº de dias correspondentes a 70-80% de desenvolvimento vegetativo) e  $K_{cfinal}$  (período de maturação). Allen et al. (2006), relatam também que o  $K_c$  é variável de acordo com o estágio fenológico da cultura, podendo atingir, por exemplo, valor superior à unidade na fase reprodutiva de muitas culturas (Figura 1).



**Figura 1.** Curva generalizada do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) (ALLEN et al., 2006).

### 2.3. Cultivo e evapotranspiração em ambiente protegido

O cultivo em ambiente protegido é uma técnica que permite minimizar os efeitos da sazonalidade climática nas culturas e possibilitar o controle da temperatura, umidade relativa, dos teores de oxigênio, dos teores de gás carbônico e os níveis de fertilizantes e a quantidade de água de irrigação aplicada. Entre as vantagens do cultivo em ambiente protegido pode citar-se, por exemplo, maior proteção quanto aos fenômenos climáticos (geadas, excesso de chuvas, queda acentuada de temperatura durante a noite), proteção do solo contra lixiviação, redução dos custos com fertilizantes e defensivos, e a obtenção de maiores produtividades. Segundo Purquerio e Tivelli (2006), a produtividade das culturas em ambiente protegido pode ser de duas a três vezes maior que aquelas obtidas em campo aberto e com qualidade superior. A utilização do ambiente protegido aumenta a produtividade e a produção de alimentos, e requer menor quantidade de água, pois a evapotranspiração nesse ambiente fica em torno de 60 a 80% da encontrada em condições externas (VAN DER POST et al., 1974; MONTERO et al., 1985; PRADOS, 1986; ROSENBERG et al., 1989). Martins (1992), utilizando-se de estufa tipo guarda-chuva em dois anos de pesquisa, verificaram que a evaporação em ambiente protegido sob cobertura plástica foi cerca de 30% a menos do que no

campo, o que contribuiu para uma menor evapotranspiração da cultura dentro do ambiente protegido. A FAO estima que a evapotranspiração é reduzida em 30%, e o uso de água por unidade de produção pode ser diminuído em até 50%, tendo-se maior produtividade dos cultivos em ambientes protegidos (STANGHELLINI, 1993). A evapotranspiração estimada pelo método de Penman em ambiente protegido com cobertura de polietileno, com densidade de 0,1mm, em Pelotas, RS, apresentou-se entre 45 e 70% daquela verificada no exterior (FARIAS et al., 1994).

Segundo Montero et al. (1985), a menor evapotranspiração no interior do ambiente protegido é devido, principalmente, à parcial opacidade do filme plástico à radiação e à redução da ação dos ventos, que interferem na demanda evaporativa da atmosfera, embora a temperatura do ar e a umidade relativa, em alguns momentos, possam ser, respectivamente, maior e menor no interior do ambiente protegido do que a céu aberto, o que contribuiria para maior evapotranspiração.

#### **2.4 Efeito da água sobre o IAF e o teor de clorofia**

O índice de área foliar (IAF) consiste na relação da área foliar da planta com a área do terreno ocupada por ela. 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). Inúmeros estudos levados a efeito com as plantas cultivadas necessitam do conhecimento de suas áreas foliares em determinada ou determinadas fases de seu desenvolvimento. Ela relaciona-se, pois, 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, 1968).

Oliveira (1977) propõe o método das dimensões lineares para determinar a área foliar (AF), segundo o qual, a área foliar, em plantas do feijoeiro, pode ser estimado pela fórmula  $AF=k*(C*L)$ , onde  $K=0,703$  é um fator de correção; C e L,

respectivamente o comprimento e a largura máxima do folíolo. O índice de área foliar (IAF) pode ser obtido pela relação entre a área foliar (AF) e a área de solo amostrado. Monteiro et al. (2005) testando os métodos das dimensões (C x L) e da massa seca, concluíram que a área foliar do algodoeiro pode ser estimada com boa exatidão e excelente precisão a partir da medida das dimensões de suas folhas, com erros em torno de 10% e com elevados coeficientes de correlação.

Em gergelim, Silva et al. (2002) verificaram que as estimativas de área de foliar são mais precisas quando se usam ambas as dimensões de comprimento e largura do limbo. Lima et al. (2008) objetivando estabelecer um modelo para estimar a área foliar do feijão caupi obtiveram o maior valor de coeficiente de correlação ( $R^2$ ) para equações lineares quando se utilizou o produto entre o comprimento e a largura (C x L) dos folíolos.

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 à adaptabilidade a diferentes ambientes. A clorofila 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 e 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 a radiação solar em energia química, por meio do processo de fotossíntese (SANTOS e 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 senescência sob estresse hídrico (HENDRY e PRICE, 1993).

Segundo Engel e 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. 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.

Parâmetros fisiológicos, como medida indireta do teor de clorofila nas folhas pode ser utilizado 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 e PERKINS, 2004; TORRES NETTO et al., 2005).

## **2.5. Efeito da Água sobre o rendimento das culturas**

A maioria das culturas possui períodos críticos quanto à deficiência hídrica, durante os quais a falta de água causa sérios decréscimos na produção final; os prejuízos causados dependem da sua duração e severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (FOLEGATTI et al., 1997). Para se obter ótima produção deve-se conhecer a resposta do suprimento de água sobre o rendimento.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), esta resposta, é quantificada pelo fator de resposta da cultura ( $k_y$ ) que relaciona a queda de rendimento relativo [ $1 - (y_r/y_m)$ ] com déficit de evapotranspiração relativa [ $1 - (E_{Tr}/E_{Tm})$ ]. A obtenção de uma alta produção também requer adoção de práticas de manejo que visem melhorar a irrigação e esta adoção só é possível com o conhecimento das necessidades hídricas das culturas. De acordo com o autor supracitado, a classificação das culturas quanto à sensibilidade ao estresse hídrico pode ser feita em quatro categorias: baixo ( $K_y < 0,85$ ); baixo/médio ( $0,85 < K_y < 1,00$ ); médio/alto ( $1,00 < K_y < 1,15$ ) e alto ( $K_y > 1,15$ ). Cordeiro et al., (1998) estudando a sensibilidade ao déficit hídrico em feijão caupi encontrou valores de  $k_y$  inferiores a 1, indicando baixa sensibilidade aos déficits hídricos aplicados na pesquisa. Doorenbos e Kassam (1994) estudando phaseolus obtiveram na floração  $k_y = 1$ ; no enchimento de grãos  $k_y = 0,75$  e no estágio vegetativo  $k_y = 0,2$ .

Pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de avaliar a sensibilidade da cultura do feijão ao estresse hídrico em função do seu estágio de desenvolvimento. Para Fageria et al. (1991), a fase da planta mais sensível à deficiência de água é a reprodutiva, sendo altamente vulnerável desde o início da floração até o início da formação das vagens. A produtividade é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre de 5 a 10 dias antes da antese, podendo haver uma diminuição superior a 50% no rendimento (NORMAN et al., 1995). Esse efeito é causado principalmente pela baixa taxa de polinização e pelo aborto de óvulos, que causam abscisão dos órgãos reprodutivos, resultante do decréscimo na translocação de fotoassimilados das folhas para as flores (KRAMER; BOYER, 1995).

OLIVEIRA (1987) avaliou o déficit hídrico na cultura do feijoeiro em casa-de-vegetação concluindo que o déficit hídrico nas fases de crescimento, floração e de frutificação causou redução de 31,2%; 10,8% e 51,8% na produção de grãos, respectivamente. Com a expansão celular reduzida, ocorre diminuição da fonte (folhas) e, conseqüentemente, dos fotossintatos disponíveis para translocação em direção aos grãos, resultando numa diminuição no tamanho da demanda. Caso o déficit hídrico ocorra após a expansão foliar, haverá diminuição da competição entre folhas e frutos pelos fotossintatos, sendo a demanda prejudicada somente pela menor disponibilidade destes, ou seja, pela diminuição na taxa fotossintética (CONFALONE et al., 1998). O estresse hídrico desenvolve-se na planta quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e o transporte de água na planta (BERKOWITZ, 1998).

Considerando a atual preocupação mundial com a escassez dos recursos hídricos e o seu alto custo em determinadas situações, a busca pelo aumento da eficiência no uso da água pelas culturas tem sido motivo de preocupação pela pesquisa, extensão e produtores rurais, uma vez que este componente da produção cada vez mais ocupa importante parcela nos custos de produção. Segundo Reichardt e Timm (2004), cerca de 98% do volume de água absorvida pela planta passa por ela perdendo-se para a atmosfera, através da transpiração. No entanto, este fluxo é necessário para o desenvolvimento da planta, devendo por isso ser mantido os limites de umidade dentro do ótimo para as plantas. A absorção contínua de água é essencial ao crescimento e desenvolvimento vegetativo, pois a maioria da plantas em clima tropical chega a perder mais do que seu peso em água, por dia, em certas condições (PIMENTEL, 1998).

Segundo Letey (1985) a manutenção da umidade no solo dentro da faixa ótima, compreendida pelo limite inferior onde começa ocorrer resistência mecânica ao desenvolvimento radicular e pelo limite superior onde ocorre baixa aeração, proporcionaria maior desenvolvimento radicular. Portanto a lâmina de água aplicada combinada às propriedades físicas do solo influenciam no potencial da água, aeração e a resistência mecânica, os quais tem relação direta com a produção. Em algumas regiões onde a água se constitui no principal fator limitante, o objetivo deve ser a obtenção da máxima produção por unidade de água aplicada, adequando a irrigação aos períodos críticos de déficit de água tais como: germinação, floração e enchimento dos grãos ou formação dos frutos (BERNARDO, 1995). Segundo o autor, a razão entre a água evapotranspirada pela cultura e a aplicada pela irrigação deve aproximar-se de 1,0, para que se tenha máxima eficiência de uso e aplicação de água.

Ertek et al. (2005) determinaram a eficiência no uso da água de irrigação (IWUE) e a eficiência no uso da água evapotranspirada pela planta (WUE), para a cultura do pepino. Estes autores avaliando tratamentos de irrigação consistindo em dois intervalos de irrigação (4 e 8 dias) e três (Kcp) coeficientes planta-tanque (0,50, 0,75 e 1,0), obtiveram maior IWUE (0,089 t.ha<sup>-1</sup>.mm) e WUE (0,079 t.ha<sup>-1</sup>.mm), para o tratamento com intervalo entre irrigação de 8 dias e Kcp igual a 1,0.

Antony e Singandhupe (2004) avaliando a influência da irrigação por gotejamento e superfície, no crescimento, rendimento e eficiência no uso da água (EUA) pela cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) var. Califórnia Wonder, concluíram que a EUA teve uma relação linear negativa significativa com a fotossíntese líquida, ou seja, quando as taxas de fotossíntese aumentaram a EUA decresceu de forma linear.

Nos níveis mais baixos de irrigação, existe menos água conseqüentemente ocorre o fechamento dos estômatos causando redução nas perdas de água e decréscimo na fixação de CO<sub>2</sub>. Países com menos água ou que não querem ou não podem arcar com este tipo de produção, preferem comprar grãos no exterior, transferindo o custo ambiental para os países produtores. É neste sentido que se fala que “exportar grãos é exportar água” (BROWN, 2003).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Procedimentos experimentais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com cobertura de polietileno de baixa densidade, de 15  $\mu\text{m}$  de espessura, na área experimental do Colégio Agrícola de Teresina da Universidade Federal do Piauí (UFPI), no município de Teresina-PI, nas coordenadas 05°05'21" de latitude sul e 42°48'07" de longitude oeste e altitude 74 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite & Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão e uma concentração de 32,2% da evapotranspiração potencial no trimestre setembro - outubro - novembro, com precipitação pluvial média anual de 1500mm, concentrando-se entre os meses de janeiro a maio, temperatura média de 27°C e umidade relativa média do ar de 74% (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005).

O cultivo foi feito em vasos, com solo classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, textura franco-arenosa; muito profundo, ácido, com relevo plano, coletado na camada de 0 a 30 cm, sendo também retiradas amostras para sua caracterização físico-química apresentada na Tabela 1. Para a padronização do enchimento dos vasos, de forma a se obter um solo com a mesma densidade do campo foi determinada sua densidade pelo método do anel volumétrico e sua umidade. Assim determinou-se a massa do solo a ser colocado em cada vaso considerando que o mesmo tenha um volume de oito litros.

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo usado nos vasos, Teresina-PI, 2012.

Camada	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	CTC	V
Cm	H <sub>2</sub> O	g.kg <sup>-1</sup>	--mg dm <sup>-3</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
0-10	5,3	6,8	8,5	0,14	2,1	0,8	0,03	0,04	1,5	3,1	4,5	66,5
10-20	5,4	2,6	10,0	0,10	1,7	0,5	0,03	0,00	1,4	2,3	3,7	62,4

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da UFPI

Foram utilizadas sementes de feijão-fava com hábito de crescimento determinado, porte semi-ereto tipo "moita" e de maturação uniforme, oriunda do banco de germoplasma da UFPI. A adubação de fundação foi realizada nos vasos, utilizando-se o adubo misto NPK (5-30-15) de forma a aplicar 10 kg de N, 60 kg de

$P_2O_5$  e 30 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ . O plantio foi feito no dia 10 de março de 2012, com a semeadura de quatro sementes por vasos. Dez dias após a emergência fez-se o desbaste deixando duas plantas por vasos. Aos 20 dias após a emergência fez-se uma adubação de cobertura com aplicação de 40 kg de N e 100 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ . Durante a condução do experimento, foi realizado controle fitossanitário com aplicação do fungicida a base de metalaxyl-m + mancozeb, aos 10 dias após a emergência.

A colheita foi feita quando as vagens se aparentavam em maturação de campo. Foram feitas colheitas a cada semana com o início aos 80 dias após a emergência. Após a colheita, as vagens eram acondicionadas em sacos de papel e em seguida contadas e pesadas. Após o término da colheita aos 120 DAE, foi feita a correção da umidade dos grãos para 13% para obter-se o rendimento de grãos.

### **3.2 Evaporação e evapotranspiração da cultura.**

Para a determinação da evaporação e evapotranspiração da cultura foram utilizados doze lisímetros de drenagem construídos com vasos plásticos com capacidade de 8 litros, os quais foram perfurados na base e neste orifício ajustou-se uma mangueira de condução com 10 cm de comprimento e uma polegada de diâmetro interno, conectando-a a um recipiente plástico com capacidade de 0,5 litros para controle e coleta da água de drenagem.

No fundo de cada vaso colocou-se uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30), para evitar a perda de solo durante a drenagem. Logo acima deste foi colocado uma camada de 3 cm de brita e outra cobertura de manta geotêxtil para facilitar a drenagem da água. Em seguida, todos os vasos foram preenchidos com solo.

Quatro lisímetros foram plantados com feijão-fava para determinar a evapotranspiração da cultura e quatro ficaram somente com solo para determinar a evaporação do solo sem cultivo.

A determinação da evaporação e evapotranspiração da cultura do feijão-fava foram determinadas pelo método de lisimetria, que consiste no balanço hídrico, sendo fundamentada na lei da conservação das massas, apresentada por Reichardt (1985) equação 1:

$$P + I - D - E = \pm h \quad (01)$$

Em que:

P: precipitação natural, em mm

I: lâmina de irrigação, em mm

D: lâmina de drenagem, em mm

E: evaporação ou evapotranspiração da cultura, em mm

h: variação da armazenagem da água no solo dentro dos lisímetros, em mm.

Considerando que a aplicação da lâmina de irrigação sempre elevava a umidade em todos os lisímetros a capacidade, de campo, a variação no armazenamento é igual a zero, como também em virtude da cobertura plástica da casa de vegetação a precipitação pluvial foi desconsiderada. Assim a equação para o cálculo da evaporação e evapotranspiração da cultura ficou reduzida à seguinte expressão.

$$E = I - D \quad (02)$$

O volume de água da evaporação e evapotranspiração da cultura, respectivamente, foram determinadas diariamente em cada vaso, sendo obtido pelo volume aplicado em cada vaso menos o respectivo volume drenado no dia seguinte. Para a transformação dos volumes da evaporação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração da cultura obtidos em cada vaso para valores de lâmina fez-se a divisão destes pela área média dos vasos.

A irrigação fora feita diariamente com lâmina correspondente a 100% da evapotranspiração da cultura, nos tratamentos sem estresse hídrico, enquanto que nos tratamentos sob estresse hídrico a irrigação foi feita com lâmina correspondente a 50% da evapotranspiração da cultura (Figura 2).



**Figura 2:** Detalhes da irrigação dos tratamentos

### 3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram da combinação de indução do estresse hídrico de 50% da evapotranspiração do feijão-fava, por fases de desenvolvimento da cultura (Figura 3). O ciclo da cultura do feijão-fava foi dividido em quatro fases (I, II, III, IV), sendo: fase I, da emergência aos 20 dias após a emergência (DAE); fase II, dos 20 a 40 DAE; fase III, 40 a 60 DAE e fase IV, 60 a 100 DAE.

Foram usados no experimento 10 tratamentos com quatro repetições (vaso) no delineamento inteiramente casualizado (DIC) constituindo assim, 40 parcelas, sendo cada vaso com duas plantas. Os tratamentos foram: **Tratamento 1:** Estresse hídrico na fase vegetativa (I); **Tratamento 2:** Estresse hídrico na fase vegetativa (II); **Tratamento 3:** Estresse hídrico na fase reprodutiva (III); **Tratamento 4:** Estresse hídrico na fase reprodutiva (IV); **Tratamento 5:** Estresse hídrico nas fases vegetativa (I e II); **Tratamento 6:** Estresse hídrico nas fase vegetativa e reprodutiva (II, III e IV); **Tratamento 7:** Estresse hídrico nas fases reprodutiva (III e IV); **Tratamento 8:** Estresse hídrico na fases vegetativa e reprodutiva (I, II e III); **Tratamento 9:** Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva (I, II, III e IV) e **Tratamento 10:** Irrigação Plena.

Para a análise estatística usou-se o software ASSISTAT Versão 7.6 beta (SILVA et. al., 2009). Para interpretação dos resultados, utilizou-se a análise da

variância, aplicando-se o teste de “F” e quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey para ranquear as médias dos tratamentos.



**Figura 3:** Detalhe da área experimental com feijão-fava em desenvolvimento

### **3.4. Variáveis avaliadas**

As variáveis avaliadas foram: número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagens (NG), peso dos grãos (PG), índice de área foliar (IAF) e matéria seca (MST) e rendimento de vagens e grãos: foram quantificadas em cada planta de feijão-fava, o número de flores emitidas a cada semana e o número de vagens formadas (considerou-se vagem quando se verificou a presença de pelo menos uma semente apta para a germinação) e, por diferença, obteve-se o número de flores e vagens abortadas.

Foi determinado o teor de clorofila aos 40, 48, 60 e 80 dias após a emergência, sempre fazendo a leitura nas folhas do terço médio das plantas, com três repetições de leitura em cada parcela (Figura 4). Para o cálculo do teor de clorofila usou-se o medidor portátil de clorofila, clorofiLOG, que permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila na folha sem, no entanto, destruí-la, fazendo com que tal método proporcione simplicidade na operação e rapidez na medidas; possui grande correlação com valores obtidos em laboratórios, além de possibilitar uma avaliação não destrutiva do tecido foliar (FALKER, 2008).



**Figura 4:** Detalhes da determinação do teor de clorofila

O clorofilômetro avalia dois pontos: um de alta absorvância, na região do espectro vermelho, onde há um pico da absorvância pela clorofila, e outro na região do espectro infravermelho, onde ocorre a máxima transmitância; este último para tirar o efeito da espessura da folha e o seu grau de hidratação. Assim, pode-se estimar, indiretamente, o teor de clorofila, pois o aparelho mede a intensidade da cor verde da folha, sendo esta proporcional à concentração de clorofila, a qual, por sua vez, está relacionada ao conteúdo de nitrogênio foliar (BUZETTI, et al., 2008). Foi calculado o índice de área foliar aos 40 dias após a emergência, no início do florescimento. A área foliar (AF) foi determinado usando o método das dimensões lineares, proposto por Oliveira (1977), Segundo o qual, a área foliar AF, em plantas do feijoeiro, pode ser estimado pela multiplicação das mediadas do comprimento e da largura dos folíolos multiplicado por um fator de correção equação (03):

$$AF = K(C * L) \quad (03)$$

Sendo:

K=0,703 (fator de correção);

C= Comprimento do folíolo;

L= largura máxima do folíolo.

O índice de área foliar (IAF) de cada tratamento, foi obtido pela relação entre a área foliar (AF) e a área de solo amostrado ( $\Delta S$ ) equação (04).

$$IAF = \frac{AF}{\Delta S} \quad (04)$$

Obteve-se o comprimento e a largura máxima dos folíolos com a utilização de uma régua milimetrada. Para a estimativa da área foliar foi quantificado o número de folhas por parcela, medido o comprimento e largura de uma amostra de 10 folíolos em cada parcela.

Para a determinação da matéria seca total no final do ciclo da cultura foi feita a colheita da parte aérea da planta e do sistema radicular sendo levado á estufa (65°C) por 48 horas e em seguida foi feito a pesagem: índice de abortamento, em percentagem (o número total de flores e vagens abortadas, em relação ao número total de flores emitidas); número de vagens por planta (total de vagens em cada vaso dividido pelo número de plantas por vaso); número de grãos por vagem (divisão do número de grãos pelo número de vagens); rendimento de grãos (obtido pela pesagem dos grãos das plantas de cada vaso, corrigindo-se esse peso para 13% de umidade).

### 3.5 Fator de resposta da cultura ao déficit hídrico (Ky)

Para quantificar os efeitos do estresse hídrico nas diversas etapas fenológicas da planta, sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (Ky), foi utilizada a expressão empírica descrita por Doorenbos e Kassam (1994) que quantifica a relação entre a redução do rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração.

$$Ky = \frac{[1-(yr/ym)]}{[1-(ETr/ETm)]} \quad (05)$$

Sendo:

ky - fator de sensibilidade parcial para cada estágio ou fase fenológica do feijão-fava

yr - rendimento real da cultura obtido nos tratamentos submetidos ao estresse hídrico;

ym - rendimento máximo da cultura obtido no tratamento, que não sofreu estresse hídrico;

ETr - evapotranspiração real da cultura obtida nos tratamentos submetidos a estresse hídrico;

ETm - evapotranspiração máxima da cultura obtida no tratamento sem estresse;

O rendimento potencial (  $Y_m$  ) e a evapotranspiração da cultura (ETm) foram obtidos do tratamento correspondente à reposição de 100% da água consumida.

### 3.6. Eficiência do uso da água (EUA)

Para a determinação da eficiência do uso da água (EUA) utilizou-se a metodologia descrita por Doorenbos e Kassam (1979), na qual a eficiência do uso de água (EUA) das culturas pode ser determinada tanto para a produção biológica, como para a produção de toda a planta ou parte dela. Neste trabalho foi determinada para a produção de matéria seca, bem como produção de vagens, e produção, de grãos secos de feijão-fava, feita por meio da relação entre matéria seca produzida, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , e a quantidade de água consumida pela cultura na parcela em  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , expressa em  $\text{kg m}^{-3}$ . A eficiência do uso de água foi obtida por meio da equação 5:

$$EUA = \frac{Y}{W} \quad (06)$$

Em que:

EUA: eficiência do uso da água, ( $\text{kg m}^{-3}$ );

Y: rendimento da cultura, ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

W: Quantidade de água consumida pela cultura, ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ )

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Déficit hídrico e fenologia do feijão-fava

A emergência das plântulas do feijão-fava ocorreu em média aos oito dias após a semeadura. Nesta fase todos os tratamentos receberam lâmina equivalente a evapotranspiração não sendo submetidas ao déficit hídrico.

A análise de variância para o início da floração, bem como para início da maturação e ciclo do feijão-fava, em dias após a emergência (DAE), são apresentadas na Tabela 2. Não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados quanto ao início da floração das plantas, o qual ocorreu em média aos 36 DAE. Embora não tenha ocorrido diferença significativa entre os tratamentos, aqueles sob estresse hídrico somente na fase vegetativa (I) e somente na fase (II) floresceram aos 34 DAE, enquanto que o tratamento com irrigação plena, floresceu aos 37 dias e o tratamento com estresse hídrico nas fases II, III e IV o florescimento ocorreu aos 40 dias indicando uma pequena indução de precocidade em função do estresse hídrico na fase vegetativa (Tabela 3). O tempo para início da floração também é uma característica da variedade. Santos et. al. (2002) observaram diferenças de até 20 dias para início do florescimento de feijão-fava entre 8 variedades estudadas, sendo que as mais precoces iniciaram a floração aos 49 dias, e as mais tardias aos 71 dias após a semeadura. Silva Neto (2010) estudando 70 acessos de fava constatou que o tempo médio de floração foi de 65 dias, com amplitude de 59 dias. Neste mesmo estudo este autor observou que os genótipos mais precoces atingiram a plena floração aos 39 dias, enquanto o mais tardio aos 98 dias após a emergência.

Em relação ao início da maturação das vagens verificou-se através da análise de variância que não houve diferença significativa entre os tratamentos, o início da maturação das vagens deu-se aos 74 DAE (Tabela 3). Nos tratamentos E. H. na fase (I), E. H. na fase (II), E. H. na fase (I, II e III) o início da maturação deu-se aos 70, 70 e 72 dias após a emergência respectivamente, enquanto que no tratamento, com irrigação plena o início da maturação deu-se aos 76 DAE e nos demais tratamentos; E. H. nas fase (II, III e IV); E. H. nas fases (I e II) e E. H. na fase (III) aos 76 DAE. A maturação do feijão-fava ocorreu de forma desuniforme, e mesmo na fase de maturação, alguns ramos continuavam a emitir inflorescência, principalmente nos tratamentos que durante a fase de maturação estavam

recebendo a lamina de água requerida pela cultura (Tratamentos sem déficit hídrico na fase IV).

Quanto à análise de variância para ciclo da cultura em (DAE) não houve diferença significativa pelo teste de F, sendo que o ciclo da cultura foi em média de 117 dias. Os tratamentos, E. H. na fase (I), E. H. na fase (II), E. H. na fase (III) apresentaram ciclo de 120 DAE, mostrando que após um período de déficit hídrico com retorna da irrigação plena as plantas tiveram um período vegetativo maior, pois nos tratamentos com irrigação plena, E. H. na fase (IV), E. H. nas fases (III e IV) e E. H. nas fases (I, II, III e IV) apresentaram ciclo de 115, 115, 112 e 111 DAE, respectivamente. Oliveira et. al., (2010) estudando a fenologia e o desenvolvimento vegetativo do feijão-fava a fase de maturação dos frutos iniciou-se entre 51 e 74 dias, a maturidade de 50% das vagens entre 67 e 85 dias e a maturação completa ocorreu entre 84 e 97 dia, quanto ao ciclo, sob condições de casa de vegetação, os acessos testados apresentaram ciclo de 120 dias, sendo que a maturação de campo aconteceu entre os 84 e 97 dias.

**Tabela 2.** Resumo das análises de variância para dias ao inicio da floração, maturação e ciclo (DAE) de feijão-fava, sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.

F. V.	Floração (DAE)	Maturação (DAE)	Ciclo (DAE)
	QM	QM	QM
Tratamentos	16,6ns	25,06ns	49,55ns
Resíduo	11,81	13,33	16,55

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

**Tabela 3.** Valores do período de duração, em dias após a emergência (DAE), para florescimento, para a maturação de vagens; ciclo da cultura sob estresse hídrico e em irrigação plena.

TRATAMENTOS	Floração	Maturação	Ciclo
	DAE	DAE	DAE
E. H. na fase (I)	34 a	70,00 a	120,00 a
E. H. na fase (II)	34 a	70,00 a	120,00 a
E. H. na fase (III)	37 a	76,00 a	120,00 a
E. H. na fase (IV)	36 a	72,00 a	115,00 a
E. H. nas fases (I e II)	36 a	76,00 a	120,00 a
E. H. nas fase (II, III e IV)	40 a	76,00 a	120,00 a
E. H. nas fases (III e IV)	35 a	72,00 a	112,50 a
E. H. na fases (I, II e III)	35 a	72,00 a	119,50 a
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	37 a	74,00 a	111,25 a
Com irrigação plena	37 a	76,00 a	115,00 a
	<b>CV=9,25%</b>	<b>CV=4,97%</b>	<b>CV=3,47%</b>
	<b>MG=36,00</b>	<b>MG=73,4</b>	<b>MG=117,32</b>

\* Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade.

O resumo da análise de variância para índice de área foliar do feijão-fava pode ser observado na Tabela 4. Houve diferença no IAF, a 5% pelo teste F, para o estresse hídrico nas fases de desenvolvimento do feijão-fava. O feijão-fava teve o menor IAF, nos tratamentos estresse hídrico na fase vegetativa II, e estresse hídrico nas fases II, III e IV; com IAF de 1,69 e 1,39 respectivamente. No tratamento sem déficit hídrico, com irrigação plena o IAF foi de 3,20 (Tabela 5). 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). Tal redução constitui um mecanismo morfológico de defesa, pois a redução da interface entre a planta e a atmosfera reduz a transpiração, o que é positivo, porém também reduz a assimilação fotossintética, o que é negativo para a produção. Com área foliar menor, há diminuição na transpiração, conservando água no solo por período mais longo (TAIZ e ZEIGER, 2004). De acordo Fernández et al. (1996), o uso da água pelas plantas é determinada pela área foliar e, uma vez exposta ao déficit hídrico esta é diminuída. Segundo Taiz e Zeiger (2004), existe

uma estreita relação entre a disponibilidade de água no solo e a área foliar, sendo menor o crescimento foliar com a redução da umidade do solo, sugerindo uma grande sensibilidade desta variável à deficiência hídrica.

O resumo da análise de variância para índice de abortamento de flores e vagens encontra-se na Tabela 4. Houve efeito significativo em nível de 1% do déficit hídrico sobre índice de abortamento de flores e vagens. O tratamento irrigação plena apresentou índice de abortamento menor do que todos os outros, com taxa de 27,10%. Os demais tratamentos não diferenciaram entre si, apresentando valores de 73,05; 67,35; 64,88 e 62,86 % quando o déficit ocorreu respectivamente na fases I, II e III; I e II; III e IV; II, III e IV. O estresse hídrico durante o período de floração e formação de vagens intensificou o abortamento de flores e vagens de feijão-fava. Resultados semelhantes foram encontrados por Hostalácio e Válio (1984) onde o estresse hídrico durante o período de floração e formação de vagens de feijoeiro induziu o abortamento de flores e vagens jovens, ajudando a formação das primeiras, pois ocorreu uma competição fonte-dreno, sendo então eliminadas flores anormais, com falha na fertilização, ou vagens mais novas que abortam por falta de nitrogênio ou carboidratos. Estresse hídrico na etapa de enchimento de vagens produziu um abortamento de vagens jovens e produção de vagens chochas.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para índice de área foliar de feijão-fava, aos 40 DAE; índice de abortamento de flores e vagens de feijão-fava sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.

F. V	Índice de área foliar	Índice de abortamento de flores e vagens
	QM	QM
Tratamentos	0,541 *	858,5 **
Resíduo	0,223	145,4

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

**Tabela 5.** Índice de área foliar; índice de abortamento de flores e vagens do feijão-fava, sob estresse hídrico e em irrigação plena.

TRATAMENTOS	Índice de Área foliar	Índice Abortamento
		%
E. H. na fase (I)	2,04 ab	59,94 ab
E. H. na fase (II)	1,69 b	58,34 ab
E. H. na fase (III)	1,90 ab	61,43 ab
E. H. na fase (IV)	2,19 ab	59,17 ab
E. H. nas fases (I e II)	2,62 ab	67,35 a
E. H. nas fase (II, III e IV)	1,39 b	62,83 ab
E. H. nas fases (III e IV)	2,63 ab	64,88 ab
E. H. na fases (I, II e III)	2,08 ab	73,05 a
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	2,08 ab	64,68 ab
Com irrigação plena	3,20 a	27,10 b
	<b>CV=26,93%</b>	<b>CV=26,30%</b>
	<b>MG=1,76</b>	<b>MG=59,88</b>

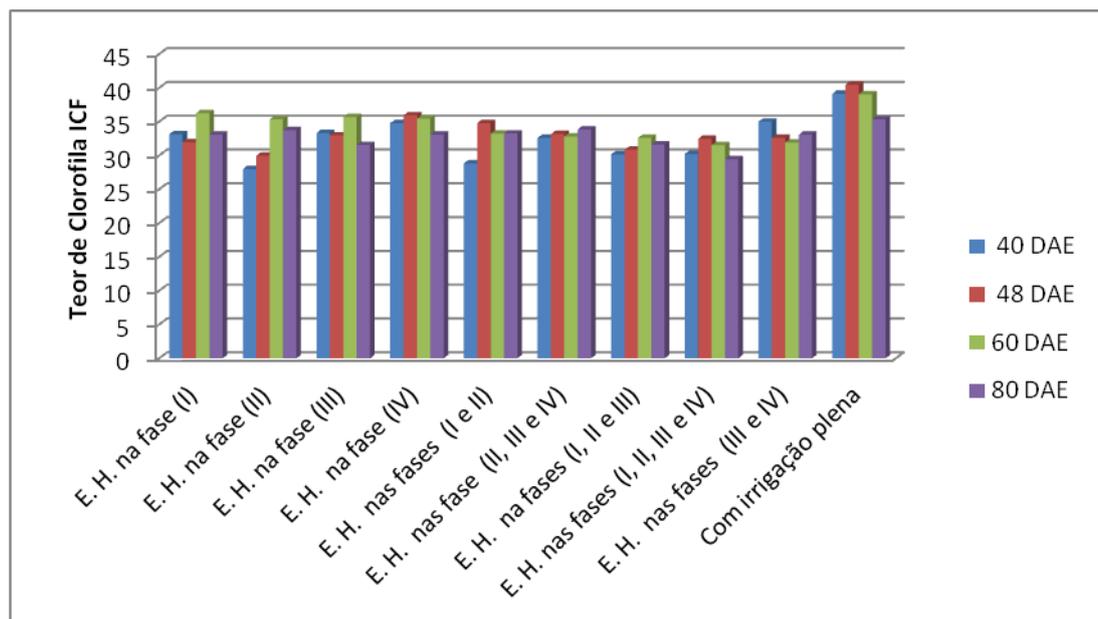
Na Tabela 6 encontram-se os resumos das análises de variância, para o índice do teor de clorofila, aos 40, 48, 60 e 80 dias após a emergência, na cultura do feijão-fava, em função do estresse hídrico. Verifica-se que houve efeito significativo do estresse hídrico sobre o teor de clorofila aos 40 e 48 DAE, sendo que as plantas que sofreram estresse hídrico na fase III apresentaram menores teores de clorofila, que as plantas não estressadas. O estresse hídrico interfere no estado nutricional da planta, diminuindo o ICF (Tabela 7). Estes resultados diferem dos obtidos por Lima (2008) com a cultura do feijão, que não registrou variações significativas no ICF passíveis de correlação com os efeitos da deficiência hídrica. Aos 60 e 80 DAE (Tabela 7), não houve diferença estatística significativa no teor de clorofila entre os tratamentos. O teor de clorofila no tratamento com irrigação plena foi de 39,05 aos 60 DAE e 35,37 aos 80 DAE; no tratamento estresse hídrico nas fases I, II, III e IV o teor de clorofila foi de 31,52 aos 60 DAE e 29,46 aos 80 DAE; no tratamento estresse hídrico na fase I o teor de clorofila foi de 36,25 aos 60 DAE e 33,07 aos 80 DAE, no tratamento estresse hídrico na fase II o teor de clorofila aos 60 DAE foi de 35,35 e aos 80 DAE foi de 33,75, nos demais tratamentos ocorreu a mesma

diminuição do teor de clorofila dos 60 para os 80 DAE. Aos 60 e aos 80 DAE as plantas já estão na fase de maturação das vagens, começando a senescência, com a queda das folhas e diminuição do teor de clorofila em todos os tratamentos (Figura 5).

**Tabela 6.** Resumo das análises de variância para teor de clorofila ICF no feijão-fava aos 40, 48, 60 e 80 DAE, sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.

F. V.	Teor de Clorofila (ICF)			
	40 (DAE)	48 (DAE)	60 (DAE)	80 (DAE)
	QM	QM	QM	QM
Tratamentos	44,70*	35,71 *	22,30 ns	10,30 ns
Resíduo	15,19	11,72	48,37	21,49

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )  
 ns não significativo ( $p \geq .05$ )



**Figura 5.** Teores médios de clorofila em feijão-fava sob estresse hídrico, aos 40, 48, 60 e 80 dias após a emergência.

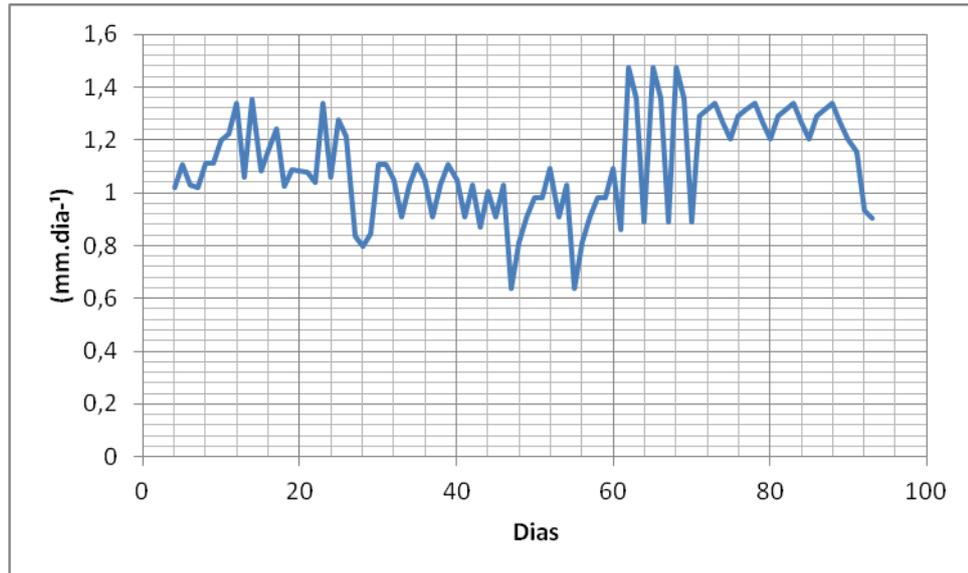
**Tabela 7.** Valores médios do índice do teor de clorofila (ICF), medida aos 40, 48, 60 e 80 DAE, em feijão-fava com estresse e sem estresse hídrico por fase de desenvolvimento.

TRATAMENTOS	Teor de Clorofila ICF			
	40 DAE	48 DAE	60 DAE	80 DAE
E. H. na fase (I)	33,15 ab	31,97 b	36,25 a	33,07 a
E. H. na fase (II)	28,00 ab	29,97 b	35,35 a	33,75 a
E. H. na fase (III)	33,32 ab	32,97 ab	35,67 a	31,55 a
E. H. na fase (IV)	34,77 ab	35,95 ab	35,45 a	33,07 a
E. H. nas fases (I e II)	28,82 b	34,80 ab	33,24 a	33,25 a
E. H. nas fase (II, III e IV)	32,60 ab	33,17 ab	32,80 a	33,85 a
E. H. nas fases (III e IV)	35,00 ab	32,60 ab	31,92 a	33,07 a
E. H. na fases (I, II e III)	30,17 ab	30,85 b	32,60 a	31,61 a
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	30,22 ab	32,47 ab	31,52 a	29,46 a
Com irrigação plena	39,12 a	40,47 a	39,05 a	35,37 a
	<b>CV=11,99%</b>	<b>CV=10,21%</b>	<b>CV=20,23</b>	<b>CV=14,13%</b>
	<b>MG=32,5</b>	<b>MG=33,5</b>	<b>MG=34,38</b>	<b>MG=32,80</b>

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade.

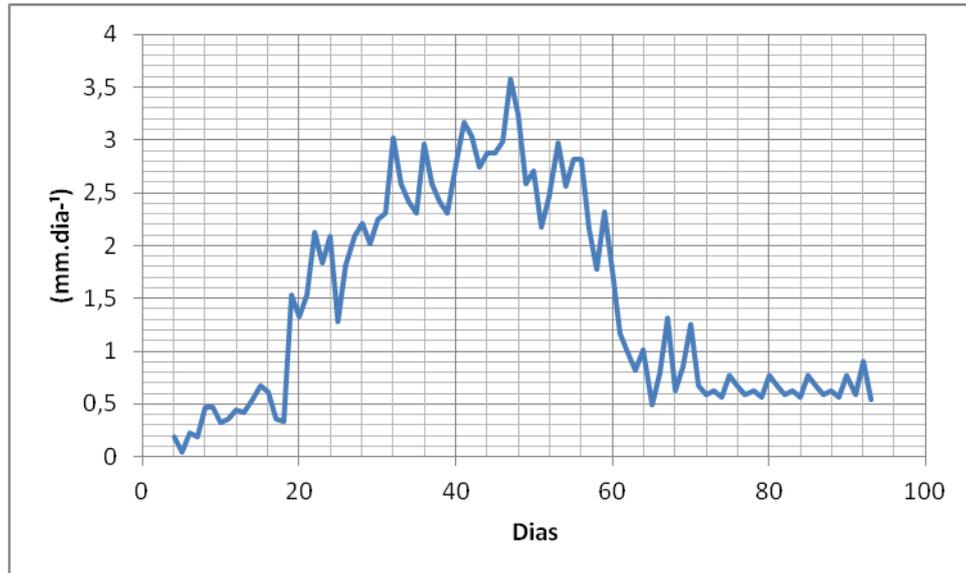
## 4.2 Relação água-solo-plantas-atmosfera em ambiente protegido

Os valores médios da evaporação diária no interior da casa de vegetação são apresentados na Figura 6. No presente estudo a evaporação média diária da superfície do solo úmido durante a condução do experimento foi de 1,10 mm dia<sup>-1</sup> com desvio padrão de 0,18 mm dia<sup>-1</sup>, por se tratar de evaporação em ambiente protegido a demanda atmosférica é reduzida diminuindo assim a taxa de evaporação do solo. Isto se deve ao fato de que a velocidade do vento, a umidade do ar, a temperatura do ar e a radiação solar incidente serem maiores fora da casa de vegetação do que no interior da mesma (VÁSQUEZ, et al., 2005). Este mesmo autor estudando o efeito do ambiente protegido sobre os elementos meteorológicos cultivando melão encontrou valores médios da umidade relativa interna (URI) e da umidade relativa externa (URE) durante o ciclo de 71,17% e de 74,25%, respectivamente, de forma que, a URI média foi 3,08% menor em relação ao ambiente externo.



**Figura 6.** Valores médios da evaporação diária da superfície do solo em ambiente protegido durante a condução do experimento.

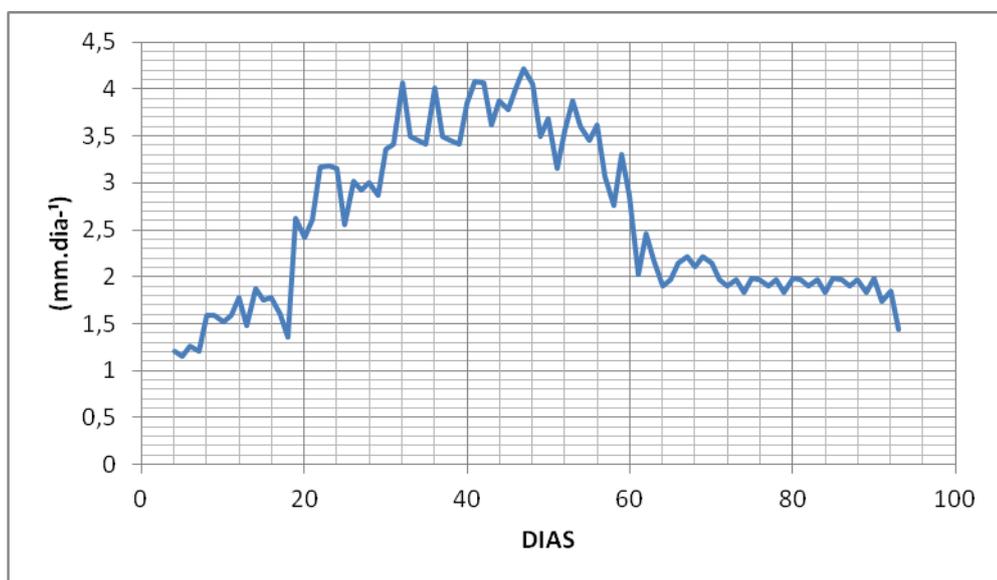
A transpiração da cultura do feijão-fava em ambiente protegido variou de  $0,37 \text{ mm.dia}^{-1}$  durante o estágio inicial do desenvolvimento vegetativo (da emergência aos 20 DAE), chegando aos  $2,43 \text{ mm.dia}^{-1}$  no início do florescimento aos 40 DAE e atingindo a transpiração máxima na fase de enchimento de grãos  $3,65 \text{ mm.dia}^{-1}$  dos 40 aos 74 DAE, no final do ciclo a transpiração média foi de  $0,65 \text{ mm.dia}^{-1}$  Figura 7. OLIVEIRA et. al. (2005) estudando indicadores de estresse hídrico em feijoeiro encontraram valores médios da transpiração ao longo do ciclo entre  $2$  e  $12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , com valores máximos obtido na floração onde a transpiração atingiu valores máximos de  $12 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 7.** Valores médios da transpiração diária do feijão-fava da emergência ao final do ciclo em ambiente protegido.

A evapotranspiração da cultura do feijão-fava em ambiente protegido variou de  $1,51 \text{ mm.dia}^{-1}$  durante o estágio inicial do desenvolvimento vegetativo (da emergência aos 20 DAE), chegando aos  $3,12 \text{ mm.dia}^{-1}$  no início do florescimento aos 40 DAE e atingindo a evapotranspiração máxima na fase de enchimento de grãos  $3,75 \text{ mm.dia}^{-1}$ , dos 40 aos 74 DAE, na fase final do enchimento dos grãos e maturação fisiológica das vagens quando começam a senescência das folhas no final do ciclo da cultura a evapotranspiração média foi de  $1,90 \text{ mm.dia}^{-1}$ , com uma evapotranspiração total de  $228,66 \text{ mm}$  durante o ciclo Figura 8. Em termos médios, durante todo ciclo do feijão-fava sua necessidade hídrica, dependendo da variedade e das condições edafoclimáticas locais, pode ultrapassar os  $700 \text{ mm}$  (MOUSINHO, 2010). Ritter e Scarbough, citados por Mousinho, (2010), em trabalhos com fava na costa leste dos Estados Unidos em condição de campo encontraram valores de evapotranspiração diária variando de  $6,4$  a  $9,1 \text{ mm}$ . Cunha, (2001) estudando parâmetros agrometeorológicos no cultivo do pimentão em campo e ambiente protegido encontrou valores de evapotranspiração para o cultivo protegido de  $509,60 \text{ mm}$ , e com um valor de  $741,11 \text{ mm}$  para o cultivo de campo, havendo portanto, um aumento percentual de  $45,43\%$  do cultivo protegido para o cultivo de campo, mostrando que em condição de cultivo protegido o calor cedido para a

evaporação foi menor, o que pode estar associada a uma parcial opacidade do filme plástico à radiação e à redução da ação dos ventos nesse cultivo, os quais são os principais fatores de demanda evaporativa da atmosfera. Resultados semelhantes também foram encontrados por Farias et al. (1994) que estudaram a evapotranspiração estimada pelo método de Penman em ambiente protegido com cobertura de polietileno, com densidade de 0,1mm, em Pelotas, RS, encontrando valores entre 45 e 70% menor de evapotranspiração em ambiente protegido, que a verificada em campo.



**Figura 8.** Valores médios da evapotranspiração diária do feijão-fava da emergência ao final do ciclo em ambiente protegido.

#### 4.3. Efeito do déficit hídrico sobre o desempenho produtivo do feijão-fava

O resumo da análise de variância referente à massa de 100 grãos mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos, estresse hídrico por fase de desenvolvimento e irrigação plena (Tabela 8). A média entre os tratamentos para massa de 100 sementes foi de 31,8 g, (Tabela 9). Os valores de massa de 100 grãos por tratamentos foram, E. H. na fase (III), E. H. na fase (I) e E. H. nas fases (III e IV) com valores de 36,61; 36,55 e 33,79 gramas por massa de 100 grãos respectivamente, enquanto nos tratamentos com irrigação plena, E. H. nas fases (I e II), E. H. nas fases (I, II, III e IV), E. H. na fases (I, II e III) e E. H. na fases (II) com

valores de 26,73; 25,60; 29,60; 30,59 e 30,24 gramas por 100 grãos respectivamente.

Os resultados obtidos situaram-se abaixo do intervalo encontrado por Santos et al. (2002), que foi de 32,6 a 79,5g (estudo de 8 variedades de feijão-fava) e entre o intervalo encontrado por Melo (2005) que encontrou variação de 30,96 a 82,29 g (ensaio com 13 variedades de feijão-fava). Azevedo et al. (2003) estudando variedade de feijão-fava observaram variação média do peso de 100 sementes de feijão-fava de 47,39 a 90,05 g.

A análise de variância revelou que o número de vagens por planta apresentou diferença significativa ( $P < 0,01$ ) pelo teste F (Tabela 7), para estresse hídrico por fase de desenvolvimento e irrigação plena. O maior número de vagens por plantas foi encontrado nos tratamentos com irrigação plena, E. H. na fase (II), E. H. na fase (I), E. H. nas fases (I e II) e E. H. na fase (IV); com 13,50; 9,62; 6,37; 6,12 e 6,00 número de vagens por plantas respectivamente. O menor número de vagens por plantas foram encontrado nos tratamentos E. H. na fases (I, II e III), E. H. nas fases (I, II, III e IV), E. H. na fase (III), E. H. nas fase (II, III e IV) e E. H. nas fases (III e IV) com 2,5; 3,12; 3,75; 4,0 e 4,37 número de vagens por plantas respectivamente, note-se que a diminuição no numero de vagens deu-se em função do maior índice de abortamento de flores e vagens, quando o estresse hídrico deu-se no inicio da floração e maturação apresentando um maior índice de abortamento de flores e vagens. Resultado semelhante foi encontrado por Calvache et al. (2007), estudando feijoeiro, o estresse durante o período da floração (R5) e formação de vagens (R6) estão em o feijão mostrou-se mais sensível. Mostrando que a falta de água nos períodos de floração e de formação das vagens influi notadamente no número de vagens por plantas, tendo em vista que um nível adequado de água no solo induz uma ótima floração e formação de vagens e enchimento de grãos. O estresse hídrico por sua vez, durante o período de floração e formação de vagens produz abortamento de flores e vagens jovens, pois ocorre uma competição fonte-dreno, sendo então eliminadas flores anormais, com falha na fertilização, ou vagens mais novas que abortam por falta de nitrogênio ou carboidratos, conforme foi verificado também por Hostalácio e Valio (1984). Estresse hídrico na etapa de enchimento de

vagens produz um abortamento de vagens jovens e produção de vagens chochas nas pontas, tendo em vista que o enchimento ocorre da base para as pontas.

A diferença no número de vagens do feijão-fava, encontrados em diversos trabalhos, sugere uma grande variabilidade dessa característica em relação às variedades e as condições edafoclimáticas das diferentes regiões de cultivo. O número de vagens por plantas é afetado pela adubação, pelo estresse hídrico. Fageria et al. (2003) e Navarro Júnior e Costa (2002) afirmam que o número de vagens por planta é o componente mais importante quando se busca aumentos no rendimento de grãos. Oliveira et al. (2011), ao avaliar oito acessos de fava, observaram que os mais produtivos foram os que apresentaram maior número de vagens por planta, e os acessos menos produtivos os que apresentaram menor número de vagem. Acosta-Gallegos e Shibata (1989) encontraram uma redução de todos os componentes da produção quando o feijão foi submetido a estresse de água. A redução da produção foi maior (42 a 50%) quando o estresse foi aplicado na fase reprodutiva comparada à vegetativa, tendo isso sido atribuído a um decréscimo da área foliar e do número de vagens por planta.

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância para massa de 100 grãos, número de vagens por plantas e número de grãos por vagens do feijão-fava sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.

F. V.	Massa de 100	Número de vagens	Número de grãos
	grãos	por plantas	por vagens
	QM	QM	QM
Tratamentos	53,71 ns	45,21**	0,21 ns
Resíduo	26,66	3,50	0,24

ns não significativo ( $p \geq .05$ )

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

**Tabela 9.** Valores de massa de 100 grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem do feijão-fava, sobre estresse hídrico e em irrigação plena.

TRATAMENTOS	Massa de 100 Grãos	Número de Vagens por plantas	Número de Grãos por Vagens
E. H. na fase (I)	36,61 a	6,37 bc	1,73 a
E. H. na fase (II)	30,24 a	9,62 ab	1,35 a
E. H. na fase (III)	36,55 a	3,75 c	1,87 a
E. H. na fase (IV)	30,32 a	6,00 bc	1,42 a
E. H. nas fases (I e II)	25,60 a	6,12 bc	1,46 a
E. H. nas fase (II, III e IV)	31,82 a	4,00 c	1,56 a
E. H. nas fases (III e IV)	33,79 a	4,37 c	1,97 a
E. H. na fases (I, II e III)	30,59 a	2,50 c	1,55 a
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	29,60 a	3,12 c	1,64 a
Com irrigação plena	26,73 a	13,50 a	1,99 a
	<b>CV= 16,56%</b> <b>MG=31,18</b>	<b>CV= 31,54</b> <b>MG=5,93</b>	<b>CV=29,65%</b> <b>MG=1,65</b>

\* Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey em nível de 0,05 de probabilidade

Em relação a análise de variância referente ao número de grãos por vagem, Tabela 8, de acordo com o teste F, a 5% de probabilidade, não houve efeito significativo dos tratamentos estresse hídrico por fase de desenvolvimento e irrigação plena. Os valores médios dos tratamentos referentes ao número de grãos por vagem podem ser observados na Tabela 9. A média entre os tratamentos foi de 1,8 grãos por vagem. Os dados encontrados nesta pesquisa estão próximos daqueles obtidos por Oliveira et al. (2011), cujo o número médio de sementes por vagem foi de 2 sementes, nos 8 acessos de feijão-fava estudados. Guimarães et al. (2007) encontraram valores para o número de sementes por vagem variando de 2 a 6, em ensaio com 14 acessos de feijão-fava.

Na Tabela 10, encontra-se o resumo da análise de variância para a produtividade de vagens de feijão-fava, produtividade de grãos e produção de MST. Os resultados indicam diferença significativa para as variáveis estudadas, em nível de 1% ( $p < 0,01$ ) pelo teste de F. Os tratamentos que apresentam maiores produtividades sendo menos sensíveis ao estresse hídrico são: E. H. na fase (I), E. H. na fase (II), E. H. na fase (IV) e E. H. nas fases (I e II) para a produtividade de vagens, com produção de 1298,53; 1536,94; 1222,81 e 1151,93 kg.ha<sup>-1</sup>

respectivamente. Os mais sensíveis ao estresse hídrico com menor produtividade são os tratamentos: E. H. na fases (I, II e III), E. H. nas fases (I, II, III e IV) com produção de 296,07 e 539,85 kg.ha<sup>-1</sup> de vagens de feijão-fava respectivamente. A maior produtividade foi obtida no tratamento sob irrigação plena 2584,98 kg.ha<sup>-1</sup> de vagens.

Para a produtividade de grãos, o maior valor foi obtido no tratamento sob irrigação plena 1407,94 kg.ha<sup>-1</sup> de grãos. Melo (2005) estudando feijão-fava obteve rendimentos acima de 2500 kg.ha<sup>-1</sup> para uma lamina de irrigação de 761mm durante o ciclo da fava em Sapé-PB, utilizando a variedade “Boca-de-moça”. Os tratamentos sob estresse que apresentam maiores produtividades sendo menos sensíveis ao estresse hídrico são: E. H. na fase (I), E. H. na fase (II), E. H. na fase (IV) e E. H. nas fases (I e II) com produção de 643,24; 712,02; 645,65 e 577,23 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente de grãos de feijão fava. Os mais sensíveis ao estresse hídrico com menor produtividade são os tratamentos: E. H. na fases (I, II e III), E. H. nas fases (I, II, III e IV) e E. H. nas fases (III, III e IV) com produção de 282,79; 311,97 e 357,19 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente de grãos de feijão fava. A sensibilidade ao estresse hídrico para a produtividade de grãos foi maior quanto maior a duração do estresse hídrico (quando ocorreu em mais de uma fase de desenvolvimento) e quando o mesmo deu-se durante a floração, formação e enchimento de vagens. De acordo com Fancelli e Dourado Neto (1999), a deficiência hídrica na fase de formação das vagens afeta o rendimento do feijoeiro pela redução da taxa de fotossíntese e do metabolismo da planta, e pela queda e diminuição do crescimento das vagens. Além do efeito direto sobre o desenvolvimento da cultura, o déficit hídrico leva à redução da eficiência de absorção de alguns nutrientes como o nitrogênio e fósforo.

Para a produção de MST, os tratamentos que apresentam maiores produção sendo menos sensíveis ao estresse hídrico são: E. H. na fase (IV), E. H. na fase (III), E. H. na fase (III e IV) com produção de 1373,19; 1165,9 e 1027,38 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente de MST. Os tratamentos mais sensíveis ao estresse hídrico com menor produção são os tratamentos: E. H. na fases (II); E. H. na fases (I); E. H. nas fases (I, II, III e IV); E. H. na fases (I e II) e E. H. nas fases (II, III e IV) com produção de 573,49; 725,25; 795,25; 852,99 e 868,71 kg.ha<sup>-1</sup> de MST respectivamente (Tabela 11). Períodos de seca produzem incremento de

desenvolvimento das raízes e acúmulo de fotoassimilados nas raízes, o que aumenta a absorção de água de camadas de solo que tem água disponível. Déficit de irrigação pode ser aceitável em zonas que tivessem deficiência de água nesta época. Por outro lado, a irrigação deficiente durante todo o ciclo reduziu drasticamente a produção de vagens, grãos e MST comparando-se com o tratamento sem estresse hídrico.

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância para produtividade de vagens, produtividade de grãos e produção de matéria seca total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do feijão-fava sob estresse hídrico por fases de desenvolvimento e irrigação plena.

	Produtividade de Vagens	Produtividade de Grãos	Produção de matéria seca total
	QM	QM	QM
Tratamentos	1746055,53**	422798,3**	17498143,0**
Resíduo	19845,410	2940,82	67800,29

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

**Tabela 11.** Valores médios da produtividade de vagens, de grãos e da produção de matéria seca total, em feijão-fava com estresse e sem estresse hídrico por fase de desenvolvimento.

TRATAMENTOS	Produtividade (kg/ha)		
	Vagens	Grãos	Matéria seca total
E. H. na fase (I)	1298,53 bc	643,24 bc	725,50 de
E. H. na fase (II)	1536,94 b	712,02 b	573,49 e
E. H. na fase (III)	759,62 d	456,52 de	1165,90 bc
E. H. na fase (IV)	1222,81 bc	654,65 bc	1373,19 b
E. H. nas fases (I e II)	1151,93 c	577,23 cd	852,99 cde
E. H. nas fase (II, III e IV)	630,65 d	357,19 ef	868,71 cde
E. H. nas fases (III e IV)	728,77 d	461,05 de	1027,38 bcd
E. H. na fases (I, II e III)	296,07 e	282,79 f	978,25 cd
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	539,85 de	311,97 f	795,50 de
Com irrigação plena	2584,98 a	1407,94 a	5267,07 a
	CV= 13,14%	CV= 9,25%	CV= 10,97%
	MG=1072,01	MG=586,46	MG=1747,31

\*\* Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey em nível de 0,01 de probabilidade.

#### 4.4 Fator de resposta do feijão-fava ao déficit hídrico ( $K_y$ )

De acordo com Dorenbos e Kassam (1994), a classificação das culturas quanto à sensibilidade ao estresse hídrico pode ser feita em quatro categorias: baixo ( $K_y < 0,85$ ); baixo/médio ( $0,85 < K_y < 1,00$ ); médio/alto ( $1,00 < K_y < 1,15$ ) e alto ( $K_y > 1,15$ ). Analisando as médias de  $k_y$  para a produtividade de vagens dos tratamentos, estresse hídrico na fase I, estresse hídrico na fase II, estresse hídrico na fase III e estresse hídrico na fase IV; que foram submetidos a déficit hídrico em apenas um estágio fenológico, observa-se que a redução relativa do rendimento do feijão fava foi mais acentuada no estágio de floração e formação de vagens (estresse hídrico na fase III) com  $k_y = 1,41$ .

O déficit hídrico nos tratamentos estresse hídrico na fase I, estresse hídrico na fase II e estresse hídrico na fase IV; estádios de crescimento vegetativo e enchimento de grãos, cujos  $k_y$ , 0,99; 0,81 e 1,05 respectivamente, tiveram menos efeito sobre o rendimento da cultura, sendo menor a sensibilidade ao estresse hídrico nas fase II e I com  $k_y$  0,81 e 0,99 respectivamente (Tabela 12). Tais valores são maiores do que os encontrados por Doorenbos e Kassam (1994) que estudando feijoeiro obtiveram na floração  $k_y = 1,1$  enquanto se obtém  $k_y = 1,41$  no presente estudo; enchimento de grãos ( $k_y = 0,75$  para Doorenbos e Kassam, contra  $k_y = 1,05$ ) e vegetativo ( $k_y = 0,2$  para Doorenbos e Kassam, contra  $k_y = 0,8$  para o presente estudo com feijão-fava)

Os valores dos coeficientes de sensibilidade  $k_y$  nos tratamentos com estresse hídrico em mais de um estágio fenológico estresse hídrico na fase (I e II); estresse hídrico na fase (III e IV); estresse hídrico na fase (I, II e III); estresse hídrico na fase (II, III e IV) e estresse hídrico na fase (I, II, III e IV), cujos  $k_y$ , 1,10; 1,4; 1,79; 1,51 e 1,58 respectivamente, apresentando maior  $k_y$  o tratamentos estresse hídrico na fase (I, II e III) estresse hídrico no desenvolvimento vegetativo e na floração, e também o tratamento no qual o feijão-fava foi submetido a deficiência hídrica durante todo o ciclo da cultura.

Nos tratamentos com estresse hídrico em duas fases, o maior valor de  $k_y$  ocorreu no tratamento com estresse hídrico durante a formação e enchimento de vagens, com  $k_y$  de 1,32. Resultados semelhantes foram encontrados por

(CORDEIRO et al., 1998), estudando o efeito do estresse hídrico em feijão-caupi, onde a deficiência de água nos estádios vegetativo e floração foi maior com  $ky = 0,66$ . Por sua vez, os tratamentos, E. H. na fase (II); E. H. na fase (IV); E. H. na fase (I) e E. H. nas fases (I e II) apresentam os menores  $ky$  0,98; 1,07; 1,08 e 1,18 respectivamente, mostrando uma maior resistência ao estresse hídrico nestas fases, no início do desenvolvimento vegetativo e no final da fase reprodutiva quando as vagens na sua maioria já estão formadas. Doorembos e Kassam (1979), analisando vários experimentos, com feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%.

Analisando os valores médios da sensibilidade ao estresse hídrico ( $ky$ ) dos tratamentos, para a produção de grãos (Tabela 13); os maiores valores de  $ky$  foram encontrados nos tratamentos; E. H. nas fases (I, II e III), E. H. nas fases (I, II, III e IV) e E. H. nas fases (II, III e IV) com  $ky$  1,59; 1,55 e 1,49 respectivamente, mostrando alta sensibilidade ao estresse hídrico. Percebe-se que quanto maior a duração do estresse hídrico maior o  $Ky$ , ou seja, quando a duração do estresse hídrico é prolongado no tempo, durante as fases de desenvolvimento da cultura maior seu efeito na diminuição da produção.

O estresse hídrico durante a floração e maturação, os tratamentos, E. H. na fase (III) e E. H. nas fases (III e IV) também apresentam  $ky$  elevados 1,35 e 1,34 respectivamente. Mostrando que a cultura do feijão-fava é muito sensível ao estresse hídrico durante estas fases fenológicas por provocar abortamento de flores e vagens. Resultados semelhantes foram encontrados por (CORDEIRO et al., 1998), estudando o efeito do estresse hídrico em feijão caupi, onde a deficiência de água nos estádios vegetativo e floração foi maior com  $ky = 0,66$ . Por sua vez, os tratamentos, E. H. na fase (II); E. H. na fase (IV); E. H. na fase (I) e E. H. nas fases (I e II) apresentam os menores  $ky$  0,98; 1,07; 1,08 e 1,18 respectivamente, mostrando uma maior resistência ao estresse hídrico nestas fases, no início do desenvolvimento vegetativo e no final da fase reprodutiva quando as vagens na sua maioria já estão formadas.

Doorenbos e Kassam (1979), analisando vários experimentos, com feijoeiro, notaram que um déficit hídrico de 50% na etapa vegetativa provoca uma redução de rendimento de apenas 10%. O mesmo déficit na floração reduz a produção em 55%, e durante o enchimento das vagens, em 38%. No entanto, o déficit durante a maturação reduz o rendimento em apenas 10%.

**Tabela 12.** Valores médios de  $[1-(ETr/ETm)]$  e  $[1-(yr/ym)]$  e do fator de sensibilidade  $ky$  do feijão fava, para produção de vagens ( $kg.ha^{-1}$ ), nos tratamentos sob déficit hídrico

TRATAMENTOS	ETr	ETm	ETr/ETm	(1-ETr/ETm)	Yr	Ym	Yr/Ym	(1-Yr/Ym)	Ky
E. H. na fase (I)	10,67	21,35	0,5	0,5	1298,53	2584,98	0,5023	0,4977	0,9953
E. H. na fase (II)	29,76	59,51	0,5	0,5	1536,94	2584,98	0,5946	0,4054	0,8109
E. H. na fase (III)	35,43	70,86	0,5	0,5	759,62	2584,98	0,2939	0,7061	1,4123
E. H. na fase (IV)	21,58	43,17	0,5	0,5	1222,81	2584,98	0,4730	0,5270	1,0539
E. H. nas fases (I e II)	40,43	80,86	0,5	0,5	1151,93	2584,98	0,4456	0,5544	1,1088
E. H. nas fase (II, III e IV)	86,77	173,54	0,5	0,5	630,65	2584,98	0,2440	0,7560	1,5121
E. H. nas fases (III e IV)	57,01	114,03	0,5	0,5	728,77	2584,98	0,2819	0,7181	1,4362
E. H. na fases (I, II e III)	75,86	151,72	0,5	0,5	266,07	2584,98	0,1029	0,8971	1,7941
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	97,44	194,89	0,5	0,5	539,85	2584,98	0,2088	0,7912	1,5823

\* ETr, ETm: Evapotranspiração real e máxima, em  $mm.dia^{-1}$ , respectivamente

Yr, Ym: Produção real e máxima, em  $kg.ha^{-1}$  de vagens de feijão fava, respectivamente

**Tabela 13.** Valores médios de  $[1-(E_{Tr}/E_{Tm})]$  e  $[1-(Y_r/Y_m)]$  e do fator de sensibilidade  $k_y$  do feijão fava, para produção de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), nos tratamentos sob déficit hídrico

TRATAMENTOS	$E_{Tr}$	$E_{Tm}$	$E_{Tr}/E_{Tm}$	$(1-E_{Tr}/E_{Tm})$	$Y_r$	$Y_m$	$Y_r/Y_m$	$(1-Y_r/Y_m)$	$K_y$
E. H. na fase (I)	10,67	21,35	0,5	0,5	643,24	1407,94	0,4569	0,5431	1,0863
E. H. na fase (II)	29,76	59,51	0,5	0,5	712,02	1407,94	0,5057	0,4943	0,9886
E. H. na fase (III)	35,43	70,86	0,5	0,5	456,52	1407,94	0,3242	0,6758	1,3515
E. H. na fase (IV)	21,58	43,17	0,5	0,5	654,65	1407,94	0,4650	0,5350	1,0701
E. H. nas fases (I e II)	40,43	80,86	0,5	0,5	577,23	1407,94	0,4100	0,5900	1,1800
E. H. nas fase (II, III e IV)	86,77	173,54	0,5	0,5	357,19	1407,94	0,2537	0,7463	1,4926
E. H. nas fases (III e IV)	57,01	114,03	0,5	0,5	461,05	1407,94	0,3275	0,6725	1,3451
E. H. na fases (I, II e III)	75,86	151,72	0,5	0,5	282,79	1407,94	0,2009	0,7991	1,5983
E. H. nas fases (I, II, III e IV)	97,44	194,89	0,5	0,5	311,97	1407,94	0,2216	0,7784	1,5568

\*  $E_{Tr}$ ,  $E_{Tm}$ : Evapotranspiração real e máxima, em  $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ , respectivamente

$Y_r$ ,  $Y_m$ : Produção real e máxima, em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de grãos de feijão fava, respectivamente

O resumo das análises de variância para eficiência do uso da água é apresentado na Tabela 14, houve diferencia significativa em nível de 1% de probabilidade pelo teste de F, para eficiência do uso da água, para a produtividade de vagens, grãos e matéria seca total.

**Tabela 14.** Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água.

FV	Eficiência do Uso da água			
	GL	Vagens QM	Grãos QM	Matéria seca total. QM
Tratamentos	9	0,270**	0,059**	1,296**
Resíduo	30	0,020	0,0056	0,0066

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

O teste de médias da eficiência do uso da água para a produção de vagens, grãos e MST de feijão-fava é apresentada na Tabela 14. Para a produção de vagens o tratamento com irrigação plena apresentou maior EUA  $1,130 \text{ kg.m}^{-3}$ ; nos tratamentos sobre estresse hídrico, os que apresentaram maior eficiência do uso da água foram: E. H. na fase (II), E. H. na fase (I e II), E. H. nas fases (I) e E. H. na fase (IV), com  $0,783$ ;  $0,644$ ;  $0,614$  e  $0,612 \text{ kg.m}^{-3}$  respectivamente. O tratamento que apresentou menor EUA foi E. H. na fases (I, II e III) com  $0,180 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Para a produção de grãos o tratamento com irrigação plena apresentou maior EUA  $0,615 \text{ kg.m}^{-3}$ ; nos tratamentos sobre estresse hídrico, os que apresentaram maior eficiência do uso da água foram: E. H. na fase (II), E. H. na fase (I e II), E. H. nas fases (IV) e E. H. na fase (I), com  $0,363$ ;  $0,322$ ;  $0,328$  e  $0,304 \text{ kg.m}^{-3}$  respectivamente. O tratamento que apresentou menor EUA foram: E. H. na fases (I, II e III) com  $0,165 \text{ kg.m}^{-3}$ . Os valores encontrados de EUA estão de acordo com o recomendado para o feijoeiro por Doorenbos e Kassan (1979), na ordem de  $0,30$  a  $0,60 \text{ kg m}^{-3}$  para grãos com teor de 10% de umidade. Resultado semelhante foram encontrado por Calvache et al. (1997) estudaram a eficiência do uso da água do feijoeiro, cultivar INIAP 4040, obtiveram uma eficiência do uso da água que variou de  $0,46$  a  $0,92 \text{ kg m}^{-3}$  em tratamento com lâminas diferentes de irrigação e dosagens de nitrogênio; e por Barros e Hanks (1993) que encontraram valores máximos de  $0,65 \text{ kg m}^{-3}$  e  $0,75 \text{ kg m}^{-3}$  para a eficiência do uso da água com base na matéria seca de grãos de feijoeiro.

Para a produção de MST o tratamento com irrigação plena apresentou maior EUA 2,303 kg m<sup>-3</sup>; nos tratamentos sobre estresse hídrico, os que apresentaram maior eficiência do uso da água foram: E. H. na fases (I, II, III e IV), E. H. na fase (IV), E. H. nas fases (I, II e III), E. H. nas fases (II, III e IV), E. H. nas fases (III e IV), E. H. nas fases (III e IV) com 0,695; 0,688; 0,681; 0,660; 0,625 e 0,603 kg.m<sup>-3</sup> respectivamente. Os tratamentos que apresentaram menor EUA foram: E. H. na fase (II), E. H. na fase (I) com 0,292; 0,343 kg.m<sup>-3</sup> respectivamente. Estes valores divergem dos encontrados por Barros e Hanks (1993) para a eficiência do uso da água, baseada na biomassa, observando-se 1,17 e 1,41 kg m<sup>-3</sup> para os tratamentos com solo nu e cobertura morta respectivamente.

**Tabela 15.** Teste de média para eficiência do uso da água para produção de vagens, grãos e MST de feijão fava (kg ha<sup>-1</sup>), nos tratamentos sob déficit hídrico e irrigação plena.

Tratamentos	Eficiência do uso da água (kg.m <sup>3</sup> )		
	Vagens	Grãos	Matéria seca total
<b>E. H. na fase (IV)</b>	0,525 bcd	0,296 bc	0,688 b
<b>E. H. na fase (III)</b>	0,392 cd	0,249 bc	0,603 bc
<b>E. H. nas fases (I e II)</b>	0,580 bc	0,319 bc	0,477 cd
<b>E. H. nas fase (II, III e IV)</b>	0,698 bc	0,414 b	0,660 bc
<b>E. H. na fases (I, II e III)</b>	0,180 d	0,165 c	0,681 b
<b>E. H. nas fases (I, II, III e IV)</b>	0,428 cd	0,263 bc	0,695 b
<b>E. H. na fase (II)</b>	0,847 ab	0,404 b	0,292 d
<b>E. H. na fase (I)</b>	0,595 bc	0,365 b	0,343 d
<b>E. H. nas fases (III e IV)</b>	0,649 bc	0,340 bc	0,625 bc
<b>Com irrigação plena</b>	1,130 a	0,615 a	2,303 a
	Mg= 0,602	Mg=0,343	Mg=0,737
	CV%=27,31	CV%=21,87	CV=11,05

\*\* Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey em nível de 0,01 de probabilidade.

## 6. CONCLUSÕES

Considerando as condições em que o trabalho foi conduzido, os resultados obtidos permitem concluir que:

- O déficit hídrico diminuiu o índice de área foliar, teor de clorofila, e número de vagens por plantas e aumentou o abortamento de flores e vagens.
- O feijão-fava foi mais sensível ao estresse hídrico quando o mesmo deu-se em mais de uma fase de desenvolvimento (com maior prolongação no tempo) e quando ocorreu na floração e formação de vagens; sendo mais tolerante no desenvolvimento vegetativo e na maturação de vagens.
- O déficit hídrico afetou o rendimento do feijão fava para a produção de vagens, grãos e matéria seca total.
- A eficiência do uso da água pelo feijão-fava foi maior nos tratamentos sem estresse hídrico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 39, 1982. 68p.

ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; SHIBATA, J.K. Effects of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Field Crop Research**, v.20, p.81-93, 1989.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 2006. 326 p. Irrigation and Drainage, 56.

ALLEN,R.G.; PEREIRA,L.S.; RAES,D.; SMITH,M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO,1998, 300p. (FAO,Irrigation and drainage paper 56).

ALVARENGA, I. C. A. Estresse Hídrico em Alecrim-pimenta (*Lippia Sidoides* Cham.): aspectos fisiológicos e produtivos – 2010. 61 f. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2010.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; BARROS, A.H.C.; SILVA, C.O.; GOMES, A.A.N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36 , n. 2, p. 143 - 151, 2005.

ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: O autor, 2002. 272 p.

ANGIOI, S.A.; DESIDERIO, F.; RAU, D.; BITOCCHI, E.; ATTENE, G.; Papa, R. Development and use of chloroplast microsatellites in *Phaseolus* spp. and other legumes. **Plant Biology**, v.11, p.598-612, 2009.

ANTONY, E.; SINGANDHUPE, R.B. Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annuum* L.). **Agricultural Water Management** 65, p. 121-132. 2004.

ARAÚJO, R. C. P. Avaliação de alternativas tecnológicas para a cajucultura do Nordeste sob condições de risco. Fortaleza, UFC, 1992. (Dissertação de Mestrado).

AZEVEDO FILHO, A. J. B. V. **Análise econômica de projetos**: Software para situações determinísticas e de risco envolvendo simulação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1988. (Dissertação de Mestrado).

AZEVEDO, J. N.; FRANCO, L. J. D.; ARAÚJO, R. O.C.; **Composição química de sete variedades de feijão-fava**. Piauí: EMBRAPA/CNPMPN, 2003. 4p. (Comunicado técnico, 152)

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 95p. ( IPAGRO. Boletim Técnico, 7 ).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 7.ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611 p.

BERTONHA, A. Funções de resposta da laranja pêra a irrigação complementar e nitrogênio. Piracicaba, 1997. 113p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BEYRA, A.; ARTILES, G. R. Revisión taxonômica de los gêneros Phaseolus y Vigna (Leguminosae – Papilionoideae) en Cuba. **Anales Del Jardín Botánico de Madrid**. v.61, n.2, p.135-154, 2004.

BEZERRA, F.M.L.; MESQUITA, T.B. de. Evapotranspiração máxima e coeficientes da cultura do pimentão cultivado em lisímetros de drenagem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, suplemento/junho, p. 600-601, 2000.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data**. Washington: USDA, 1950. 48p.

BRADY, NYLE C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7. ed., Freitas Bastos: Rio de Janeiro, 1989. p.56-62.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo com palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.3, p.369-374, 1990.

BRIGGS, G.E.; KID, F.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. *Annals of Applied Biology*, v.7, p.103-123, 1920.

BRONDANI, R.P.V., BRONDANI, C., TARCHINI, R., GRATTAPAGLIA, D. Development characterization and mapping of microsatellite markers in *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla*. **Theoretical and Applied Genetics**, v.97, p.816-827, 1998.

BROUGHTON, W.J.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEPBE, S.; GEPTS, P.; ANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and soil**, v.252, n.1, p.55-128, 2003.

BROWN, LESTER. Um deserto cheio de gente. In: **A disputa pelo ouro azul**, cadernos Lmonde Diplomatique. Editora Anita Garibaldi, 2003

BRUTSAERT, W. **Evaporation into the atmosphere**: theory, history and applications. Dordrecht: Kluwer Academic, 1982. 299p. (Environmental Fluid Mechanics, 1).

CONFALONE, A.E.; COSTA, L.C.; PEREIRA, C.R. Crescimento e captura de luz em soja sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.165-169, 1998.

CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. **An introduction to environmental biophysics**. New York: Springer-Verlag, 1998. 286 p.

CAMPOS, R. T. **Efeitos do ataque do bicudo na cotonicultura do semi-árido cearense**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1991 (Tese de Doutorado).

CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. Influência da densidade de plantas de caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) sobre a produtividade de grãos e seus componentes em regime irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4, 1996, Teresina. **Resumos** ....., Teresina: EMBRAPA/CPMM, 1996. 123 p.

CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A ; MIRANDA, E.P. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico (ky) da cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caldas, MG. **Anais** ...., volume II, Poços de Caldas, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998.p. 178-180.

COUTO, L; SANS, L.M.A. **Requerimento de água das culturas**. Sete Lagoas: Embrapa, 2002. 10 p. (Circular Técnica, 20).

CRONQUIST, A. **Devolution and classification of flowering plants**. New York: New York Botanical Garden, 1988. 555 p.

CUNHA, A. R. da. Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em ambientes protegido e campo. Tese (Doutorado) UNESP- Botucatu, 2001. 128 P.

DEBOUCK, D.G. Diversity in Phaseolus species in relation to the common bean. In: SINGH, S. P. (Ed.). **Common bean improvement in the twenty-first century**. Dordrecht: Kluwer, 1999. p.25-52.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. De H.R. Gheyi, A.A. de Sousa, F.A.V. Damasceno e J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome, FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24)

DOURADO NETO, D.; LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A.; LIBARDI, P.L. **Curva de retenção de água do solo**: algoritmo em quickbasic para estimativa dos parâmetros empíricos do modelo de Genuchten. Piracicaba: ESALQ, 1990. 32p. (Manual de instruções ao usuário).

DURIGON, A. Soil-plant-atmosphere water transfer mechanisms and their relation to crop water stress. Tese (Doutorado). ESALQ, Piracicaba, 2011. 143 p.

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**, v.3, p.3945, 1991.

ERTEK, A.; SENSOY, S.; GEDIK, I. Irrigation scheduling based on pan evaporation values for cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under field conditions. **Elsevier Science Agricultural Water Management**. 14p.2005

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; STONE, L. F. Resposta do feijoeiro a adubação fosfatada. In: POTAFÓS. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba - SP, n.102, p.1-9, 2003.

FALKER. CFL1030 – clorofiLOG – **Medidor eletrônico de teor de clorofila**. Disponível em: <http://www.falker.com.br/>. Acesso em;18 Agosto. 2012.

FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, H., MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p.17-22, 1994.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, p.235-9, 2000.

FOLEGATTI, M.V.; PAZ, V.P.S.; PEREIRA, A.S.; LIBARDI, V.C.M. Efeito de diferentes níveis de irrigação e de déficit hídrico na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). In: CONGRESSO CHILENO DE ENGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1997, Chillán. **Disquete**. Chillán, 1997.

FOLEGATTI, M.V.; SCATOLINI, M.E.; PAZ, V.P.S. et al. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura do crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.155-163, 1997.

FRANCO, M.C.; CASSINI, S.T.A.; OLIVEIRA, V.R.; VIEIRA, C. & TSAI, S.M. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37:1145-1150, 2002.

FREIRE, A.L.D.O. Efeitos do déficit hídrico sobre alguns aspectos biofísicos, bioquímicos e no desenvolvimento do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras: ESAL, 1990. 86 p. (Dissertação. Mestrado em Fisiologia Vegetal).

FREITAS, J. A. G. Evapotranspirômetro de pesagem por sensor de carga hidráulica: construção, calibração e testes. Recife, 1994. 122p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

FREYTAG, G.F.; DEBOUCK, D.G. **Taxonomy, Distribution, and Ecology of the Genus Phaseolus (Leguminosae-papilionoideae) in North America, Mexico and Central America.** Botanical Research Institute of Texas (BRIT), Forth Worth, TX, USA. 2002. 298p.

GAITÁN-SOLÍS, E.; DUQUE, M.C.; EDWARDS, K.J.; TOHME, J. Microsatellite repeats in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): isolation, characterization, and cross-species amplification in *Phaseolus* ssp. **Crop Science** v.42, n.6, p.2128-2136, 2002.

GAVANDE, S.A. **Física de suelos, principios e aplicaciones.** 2 ed. México: Ed. Limusa, 1976. 351 p.

GONZALES, A.R.; WILLIAMS, J.W. Effect of water stress during pod development on yield and quality of raw and canned snap beans. **HortScience**, Virginia, v. 14, n. 2, p. 125, Apr. 1979.

GUIMARÃES, W. N. R. et al. Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 01, p. 37-45, 2007.

HARDY O.; DUBOIS, S.; ZORO BI, I.; BAUDOIN, J.P. Gene dispersal and its consequences on the genetic structure of wild populations of Lima bean (*Phaseolus lunatus*) in Costa Rica. **Plant Genetic Resources Newsletter**, n.109, p.1-6, 1997.

HANKS, R.J.; SHAWCROFT. An economical hydraulic weighing evaporation tank. **Transaction of the ASAE**, v.16, n.2, p.294-295, 1965.

HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G. A. F.; Grime, J. P. (eds), **Methods in Comparative Plant Ecology**, p. 148-152. London, Chapman & Hall, 1993.

HOSTALÁCIO, S. Estudo de alguns aspectos físicos, bioquímicos e anatômicos no crescimento e desenvolvimento do feijão em diferentes regimes de irrigação. Campinas: UNICAMP, 1984. 144 p. (Tese. Doutorado em Biologia Vegetal)

HOSTALACIO, S.; VALIO, I.F.M. Desenvolvimento dos frutos de feijão em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.1, p.53-57, 1984.

HULUGALLE, N.R.; WILLATT, S.T. The role of soil resistance in determining water uptake by plant root systems. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 24, n. 4, p. 571-574, Sept. 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa pecuária Municipal**. 2010. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=73;z=p;o=27>>. Acesso em: 30 junho 2011.

JARVIS, A.J.; DAVIES, W.J. The coupled response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 49, p. 399-406, June 1998.

JONG VAN LIER, Q. DE; VAN DAM, J.C.; METSELAAR, K.; JONG, R. DE; DUIJNISVELD, W.H.M. Macroscopic root water uptake distribution using a matric flux potential approach. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 7, p. 1065-1078, Aug. 2008.

KARAMANOS, A.J.; ELSTON, J.; WADSWORTH, R.M. Water stress and leaf growth of field beans (*Vicia faba L.*) in the field: water potentials and lamina expansion. **Annals of Botany**, New York, v. 49, n. 6, p. 815-826, June 1982.

KRAMER, P. J., Boyer, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p

KUIPER, P.J.C. The effects of environmental factors on the transpiration of leaves, with special reference to stomatal light response. **Landbouwhoge School Wageningen**, Wageningen, v. 7, p. 1-49, Nov. 1961.

LABANAUSKAS, C. K.; SHOUSE, P.; STOLZY, L.H. Effects of water stress at various growth stages on seed yield na nutrient concentrations of fieldgrown cowpeas. **Soil Science**, Baltimore, v. 131, n. 4, p. 249-256, 1981.

LEE, J.M.; READ, P.E.; BADIS, D.W. Effect of irrigation on interocular cavitation on yield in snap bean. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount, v. 102, n. 3, p. 276- 278, May 1977.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production**. In: Advances in soil science. California: Springer-Verlag New York, v.1.p.277-293, 1985.

LIMA, C. J. G. S. et al. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupí. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 120-127, 2008.

MAGALHÃES, A.A.; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. **Turrialba**, Turrialba, v. 29, n. 4, p. 269-273, Oct/Dic./979.

MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. in: **Fisiologia Vegetal**. FERRI, M. G. (ed.) Editora Pedagógica Universitária. São Paulo. p.117180,

MAQUET, A.; VEKEMANS, X.Z.; BAUDOIN, J.P. Phylogenetic study on wild allies of lima bean, *Phaseolus lunatus* L. (Fabaceae), and implications on its origin. **Plant Systematics and Evolution**, v.218, n.1-2, p.43-54, 1999.

MAQUET, A.; ZORO BI, I.; DELVAUX, M.; WATHELET, B.; BAUDOIN, J. P. Genetic structure of a Lima bean base collection using allozyme markers. **Theoretical and Applied Genetics**, v.95, p.980-991, 1997.

MARTINS, G. *Uso da casa-de-vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão*. Jaboticabal, 1992. 65p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista.

MARSHALL, J. K. Methods of leaf area measurement of large and small leaf samples. **Photosynthetica**, v.2, p.4147,1966.

McFARLAND, M.J.; WORTHINGTON, J. W.; NEWMAN, J. S. Design, installation and operation of a twin weighing lysimetre for fruits trees. **Transactions of the ASAE**, v.26, n.6, p.1717-1721, 1983.

MELCHIOR, H. **A Engler's syllabus der pflanzenfamilien**. 12. ed. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1964. 666p.

MELO, L. J. V. **Morfofisiologia e rendimento de fava sob diferentes condições de manejo cultural**. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005. 166p

MONTEIRO, J. E. B. A. et al. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 15-24, 2005.

MONTEITH, J.L. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 18, n.4, p. 357-364, June 1995.

MONTERO, J.I., CASTILLA, N., GUTIERREZ de RAVÉ, E., BRETONES, F. Climate under plastic in the Almeria area. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.170, p.227-234, 1985.

MOUSINHO, F.E.P. Irrigação. In.: LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAUJO, A. S. F. **A cultura do feijão-fava no meio-norte do Brasil**. Teresina : EDUFPI, 2010. p.157-171.

NAVARRO JÚNIOR, H. M.; COSTA, A. C. Contribuição relativa dos componentes do crescimento para produção de grãos de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, 2002.

NEGRI, V.; TOSTI, N. *Phaseolus* genetic diversity maintained on-farm in central Italy. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.49, p.511-520, 2002.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentária e viabilidade econômica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1987.

OLIVEIRA, A. D. de.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. de J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, 2005. p.86-95.

OLIVEIRA, F. N.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P. Caracterização botânica agrônômica de acessos de feijão-fava, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, v. 24, 2011.

OLIVEIRA, M. C. P. et al. Fenologia e desenvolvimento vegetativo. In.: LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAUJO, A. S. F. **A cultura do feijão-fava no meio-norte do Brasil**. Teresina : EDUFPI, 2010. p.103-115.

OLIVEIRA, M. S. de. Efeito do déficit hídrico aplicado em diferentes fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). cv. Eriparsa. Lavras: ESAL, 1987. 60 p. (Dissertação. Mestrado em Fitotecnia)

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**, v.7, n.12,p.5357,1977.

PEREIRA, G.M.; CARVALHO, J.A.; RODRIGUES, L.S.; DOBASHI, A.M. Efeitos de diferentes níveis de déficit hídrico aplicados em três fases do ciclo fenológico do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) c.v. carioca-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas, MG, 1998.

PHILIP, J.R., Evaporation and moisture and heat fields in the soil. **Journal of meteorology**. 14: 354-366. 1957

PRADOS, N.C. Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almeria: necesidades hídricas y extracción del nutrientes del cultivo de tomate decrecimiento

indeterminado em abrigo de polietileno. Almeria, Espanha, 1986. 195p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Caja Rural Provincial.

RAATS, P. **Uptake of water from soils by plant roots**. Transport in Porous Media, Berlin, v. 68, n. 1, p. 5-28, Aug. 2007.

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

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas. Fundação Cargill. 1985. 486p.

REICHARDT, K.; TIMM L. C.; **Solo, Planta e Atmosfera**: Conceitos, processos e aplicações. Barueri : Manole, p.323-340, 2004.

REICHARDT, KLAUS. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole,1990. p.27-37.

RODRIGUES, J. J. V. Construção e testes preliminares de um evapotranspirômetro de célula de carga hidráulica: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. p.68.

ROSENBERG, N. J., MCKENNY, M.S., MARTIN, P. Evapotranspiration in greenhousewarmed world: a review and a simulation. **Agriculture Forest Meteorology**, Amsterdam, v.47, p.303-320, 1989.

SANTOS, D; CORLETT, F. M. F.; MENDES, J. E. M. F.; WANDERLEY JÚNIOR, J. S. A. Produtividade e morfologia de vagens e sementes de variedades de fava no Estado da Paraíba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.10, p.1407-1412, 2002.

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

SAUNDERS, L. C. U. Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo. Piracicaba: ESALQ. 1978. 71p. Tese Doutorado.

SCHRÖDER, T.; JAVAUX, M.; VANDERBORGHT, J.; KORFGEN, B.; VEREECKEN, H. Effect of local soil hydraulic conductivity drop using a three-dimensional root water uptake model. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 7, n. 3, p. 1089-1098, Aug. 2008.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.

SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. Relações clima-água-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caldas. Simpósio Manejo de Irrigação. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.46-85.

SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H., PIRES, R.C.M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, v.1, p.63-120,2001.

SENTELHAS, P.C. Class A pan coefficients ( $K_p$ ) to estimate daily reference evapotranspiration ( $ET_o$ ). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p.111-115, 2003.

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

SILVA NETO, J. R. Caracterização morfo-agronômica e avaliação da resistência em acessos de fava ao mosaico dourado e à antracnose. – 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo -AL.

SILVA, H.T.; COSTA, A. O. **Caracterização botânica de espécies silvestres do gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae)**. Santo Antônio de Goiás, 2003. 40p. (Embrapa Arroz e feijão: Comunicado Técnico, 156).

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.53-58, 1999.

SILVA, L. C. et al. Um método simples para estimar para se estimar área foliar de plantas de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Brasileira de Oleaginosas Fibrosas**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 491-496, 2002.

SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; MACIEL, C.D.; CAMPO, R.J.; ZAIA, D.A.M. Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.1, p. 83-91, 2008.

STANGHELLINI, C. Evapotranspiration in greenhouse with special reference to mediterranean conditions. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.335, p.296-304, 1993.

STEWART, J. I.; HAGAN, R.M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**. New York, v. 99, IR4, p. 421-39, 1973.

TANNER, C. B. Measurements of evapotranspiration. In: Irrigation of Agricultural Lands. **American Society of Agronomy**, n.11, p.534-574, 1967.

TARDIEU, F.; DAVIES, W.J. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 48, p. 540-545, Oct. 1992.

TARDIEU, F.; SIMMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 49, p. 419-432, Jun. 1998.

THORNTWAITE, G.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographycal Rev.**, New York, v.38, n.1, p.55-94. 1948.

TIVELLI, S.W. **A cultura do pimentão**. In: GOTTO, R.; TIVELLI, S.W. Produção de hortaliças. São Paulo: UNESP, p.225-256.1998.

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

TRINTINALHA, M.A. Avaliação da técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) na determinação de umidade em Nitossolo Vermelho Eutrófico. Universidade Estadual de Maringá, 2000, 52 p. (Dissertação de Mestrado).

TUZET, A.; PERRIER, A.; LEUNING, R. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 26, p. 1097–1116, May 2003.

TURNER, N.C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crops plants. In: Mussel, H. e Staples, R. C. **Stress physiology in crops plants**. New York, p.34372, 1979.

VAADIA, Y.; RANEY, F.C.; HAGAN, R.M. Plant water deficits and physiological process. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 12, p. 265-292, 1961.

VAN DER POST, C.J., VAN-SHIE, J.J., GRAAF, R. Basic problems of water relationship: energy balance and water suply in glasshouses the West-Nertherlands. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.35, p.13-21, 1974.

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**, v. 200, p. 113-117, 2004.

VERNON, A.J.; ALLISON, J.C.S. A method of calculating net assimilation rate. **Nature**, v.200, p.814, 1963.

VIEIRA, R. F. A cultura do feijão-fava. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.174, p.30 -37, 1992.

VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A.G.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P.C.; CLEARY, R.W. Engenharia hidrológica, Rio de Janeiro, ABRH, 1989. Cap. 3, p. 145-97. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 2).

VÁSQUEZ M. A. N. ; FOLEGATTI M. V. ; DIAS N.S.; SOUSA V.F. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.137-143. 2005.

VILLA NOVA, N.A. & SENTELHAS, P.C. Evapopluviômetro: novo sistema de medida da evaporação do tanque Classe A. In: ANAIS do XI Congresso de Agrometeorologia – II Reunião Latino Americana de Agrometeorologia. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999.v.1.p.2496-2502.

VILLA NOVA, N.A. A. et al. Estimativa de graus dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Instituto de Geografia, USP, 1972. 8p. (Caderno de ciência da terra, n.30).

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops I. Variation in net assimilation rate and leaf area. **Annals of Botany**, v.11, p.41-76, 1947

WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. **Annals of Botany**, v.22, p.37-54, 1958

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*, v.4, p.101-145, 1952.

WETZEL, M.M.V. DA S.; SILVA, D.B. DA; SILVA, H.T. DA; NETO, L.G.V.P.; FONSECA, J.R. **Acervo de recursos genéticos de *Phaseolus* spp. Conservados à longo prazo**. Brasília, 2006. 10p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia: Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 129).

XAVIER, G.R.; MARTINS, L.M.V.; RIBEIRO, J.R.A. & RUMJANEK, N.G. Especificidade simbiótica entre rizóbios e acessos de feijão-caupi de diferentes nacionalidades. **Caatinga**, 19: 25-33, 2006.

ZIMMERMANN, M.J.O; TEIXEIRA, M.G. Origem e evolução. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. eds. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS), 786p, 1996.

ZIMMERMANN, U.; MEINZER, F.; BENTRUP, F.W. How does water ascend in tall trees and other vascular plants? **Annals of Botany**, Oxford, v. 76, p. 545-551, July 1995.