

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS EM PLANTAS  
DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ticiane Françoís**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2012**



# **RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

**Ticiania França**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

**Orientador: Prof. PhD. Reimar Carlesso**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

François, Ticiania

Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária / Ticiania François.- 2012.

113 p. ; 30cm

Orientador: Reimar Carlesso

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012

1. Condutância estomática. 2. Taxa fotossintética.  
3. Transpiração. 4. Trocas gasosas. I. Carlesso, Reimar  
II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

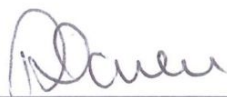
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a dissertação de Mestrado

**RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS EM  
PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO  
DEFICITÁRIA**

elaborada por  
**Ticiano François**

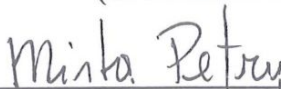
como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



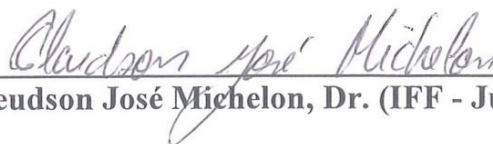
---

**Reimar Carlesso, PhD.  
(Presidente/Orientador)**



---

**Mirta Teresinha Petry, Dr. (UFSM)**



---

**Cleudson José Michelin, Dr. (IFF - Júlio de Castilhos)**

Santa Maria, 20 de março de 2012



## **Dedico**

Aos meus pais Ademir e Carminha e,  
à minha irmã Poliana pelo amor,  
incentivo e apoio incondicional.  
Ao meu namorado João Paulo, pela  
compreensão às longas ausências.





## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida abençoada e pela família linda que tenho.

Ao professor Reimar Carlesso, pela oportunidade, pela confiança, pelas orientações, pela amizade e pela compreensão durante esta jornada.

Aos amigos do Sistema Irriga: em especial a Zanandra Boff de Oliveira, pelo companheirismo na execução deste trabalho, pela imensurável ajuda e amizade, ao Juliano Dalcin Martins e Alberto Eduardo Knies pelos ensinamentos e paciência. Sem a participação de vocês sei que isto não seria possível. Ainda, às amigas Aparecida Possebon e Maria Gabriela pela amizade e incentivo, aos amigos: Geraldo, Neni, Mirta Petry, Vinícius, Henrique e Núbia. A vocês deixo o meu *muito* obrigado, pela ajuda na condução deste trabalho, e também agradeço a amizade e o companheirismo em todos os momentos. Assim, guardo todos no coração!

A minha família, de forma especial, aos meus pais, pelo carinho, amor, confiança, apoio incondicional e exemplo que vou sempre seguir. Por vocês cheguei até aqui.

E, às minhas amigas de Novo Hamburgo, aos amigos da Graduação e às amigas do apartamento 106: Graci, Carina, Márcia, Carol, Simo e Giovana que, mesmo distantes sempre apoiaram e acompanharam o meu trabalho, incentivando-me a seguir em frente e, sobretudo, perdando os momentos de ausência.

À Universidade Federal de Santa Maria, pública e gratuita, ao Centro de Ciências Rurais, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, pela possibilidade de realização deste curso e, pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos grandiosos ensinamentos.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e considerações dadas para a melhoria deste trabalho.

**Enfim, a todos muito obrigada!**



## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

# RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

Autor: Ticiano François

Orientador: Reimar Carlesso

Local e data da defesa: Santa Maria, 20 de março de 2012

A escassez dos recursos hídricos e a pressão social para o uso racional da água na agricultura exigem o correto uso e manejo da água de irrigação, pois, a falta ou excesso, comprometem o rendimento das culturas. O uso da irrigação, deficitária ou estratégica, contribui para o aumento da produtividade de grãos, comparando-se às condições de sequeiro, e resulta em uma agricultura economicamente mais eficiente, preservando os recursos naturais em termos de quantidade e qualidade, mantendo níveis satisfatórios de produtividade. Portanto, o presente estudo se justifica na medida em que se busca identificar manejos de irrigação deficitária que permitam manter níveis satisfatórios de produtividade, aliados à economia de água e energia. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar as relações hídricas e as trocas gasosas, através da avaliação de variáveis fisiológicas que indiquem alterações na produção das plantas de feijão, quando submetidas a diferentes manejos de irrigação deficitária. O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, no interior de uma cobertura móvel, estruturada sobre trilhos metálicos, com movimentação mecânica, a qual somente foi fechada durante a ocorrência de chuvas. Dessa forma, não houve a interferência das chuvas durante a execução dos tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro manejos de irrigação: reposição de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac), e irrigação deficitária de 75%, 50% e 25% da ETc ac. A cultura do feijão foi semeada sob sistema de plantio direto e a necessidade de irrigação foi determinada com base na evapotranspiração da cultura, estimada pelo método de Penman-Monteith e os coeficientes de cultura (Kc) foram os propostos por Allen et al. (1998). Irrigações eram realizadas quando a ETc acumulava um valor de 20 mm. As seguintes relações hídricas e trocas gasosas das plantas foram avaliadas: taxa de transpiração, condutância estomática, déficit de pressão de vapor na folha, concentração interna de CO<sub>2</sub> e taxa fotossintética, com o aparelho LI-6400 da Licor. Com os valores de taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub> foram determinados: a eficiência instantânea da transpiração (razão taxa fotossintética/taxa de transpiração); a eficiência intrínseca do uso da água (razão taxa fotossintética/condutância estomática) e; a eficiência de carboxilação das plantas (razão taxa fotossintética/concentração interna de CO<sub>2</sub>). Foram avaliadas as seguintes características morfológicas nas plantas: índice de área foliar e altura de plantas e, os componentes de rendimento: massa de cem grãos, número de vagens por planta e rendimento de grãos. A eficiência de uso da água foi encontrada por meio da razão entre a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e total de lâmina aplicada (mm). Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão a ETc ac foi de 379,7 mm e foram aplicados 122, 206, 290 e 376 mm de lâmina de irrigação para os tratamentos de 25, 50, 75 e 100% da ETc ac, respectivamente. A aplicação da irrigação deficitária reduziu o índice de área foliar, a altura das plantas e causou reduções de até 47,41% no número de vagens por planta, 39,26%, na massa de cem grãos de feijão e 53,41% no rendimento de grãos. A redução da lâmina de irrigação de 100% para 25% da ETc ac reduziu em até 87% a condutância estomática das plantas e estas apresentaram menor taxa fotossintética. As plantas que receberam lâmina de irrigação de 100% da ETc ac apresentaram maiores taxa de transpiração e eficiência de carboxilação. A eficiência intrínseca do uso da água e a eficiência do uso da água aumentaram com a utilização da irrigação deficitária.

**Palavras-chave:** Condutância estomática. Taxa fotossintética. Transpiração. Trocas gasosas.



## ABSTRACT

Dissertation of Masters  
Graduate Program in Agriculture Engineer  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **WATER RELATIONS AND GAS EXCHANGE IN DRY BEAN PLANTS SUBMITTED TO DEFICIT IRRIGATION**

Author: Ticiane François

Advisor: Reimar Carlesso

Place and date of defense: Santa Maria, March 20<sup>th</sup>, 2012.

The constant deficiency of available water resources and the society pressure for the rational water use in agriculture requires the correct management of the irrigation water. When a plant does not receive the right amount of water, it will affect the crop yield. The deficit irrigation contributes to increase the crops yield, comparing to a systems without irrigation, and as a results the agriculture will be more efficient preserving the quality ant quantity of natural recourses increasing or maintaining the crop yield. Therefore, this study is justified insofar as it seeks to identify deficit irrigation management in order to maintain satisfactory productivity, coupled with the water savings. The objective of this research was to evaluate water relations and gas exchange through the assessment of physiological variables that indicate changes in the crop yield of dry bean submitted to deficit irrigation. The experiment was conducted at the Federal University of Santa Maria, Brazil, under a mobile greenhouse, which was only closed during the occurrence of rain. In this way, there was no rainfall interference affecting the treatments. A completely randomized design was used with three replications. Treatments were consisted of four irrigation managements: 100% of accumulated crop evapotranspiration (ETc ac), and deficit irrigation of 75%, 50% and 25% of the ETc ac. Dry beans was sowed under a no tillage system, and the irrigation need was determined based on crop evapotranspiration values estimated using Penman-Monteith method, and the crop coefficients (Kc) used were those proposed by Allen et al. (1998). Irrigations were applied when the ETc accumulated a height of 20mm. The following leaf water relations and leaf gas exchanges were evaluated: Transpiration rate, stomatal conductance, leaf steam pressure deficit, internal concentration of CO<sub>2</sub> and photosynthesis rate, using a LI-6400 (LI-Cor). With the values of photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance and internal concentration of CO<sub>2</sub> were determined: transpiration instantaneous efficiency (photosynthesis rate/transpiration rate); intrinsic water use efficiency and (photosynthesis rate/stomatal conductance); carboxylation efficiency of the plants (photosynthesis rate/internal concentration of CO<sub>2</sub>). The following morphological features were evaluated: leaf area index, plant height and yield compounds (one hundred mass grains, number of seed plant and crop yield). The water use efficiency (EUA) was found by the ratio between grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) and total depth applied (mm). During crop development accumulated ETc was 379,7 mm and was applied 122, 206, 290 and 376 mm of irrigation depth for the deficit irrigation treatment of 25%, 50%, 75% and 100% of ETc ac, respectively. The application of deficit irrigation reduced the leaf area index, plant height and reduction of 47,41% in the number of seed plant, 39,26%, in one hundred mass grain and 53,41% in crop yield. The reduction in water depth from 100% to 25% of ETc ac reduced by up to 91% of the stomatal concuctance and these plants had lower photosynthesis rate. The plants that received irrigation depth of 100% of ETc ac had higher E and carboxylation efficiency. The intrinsic water use efficiency and water use efficiency increased with the use of deficit irrigation.

**Keywords:** Stomatal conductance. Photosynthesis rate. Transpiration. Gas exchange.



## LISTA DE TABELAS

### **ARTIGO I: TROCAS GASOSAS E VARIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR, ALTURA DE PLANTAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

Tabela 1.1: Resultados da densidade, porosidade, curva característica de água no solo, limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) e análise granulométrica do solo da área experimental. Santa Maria, RS, 2012.....	35
Tabela 1.2: Resultado do quadrado médio da análise de variância para a variável lâmina de água armazenada no perfil do solo de 0-55 cm de profundidade. Santa Maria, RS, 2012.....	41
Tabela 1.3: Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: condutância estomática, taxa de transpiração, taxa fotossintética, déficit de pressão de vapor e concentração interna de CO <sub>2</sub> . Santa Maria, RS, 2012.....	45
Tabela 1.4: Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: eficiência instantânea de transpiração, eficiência intrínseca de uso da água e eficiência de carboxilação de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.. Santa Maria, RS, 2012.....	52
Tabela 1.5: Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: índice de área foliar e altura de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.....	55
Tabela 1.6: Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: rendimento de grãos, massa de 100 grãos, número de vagens por planta de feijão e eficiência do uso da água. Santa Maria, RS, 2012.....	58
Tabela 1.7: Resultados da lucratividade do feijoeiro com diferentes lâminas de irrigação deficitária em função do custo da irrigação e valor da produção. Santa Maria, RS, 2012....	61

## **ARTIGO II: RELAÇÕES HÍDRICAS E FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

Tabela 2.1: Resultados do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: taxa fotossintética, condutância estomática e temperatura foliar. Santa Maria, RS, 2012... 71

Tabela 2.2: Resultado do quadrado médio da análise de variância para a variável potencial hídrico foliar de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012..... 81



## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I: TROCAS GASOSAS E VARIAÇÃO DA ÁREA FOLIAR, ALTURA DE PLANTAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

- Figura 1.1:** Lâmina de água (mm) aplicada nos dias de irrigação da cultura, para os tratamentos de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 39
- Figura 1.2:** Evapotranspiração de referência (ET0) durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Santa Maria, RS, 2012..... 39
- Figura 1.3:** Lâmina de água armazenada (mm) no solo na camada de 0-55 cm de profundidade, no período de desenvolvimento da cultura, com lâminas de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 40
- Figura 1.4:** Fração de água disponível no solo (FAD), na profundidade de 0-55 cm, nos dias das avaliações. Santa Maria, RS, 2012..... 42
- Figura 1.5:** Perda acumulada de água no solo (mm), na profundidade de 0-55 cm para os tratamentos de 100%, 75%, 50% e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) . Santa Maria, RS, 2012..... 44
- Figura 1.6:** condutância estomática (1.6 a) aos 66 e 69 dias após emergência (DAE), taxa de transpiração (1.6 b) aos 41, 60, 66 e 69 DAE, déficit de pressão de vapor na folha (1.6 c) aos 66 e 69 DAE e concentração interna de CO<sub>2</sub> (1.6 d) aos 60, 66 e 69 DAE das plantas de feijão, com manejo de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 47
- Figura 1.7:** Taxa fotossintética das plantas de feijão aos 30, 33, 41 60, 66 e 69 dias após emergência (DAE), com irrigação de 100, 75, 50 e 25 % da evapotranspiração da cultura

acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 50

**Figura 1.8:** Pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e Déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) no momento das avaliações. Santa Maria, RS, 2012..... 51

**Figura 1.9:** EIT: Eficiência Instantânea Transpiração (1.9 a) aos 30 dias após emergência (DAE); EIUA: Eficiência Intrínseca Uso Água aos 41, 60, 66 e 69 DAE (1.9 b); Eficiência de Carboxilação das plantas de feijão aos 41, 60, 66 e 69 DAE, com irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 53

**Figura 1.10:** Índice de área foliar (IAF) aos 40, 48, 54, 67 e 80 dias após emergência (DAE) e altura das plantas de feijão aos 54, 67 e 80 DAE, com lâminas de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 56

**Figura 1.11:** Rendimento de grãos, número de vagens por planta e massa de cem grãos de feijão, para os tratamentos de irrigação deficitária, com lâminas de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) e tratamento de reposição de 100% da ETc ac. Santa Maria, 2012..... 60

## **ARTIGO II: RELAÇÕES HÍDRICAS E FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

**Figura 2.1:** Taxa Fotossintética das plantas de feijão aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), com manejo de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 72

**Figura 2.2:** Variação diária de temperatura do ar (oC) e umidade relativa do ar (%) aos 73

60 e 69 dias após emergência (DAE), Santa Maria, RS, 2012.....

**Figura 2.3:** Condutância estomática das plantas de feijão aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), com manejo de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 74

**Figura 2.4:** Pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e Déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) no momento das avaliações, aos 60 e 69 dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2012..... 76

**Figura 2.5:** Evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e Fração de Água Disponível (FAD) aos 60 e 69 dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2012..... 78

**Figura 2.6:** Temperatura foliar das plantas de feijão aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), com manejo de irrigação de reposição de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 79

**Figura 2.7:** Potencial Hídrico foliar das plantas de feijão aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE), com manejo de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012..... 82

**Figura 2.8:** Variação diária de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE), Santa Maria, RS, 2012..... 83

**Figura 2.9:** Evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e Fração de Água Disponível (FAD) aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2012..... 85

**Figura 2.10:** Pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e Déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) no momento das avaliações, aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2012..... 86



## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Escala fenológica do feijoeiro, adaptada de Dourado Neto e Fancelli (2000). Santa Maria, RS, 2012.....	101
APÊNDICE B – Transpiração, condutância estomática, déficit de pressão de vapor e concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci) das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.....	102
APÊNDICE C – Eficiência Instantânea de Transporação (EIT), eficiência intrínseca de uso da água (EIUA) e eficiência de carboxilação das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.....	103
APÊNDICE D – Taxa fotossintética das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.....	104
APÊNDICE E – Índice de área foliar (IAF) e altura das plantas de feijão. Santa Maria, 2012. ....	105
APÊNDICE F – Fotossíntese e condutância estomática das plantas de feijão aos 60 e 69 dias após emergência (DAE). Santa Maria, 2012.....	106
APÊNDICE G – Temperatura foliar das plantas de feijão e temperatura do ar aos 60 e 69 dias após a emergência (DAE). Santa Maria, 2012. ....	107
APÊNDICE H – Pontencial hídrico foliar das plantas de feijão, aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE). Santa Maria, 2012. ....	108
APÊNDICE I – Número de vagens por planta e massa de cem grãos (g) das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.....	109
APÊNDICE J – Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) do feijoeiro. Santa Maria, 2012. ....	110
APÊNDICE K - Fração de água disponível no solo na profundidade de 0-10 cm. Santa Maria, 2012.....	111
APÊNDICE L- Fração de água disponível no solo na profundidade de 10-25 cm. Santa Maria, 2012.....	112
APÊNDICE M- Fração de água disponível no solo na profundidade de 25-55 cm. Santa Maria, 2012.....	113



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>23</b>
<b>2 TROCAS GASOSAS E ALTERAÇÕES DA ÁREA FOLIAR, ALTURA DE PLANTAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 RESUMO.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 ABSTRACT .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>61</b>
<b>3 RELAÇÕES HÍDRICAS E FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1 RESUMO.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2 ABSTRACT .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>69</b>
<b>3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>3.6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>99</b>





# 1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijoeiro é considerado uma das culturas mais importantes no Brasil, sendo cultivado em praticamente todo o território nacional, em várias épocas de semeadura, o que o expõe a uma grande diversidade climática (DIDONET, 2005). Destaca-se a sua importância socioeconômica, pois, juntamente com o arroz, é o alimento básico das pessoas de baixa e média renda, exercendo importante função social no suprimento das necessidades nutricionais básicas, principalmente de proteína, dessa classe da população de menor poder aquisitivo. Considerando as três safras anuais de feijão estima-se que a área total cultivada alcançou 04 milhões de hectares na safra 2010/2011 e gire em torno de 3,8 milhões de hectares em 2012 (CONAB 2012).

Entre os vários estresses abióticos que afetam o feijoeiro, a deficiência hídrica se destaca pela grande área de ocorrência e pela redução na produtividade (MUÑOZ-PEREA et al., 2006). Estima-se que 60% da produção mundial de feijão vêm de regiões com deficiência hídrica, o que a torna a segunda maior causa de redução da produtividade da cultura (SINGH, 1995). No Rio Grande do Sul, a safra principal do feijoeiro é semeada na primavera, coincidindo a sua floração e o enchimento de grãos com o período de verão, época comum de ocorrência de déficit hídrico. Segundo Àvila et al. (1996), a probabilidade de a precipitação pluvial mensal superar a evaporação mensal nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro é menor do que 60% nas principais regiões produtoras do Estado, determinando alta frequência de déficits hídricos e ocasionando queda no rendimento das culturas de primavera-verão.

Com relação à importância econômica, a rentabilidade da cultura está diretamente relacionada com a produtividade e qualidade dos grãos produzidos. De acordo com Cardim e Cataneo (2005), devido à globalização da economia, a agricultura brasileira terá de ser mais eficiente e produtiva para ser competitiva no mercado. Neste contexto, merecem destaque trabalhos que relacionam a utilização de tecnologias para aumentar a produtividade das culturas, com manejo conservacionista dos recursos naturais, promovendo assim a sustentabilidade na agricultura. Com isso, a prática da irrigação das culturas, juntamente com outros fatores de produção, torna-se uma alternativa viável para alcançar e garantir a maximização dos ganhos de produtividade, sendo que, a finalidade básica da irrigação é proporcionar água à cultura de maneira a atender toda a exigência hídrica durante o ciclo (SANTANA et al., 2009).

Segundo Peixoto (2011), a produtividade das culturas, que é resultado do crescimento e desenvolvimento das plantas, depende de fatores genéticos, fisiológicos e ecológicos. Os fatores genéticos representam a potencialidade que a planta recebe de seus ancestrais por herança, ou modificados geneticamente. Os fatores fisiológicos constituem os processos simples e complexos que redundam em ganho de matéria seca ou em diferenciação da planta. Esses fatores fisiológicos são influenciados por fatores externos, da atmosfera, como radiação fotossinteticamente ativa, energia solar e os gases, que interagem com a parte aérea e, também sofrem influência das condições químicas, físicas e biológicas do solo, nas raízes, principalmente da água disponível no solo. Os fatores ecológicos são aqueles fatores externos, do solo ou da atmosfera, que, direta ou indiretamente, afetam os processos fisiológicos da planta.

Práticas agrícolas e técnicas conservacionistas do uso da água na agricultura irrigada assumem, portanto, considerável importância, para reduzir o uso dos recursos hídricos ou para aperfeiçoar a eficiência do seu uso (MEDEIROS, 2002), de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (WUTKE et al., 2000).

A recomendação convencional da quantidade de água de irrigação que deve ser aplicada às culturas considera a soma total da água perdida, por evapotranspiração, pelas plantas. Baseia-se, assim, na reposição máxima de água às culturas, com o objetivo de atingir a máxima produção agrônômica ou, o lucro máximo. Quando a disponibilidade de água em determinada época do ano, ou região é limitada, como no caso de muitas regiões brasileiras, um manejo eficiente dos sistemas de irrigação tem implicações importantes, tanto pela necessidade de atender o setor agrícola, como pela competitividade naturalmente estabelecida com outros setores da sociedade (MANTOVANI, 2004). Logo, o uso de irrigações estratégicas pode resultar em uma agricultura mais eficiente e econômica.

Uma alternativa para minimizar o déficit hídrico no solo e, garantir a produtividade das culturas, principalmente nos locais com registros históricos de precipitação pluvial abaixo das necessidades agrícolas é a utilização da irrigação suplementar ou da irrigação deficitária. Contudo, a escassez crescente de água e a competição com outros setores econômicos e sociais, interferem na gestão dos recursos hídricos e, em muitas áreas, a deficiência severa de água força os produtores irrigantes a aplicar água em níveis abaixo das necessidades hídricas das culturas para a obtenção da máxima produção (LORITE et al., 2007). A irrigação deficitária (FRIZZONE, 2007), visa atender somente a uma fração da demanda de água da cultura. Sendo assim, a lâmina de irrigação menor que a evapotranspiração da cultura no

período, o grau de adequação será reduzido, as produtividades serão menores, mas, como resultado, reduz-se o escoamento, aumenta-se a eficiência de aplicação e há redução nos custos operacionais da irrigação e redução da lixiviação de produtos químicos (FERNANDEZ et al., 2007).

A irrigação deficitária é utilizada para produzir mais do que em situação de sequeiro, de forma sustentável e com menor volume de água do que a irrigação convencional. Para Geerts e Raes (2009), a irrigação deficitária pode ser utilizada com sucesso no aumento da produtividade da água para diversas culturas, sem ocasionar reduções expressivas de rendimento de grãos.

A relação entre o rendimento de uma cultura e o suprimento de água é resultado das relações água-solo-planta-atmosfera. O microambiente determina as variações fisiológicas das plantas do feijoeiro e, muitos dos sintomas visuais de deficiência hídrica são conseqüências de alterações nas respostas fisiológicas da planta. Por isso, além da área foliar, devem-se avaliar também as implicações fisiológicas da restrição hídrica nas plantas. A resposta mais comum das plantas ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que ocasiona reduções na taxa de fotossíntese, reduzindo a disponibilidade de CO<sub>2</sub> (SANTOS et al., 2009).

O conhecimento de alterações fisiológicas nas plantas, associada às práticas de engenharia de irrigação são importantes, como forma de se entender as necessidades hídricas mínimas das culturas ao longo do ciclo. Praticamente toda a matéria orgânica acumulada numa planta durante seu crescimento tem origem no processo fotossintético de fixação de carbono atmosférico. Deste modo, a correta identificação do comportamento morfológico e fisiológico das plantas em relação a diferentes níveis de deficiência hídrica é necessária, pois o fluxo de água do solo para a planta e, conseqüentemente, a sua atividade para assimilação e produção depende da disponibilidade hídrica e da eficiência do sistema radicular em extrair água do solo.

Dentre os fatores limitantes da produção vegetal, a deficiência hídrica ocupa posição de destaque, pois, além de afetar diretamente as relações hídricas e trocas gasosas nas plantas, afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas e, é um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis. Apesar de sua importância socioeconômica, o feijão ainda é uma cultura típica de pequenas propriedades rurais, onde a produtividade média é muito baixa devido a pouca tecnologia utilizada pelos produtores e, conseqüentemente, a deficiência hídrica, quando ocorre, limita a produtividade. Portanto, o presente estudo se propoe a identificar manejos de irrigação deficitária que permitam manter níveis satisfatórios de produtividade, aliados à economia de água. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar as

relações hídricas e as trocas gasosas, através da avaliação de variáveis fisiológicas que indiquem alterações na produção das plantas de feijão, quando as mesmas são submetidas a diferentes manejos de irrigação deficitária.

## 2 TROCAS GASOSAS E ALTERAÇÕES DA ÁREA FOLIAR, ALTURA DE PLANTAS E COMPONENTES DE RENDIMENTO DO FEIJOEIRO SUBMETIDO À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

### 2.1 RESUMO

A irrigação das culturas é uma alternativa do produtor rural para garantir a produção das culturas agrícolas durante períodos de estiagens. As principais causas do déficit hídrico nas plantas estão relacionadas com a defasagem entre os processos de transpiração, absorção e disponibilidade de água no solo, que provocam diminuição da produtividade, justamente por inviabilizar o processo fotossintético. A utilização da irrigação complementar ou da irrigação deficitária pode contribuir para amenizar os períodos de deficiência hídrica. Assim, torna-se importante estudar técnicas de manejo de irrigação que, compatibilizem a aplicação de quantidades mínimas de água às culturas com aumento da produtividade de grãos, comparando-se às condições de produção em sequeiro. Este trabalho objetivou avaliar alterações nas trocas gasosas, área foliar, altura de plantas e componentes de rendimento, em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária. O experimento foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) com quatro manejos de irrigação: reposição de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac), e irrigação deficitária de 75%, 50% e 25% da ETc ac. As relações hídricas e trocas gasosas das plantas avaliadas foram: taxa de transpiração, condutância estomática, déficit de pressão de vapor na folha, concentração interna de CO<sub>2</sub> e taxa fotossintética. Foram determinados: a eficiência instantânea da transpiração (razão taxa fotossintética/taxa de transpiração); a eficiência intrínseca do uso da água (razão taxa fotossintética/condutância estomática) e; a eficiência de carboxilação das plantas (razão taxa fotossintética/concentração interna de CO<sub>2</sub>). As seguintes características morfológicas das plantas foram avaliadas: índice de área foliar e altura de plantas e; os seguintes componentes de rendimento: rendimento de grãos, número de vagens por planta e peso de 100 grãos. A utilização da irrigação deficitária sobre a cultura do feijoeiro diminuiu o armazenamento de água no perfil do solo e a fração de água disponível no solo (FAD), o que ocasionou modificações morfofisiológicas nas plantas de feijão, como a diminuição na taxa fotossintética, resultando em uma menor produtividade. A irrigação deficitária não influenciou a eficiência instantânea de transpiração e aumentou a eficiência intrínseca de uso da água pelas plantas de feijão, porém diminuiu a eficiência de carboxilação das plantas do feijoeiro, pela redução na taxa fotossintética, resultando em redução do índice de área foliar a partir dos 40 dias após a emergência (DAE) e da altura das plantas a partir dos 57 DAE. O rendimento do feijoeiro, submetido à irrigação deficitária apresentou uma resposta linear ( $y=24,77x+1001,4$ ). O maior rendimento de grãos observado foi 3.417,01 kg ha<sup>-1</sup> para as plantas que receberam lâmina de reposição de 100% da água evapotranspirada. Para as plantas que receberam lâminas de irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da ETc ac, as reduções de rendimento de grãos foram 14,7, 32,2 e 54,6%, em comparação ao maior rendimento, respectivamente. A eficiência do uso da água foi elevada (10,8 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), principalmente, para os tratamentos de irrigação deficitária, atingindo o seu objetivo de maximizar a produção por unidade de volume de água aplicada na irrigação.

**Palavras-chave:** condutância estomática, déficit hídrico, taxa fotossintética, transpiração.

## 2.2 ABSTRACT

Irrigation of crops is an alternative the farmer to ensure the production of agricultural crops. The main causes of water deficits on plants are related to the relationship between transpiration and absorption process, and soil water availability that influence the crop yield and the process of photosynthesis. The use of supplementary or deficit irrigation can help to mitigate periods of water deficit. Thus, it becomes important to study irrigation management techniques that reconcile the application of minimal amounts of water to crops with increased yield, compared to the conditions of dry land production. The objective of this research was to evaluate the gas exchanges, variation in leaf area, plant height and crop yield of dry bean plants submitted with to deficit irrigation. The experiment was conducted at the UFSM. Treatments were consisted of four irrigation managements: 100% of accumulated crop evapotranspiration (ETc ac), and deficit irrigation of 75%, 50% and 25% of the ETc ac. The following leaf water relations and leaf gas exchanges were evaluated: Transpiration rate, stomatal conductance, leaf steam pressure deficit, internal concentration of CO<sub>2</sub> and photosynthesis rate. These determinations were conducted using a LI-6400 (LI-Cor). With values of photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, and internal concentration of CO<sub>2</sub> were determined: The transpiration instantaneous efficiency (photosynthesis rate/transpiration rate); the intrinsic efficiency of water use (photosynthesis rate/stomatal conductance) and; the carboxylation efficiency of the plants (photosynthesis rate/internal concentration of CO<sub>2</sub>). The following morphological features were evaluated: leaf area index, plant height and yield compounds (one hundred mass grains, number of seed plant and crop yield). The use of deficit irrigation on bean crop decreased the soil water storage and FAD, wich caused morphophysiological changes of dry bean plants as decreased photosynthesis rate, resulting in a lower productivity. The deficit irrigations did not influence the transpiration instantaneous efficiency and increased the carboxylation efficiency by reduced photosynthesis rate, reducing leaf area index from 40 days after emergence and plant height from 57 days after emergence. The highest grain yield observed was 3.417,01 kg ha<sup>-1</sup> for plants with irrigation management of 100% of accumulated crop evapotranspiration. For plants that received deficit irrigation of 75%, 50% and 25% of the ETc ac reductions in grain yield were 14,7, 32,2 e 54,6%, compared to the higher yield, respectively. The water use efficiency was high (10,78 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), mainly to the deficit irrigation treatments reaching its purpose of maximizing production per volume unit of water applied in irrigation.

**Key words:** stomatal conductance, water deficit, photosynthesis rate, transpiration.

## 2.3 INTRODUÇÃO

Em regiões semitemperadas, como o Rio Grande do Sul, a agricultura é dependente da aleatoriedade das precipitações pluviais (BERLATO, 1992) que, quando são insuficientes ou excessivas, resultam em prejuízos consideráveis para as plantas, o solo e a rentabilidade do cultivo. A viabilidade econômica da irrigação na cultura do feijão já foi demonstrada por diversos autores (JOBIM, 2007; FIGUERÊDO et al., 2008; RODRIGUES, 2009; SANTANA,

2009), sendo possível obter produtividades elevadas, quando os sistemas de irrigação são projetados adequadamente para a cultura e o tipo de solo.

A estabilidade na produção alcançada com a irrigação resultou na introdução da cultura do feijão em áreas extensas de cultivo, antes destinadas principalmente à produção de milho. Contudo, os custos de produção em uma agricultura irrigada, com captação e distribuição de água, energia, mão de obra e equipamentos de irrigação, são geralmente mais elevados que a agricultura de sequeiro, sendo necessária a correta utilização e manejo da irrigação para minimizar os riscos de perda de produtividade da cultura para o produtor rural. Deste modo, para garantir produtividades elevadas, torna-se importante estudar técnicas de manejo de irrigação que, compatibilizem a aplicação de quantidades mínimas de água às culturas com aumento da produtividade de grãos, comparando-se às condições de produção em sequeiro.

As principais causas do déficit hídrico na planta estão relacionadas com a defasagem entre os processos de transpiração, absorção e disponibilidade de água no solo, que provocam diminuição da produtividade, justamente por inviabilizar o processo fotossintético. A planta necessita equilibrar dois fatores que ocorrem simultaneamente: conservar água e assimilar  $\text{CO}_2$  atmosférico. À medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração (E) das plantas decresce como resultado do fechamento dos estômatos. Conseqüentemente, a disponibilidade de  $\text{CO}_2$  atinge níveis extremamente reduzidos, restringindo o influxo deste componente nas células do mesófilo e, assim, a planta utiliza o  $\text{CO}_2$  proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética (RAVEN et al., 2001). Portanto, o controle estomático é uma importante propriedade fisiológica por meio da qual as plantas limitam a perda de água, ocasionando reduções na condutância estomática e, geralmente, reduzindo as trocas gasosas como forma de resposta das plantas a diversos fatores, incluindo o déficit hídrico (PAIVA et al., 2005). Esse fechamento dos

estômatos bloqueia o fluxo de CO<sub>2</sub> para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade das culturas. Avaliações fisiológicas, como as medidas de trocas gasosas, podem ser utilizadas para avaliar os efeitos do déficit hídrico nas plantas (SOUZA et al., 2001).

O feijão tem sua exigência hídrica satisfeita entre a semeadura e a maturação fisiológica (90 a 100 dias) quando a precipitação pluvial situa-se entre 300 a 400 mm (COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2000) e melhores produtividades são obtidas com 340 a 370 mm (VIEIRA et al, 2006). A relação entre o rendimento de uma cultura e o suprimento de água é resultado das relações água-solo-planta-atmosfera. As perdas de produtividade são significativas quando a deficiência hídrica coincide com períodos críticos de desenvolvimento da cultura (florescimento e enchimento de grãos). Por isso, além da área foliar, devem-se avaliar também as implicações fisiológicas do déficit hídrico nas plantas. Dessa maneira, a área foliar das plantas é um excelente indicador da capacidade fotossintética, responsável diretamente pela produção de fotoassimilados e acumulação de matéria seca.

Para suprir à necessidade de irrigação das culturas, mesmo com baixa disponibilidade de água, as pesquisas têm focado na irrigação deficitária (FRIZZONE, 2007), que visa atender somente a uma fração da demanda de água da cultura. A irrigação deficitária é utilizada para obter uma produção de grãos superior ao cultivo de sequeiro e semelhante à irrigação convencional. É, ainda, uma maneira sustentável de utilização dos recursos hídricos, por demandar menor volume de água do que a irrigação convencional, pois, na irrigação deficitária ocorre o fornecimento de uma menor quantidade de água do que a evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>c</sub> max) como estratégia de gestão de água de irrigação, visando economia de água e energia. O principal objetivo da irrigação deficitária é economizar água, resultando em menores custos e receitas líquidas otimizadas, já que nem



sempre as maiores produtividades são as mais lucrativas (FRIZZONE, 1986). As funções de produção, água-rendimento, tornam-se ferramentas importantes nas decisões de caráter econômico, especialmente quando a água for um dos fatores limitantes ao aumento de produção (FIGUERÊDO et al. 2008). No entanto, para o seu sucesso deve ser mantida uma lâmina mínima de água armazenada no solo, para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas. Com objetivo de economizar os recursos hídricos, a irrigação deficitária visa aumentar a eficiência de uso da água e a eficiência de aplicação e armazenagem (PHENE, 1989), pressupondo-se que a baixa disponibilidade de água constitui limitação à produção agrícola.

A transpiração consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos da planta e da remoção do vapor para a atmosfera. As culturas perdem quase a totalidade da água através dos estômatos. A vaporização ocorre no interior da folha, nos espaços intercelulares, e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura estomática. A maioria da água absorvida é perdida pela transpiração, sendo utilizada uma pequena fração no interior da planta (REICHARDT & TIMM, 2004). A eficiência instantânea da transpiração relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa para cada unidade de água que a planta transpira; a eficiência intrínseca do uso da água relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa por unidade de condutância estomática e; a eficiência de carboxilação é a relação entre a taxa fotossintética e a concentração intercelular de  $\text{CO}_2$ . A quantidade de água disponível em determinados ambientes ou em uma época particular pode ser muito pequena e espécies com valores de eficiência instantânea de transpiração mais elevados poderiam apresentar vantagens para completar seu ciclo de vida. Deste modo, a correta identificação do comportamento fisiológico das plantas, em relação a diferentes níveis de deficiência hídrica é necessária, pois, o fluxo de água do solo para a planta e, conseqüentemente a sua atividade para assimilação e produção, dependem da disponibilidade hídrica e da eficiência do sistema

radicular em extrair água do solo. Portanto, o conhecimento da eficiência instantânea de transpiração, da eficiência intrínseca de uso da água e eficiência de carboxilação das culturas é importante para avaliar o balanço hídrico e a utilização da água pelas plantas.

A taxa de perda de água pelas folhas é afetada por interação entre fatores do ambiente e da própria planta. Os fatores do ambiente não atuam somente de forma direta sobre a perda de água, mas também podem exercer sua ação indiretamente através do efeito controlador sobre o comportamento estomático, como acontece com a luz, a umidade do ar, o vento, as condições hídricas e térmicas do solo (SEIXAS, 2009). Diversos autores (MACEDO JÚNIOR et al., 1994, GUERRA, 2000; SILVEIRA et al., 2001; RODRIGUES et al, 2002, ARF et al. 2004) conduziram experimentos relacionando déficit hídrico e produção de grãos, entre eles, OLIVEIRA (1987), que avaliou o déficit hídrico em diversos subperíodos de desenvolvimento da cultura do feijoeiro, em casa de vegetação, e encontrou reduções de até 51,8% na produção de grãos, quando o déficit ocorreu na frutificação das plantas. AGUIAR et al. (2008) trabalhando com avaliação de linhagens de feijoeiro tolerantes ao déficit hídrico, encontraram redução média de 67,9% para as plantas do grupo preto, para um déficit hídrico de 20 dias a partir do florescimento das plantas.

A variação da produtividade do feijoeiro está correlacionada principalmente à ocorrência de déficit hídrico nos períodos críticos da cultura. Nas áreas não irrigadas, onde a condição hídrica é favorável, a disponibilidade de água está relacionada à ocorrência, frequência e quantidade de chuva, enquanto que, para as áreas irrigadas, o êxito está relacionado com o correto manejo da irrigação (SILVA, 2008). Nas condições em que se utilizam a irrigação complementar, suplementar ou deficitária, as reduções no rendimento da cultura podem ser devido ao desconhecimento em relação ao comportamento das variáveis fisiológicas das plantas em função das condições meteorológicas e, do déficit hídrico que é imposto à cultura. A incerteza ou desconhecimento do comportamento das relações hídricas

das plantas, em condições de déficit hídrico, pode causar erros nas tomadas de decisões técnicas e econômicas do manejo da irrigação. É necessário desenvolver metodologias visando à estimativa confiável das necessidades de água das culturas, para melhor entender as relações hídricas do sistema solo-planta-atmosfera e, para a elaboração de projetos de irrigação (MATEZENAUER et al., 1999). Assim, o presente trabalho objetivou avaliar as trocas gasosas, através da avaliação de variáveis fisiológicas, os componentes de rendimento através de variáveis morfológicas e, a eficiência do uso da água do feijoeiro em função de diferentes níveis de irrigação deficitária.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no ano agrícola 2010/2011 na Universidade Federal de Santa Maria. O clima da região é do tipo “Cfa” subtropical úmido, de acordo com a classificação climática de Köppen (MORENO, 1961) e o solo do local é classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico (EMBRAPA, 1999). O experimento foi conduzido no interior de uma cobertura móvel (*Rainout Shelter*), estruturada sobre trilhos metálicos, a qual era acionada somente durante a ocorrência de uma precipitação pluvial, não havendo interferência das precipitações pluviais nos tratamentos.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições. As unidades experimentais apresentavam dimensões de 3 x 2,9 m. Os tratamentos foram constituídos de quatro manejos da água de irrigação: reposição de 100% da evapotranspiração acumulada (ETc ac), e três tratamentos de irrigação deficitária: 75%, 50% e 25% da ETc ac. A cultura do feijão foi semeada aos 25 dias do mês de setembro de 2010, em sistema de plantio direto sob palha de aveia preta, com espaçamento entre linhas de 0,5 m. Utilizou-se a cultivar Tizio, com hábito de crescimento indeterminado. A emergência das plântulas ocorreu sete dias após a semeadura (50% das plântulas emergidas) e aos seis dias

após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste para corrigir a densidade de plantas para 240 mil plantas ha<sup>-1</sup>. A escala fenológica do feijoeiro adotada foi adaptada de DOURADO NETO & FANCELLI (2000). Antes da instalação do experimento foram determinadas as características físico-hídricas e químicas do perfil do solo.

Para a caracterização físico-hídrica do solo foram coletadas amostras com estrutura preservada e deformada, na parte média das camadas do perfil do solo de 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm. As amostras com estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de um extrator, no qual foi acoplado um cilindro de metal de 5,56 cm de diâmetro, 03 cm de altura e volume 72,84 cm<sup>3</sup>. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Físicas do Sistema Irriga do Departamento de Engenharia Rural da UFSM.

As seguintes características físicas foram avaliadas utilizando-se as amostras com estrutura preservada: densidade do solo, curva característica de água no solo (nos pontos de -1; -6; -33; -100; -500 e -1500 MPa), porosidade total, macro e microporosidade e; em amostras com estrutura não preservadas: a análise granulométrica e densidade de partículas. Para as análises granulométricas e densidade de partículas foram coletadas aproximadamente 1000 gramas de solo com estrutura deformada, na porção mediana de cada camada do perfil do solo. A densidade de partículas foi obtida pelo método do balão volumétrico e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico, utilizando o volume do cilindro de 72,84 cm<sup>3</sup>. Determinações analíticas de densidade de partículas, densidade do solo e porosidade foram realizadas conforme métodos descritos pela EMBRAPA (1997).

Para a determinação do conteúdo de água no solo foi utilizado um conjunto FDR (Reflectometria no Domínio de Frequência, Campbell Scientific Inc.), constituído por um datalogger, multiplexadores e sensores os quais realizavam a medida direta da umidade volumétrica do solo a cada 15 minutos (96 registros diários). Foram instalados quatro sensores FDR por parcela, totalizando 48 sensores no experimento, nas seguintes

profundidades: 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm. O limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) nas camadas de 0-10, 10-25, 25-55 foi considerado como sendo o conteúdo de água após a saturação do solo, e o limite inferior de água disponível às plantas no solo foi considerado como sendo o conteúdo de água no potencial de -1500 kPa .

Na tabela 1.1 são apresentados os resultados da densidade, porosidade, curva de retenção de água no solo, limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) e análise granulométrica do solo da área experimental.

**Tabela 1.1:** Resultados da densidade, porosidade, curva de retenção de água no solo, limite superior de água disponível às plantas no solo (LS) e análise granulométrica do solo da área experimental. Santa Maria, RS, 2012.

Camada (cm)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )		Porosidade (%)		
	Solo	Partícula	Macro	Micro	Total
0-10	1,39	2,59	7,50	38,82	46,33
10-25	1,35	2,59	11,02	36,74	47,76
25-55	1,42	2,63	11,33	34,55	45,87
55-85	1,59	2,67	5,98	34,59	40,57

Camada (cm)	Umidade Volumétrica						
	-1 (MPa)	-6 (MPa)	-33 (MPa)	-100 (MPa)	-500 (MPa)	-1500 (MPa)	LS (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
0-10	0,478	0,388	0,342	0,308	0,154	0,119	0,347
10-25	0,470	0,367	0,322	0,268	0,135	0,103	0,325
25-55	0,410	0,345	0,264	0,217	0,138	0,106	0,344
55-85	0,439	0,346	0,315	0,285	0,291	0,144	--

Camada (cm)	Textura (%)			Classe Textural
	Areia	Silte	Argila	
0-10	36,0	44,7	19,4	Franco
10-25	35,5	40,4	24,2	Franco
25-55	32,1	35,4	32,5	Franco argilo siltoso
55-85	24,2	31,7	44,1	Argila

A partir dos valores diários de umidade do solo, determinou-se a lâmina de água armazenada nas camadas do perfil do solo, pelo produto do conteúdo volumétrico de água (cm<sup>3</sup> água cm<sup>-3</sup> solo) e a espessura de cada camada do perfil do solo (mm). A capacidade de água disponível no solo (CAD) foi determinada pela diferença entre o conteúdo volumétrico de água no limite superior e no limite inferior da disponibilidade de água. A fração de água disponível (FAD) foi determinada pela razão entre a quantidade atual (lâmina armazenada no

momento de avaliação menos o limite inferior) e a quantidade potencial de água no solo (CAD).

As perdas de água do solo foram determinadas diariamente realizando-se o balanço hídrico do solo, considerando as irrigações como entradas de água no solo. A perda de água do solo foi assumida como sendo em função da evaporação direta da água do solo e pela transpiração das plantas, desconsiderando a percolação profunda e o escoamento superficial da água. Assim, as perdas de água do solo foram determinadas pela variação do armazenamento de água no solo a partir da média diária dos dados de umidade volumétrica do solo. Para avaliações de armazenamento de água no solo, optou-se por utilizar a profundidade de 0-55 cm, pois em geral, 75 a 87% das raízes do feijoeiro situam-se na profundidade de 20 cm do perfil do solo (ANDRADE & RAMALHO, 1995).

A adubação do solo foi realizada conforme os resultados da análise química de solo, seguindo as recomendações de adubação da COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004). Na adubação de base utilizou-se 32 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, e na adubação de cobertura, realizada aos 21 DAE, aplicou-se 30 kg ha<sup>-1</sup> de N. No manejo fitossanitário das plantas utilizou-se o herbicida fluazifope-p-butílico e fomesafen; inseticida tiametoxan e inseticida lambda-cialotrina + tiametoxan e fungicida tebuconazol + trifloxistrobina.

A irrigação foi realizada utilizando-se tubos gotejadores auto-reguláveis de 16 mm de diâmetro, com pressão de serviço de 150 kPa, taxa de aplicação de 10 mmh<sup>-1</sup> e eficiência de irrigação de 85%. A necessidade de irrigação foi determinada com base na evapotranspiração da cultura (ETc), estimada pelo método de Penman-Monteith e, os coeficientes de cultura (Kc) foram os propostos por ALLEN et al. (1998). As irrigações foram realizadas sempre que a ETc acumulava um valor de 20 mm. Para os tratamentos de 75%,

50% e 25% da ETc ac a lâmina aplicada foi um percentual de 75, 50 e 25 do valor da lâmina aplicada ao tratamento 100%. Até os 20 DAE todas as parcelas receberam 100% da ETc ac.

As trocas gasosas e relações hídricas das plantas de feijão foram avaliadas aos 24, 30, 33, 41, 60, 66 e 69 DAE pelas determinações da taxa fotossintética das folhas, taxa de transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub> e, a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar. Estas variáveis foram medidas com o equipamento portátil IRGA (Infra Red Gas Analyser), um porômetro de estado estacionário (LI-COR 6400 XT). Para calibração do equipamento fixou-se a relação de estômatos da folha de feijão em 0,3. As avaliações foram realizadas entre as 12 e 14 horas em folhas completamente expandidas e expostas ao sol, dias típicos com céu claro e sem nuvens. Com os valores de taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub> foram determinados a eficiência instantânea da transpiração (razão taxa fotossintética/taxa de transpiração), a eficiência intrínseca do uso da água (razão taxa fotossintética/condutância estomática) e, a eficiência de carboxilação das plantas de feijão (razão taxa fotossintética/concentração interna de CO<sub>2</sub>).

Características morfológicas das plantas como área foliar e altura de plantas, foram medidas em duas plantas por parcela, localizadas nas linhas centrais. Essas plantas foram selecionadas e identificadas aos 12 DAE por serem semelhantes e estarem sob as mesmas condições de desenvolvimento e disponibilidade de água. A área foliar das plantas foi determinada pela equação linear  $y=1,68x+4,392$ , ( $r^2= 0,96$ ), obtida a partir da análise de regressão do produto do comprimento pela máxima largura do folíolo central do trifólio (variável independente), medida a campo, e a área foliar real do trifólio (variável dependente). A área foliar real foi medida no momento da floração, com o aparelho LI-3000C da Licor (Portable Area Meter) que realiza estas medidas através de um “escaneamento” das folhas das plantas, informando diretamente a área foliar. O índice de área foliar foi determinado pela

razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa das folhas e a área de solo ocupada pela planta. A altura das plantas foi determinada pela distância vertical entre a superfície do solo até a inserção do trifólio do último nó vegetativo visível da planta.

A colheita foi realizada aos 95 DAE (04 de janeiro de 2011), ao final do ciclo da cultura. Para análise de componentes de rendimento foram colhidas as três linhas centrais da parcela, desprezando destas, 50 cm de cada extremidade. O rendimento de grãos foi calculado considerando-se kg ha<sup>-1</sup> a 13% de umidade. A EUA (eficiência do uso da água) foi encontrada por meio da razão entre a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e total de lâmina aplicada (mm) (PEREIRA et al., 2002). A partir da relação entre o custo da lâmina total aplicada e o preço pago ao produtor calculou-se a máxima lucratividade. Considerou-se os custos associados à irrigação de 0,74 US\$ mm ha<sup>-1</sup> conforme determinado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1994) para a cultura do feijão irrigado sob sistema de pivô central. Desse modo adotando-se a conversão de dólar para reais em R\$ 1,85 o custo da irrigação foi 1,37 R\$. Considerou-se R\$ 75,00 o preço do saco de 60 kg de feijão pago ao produtor rural.

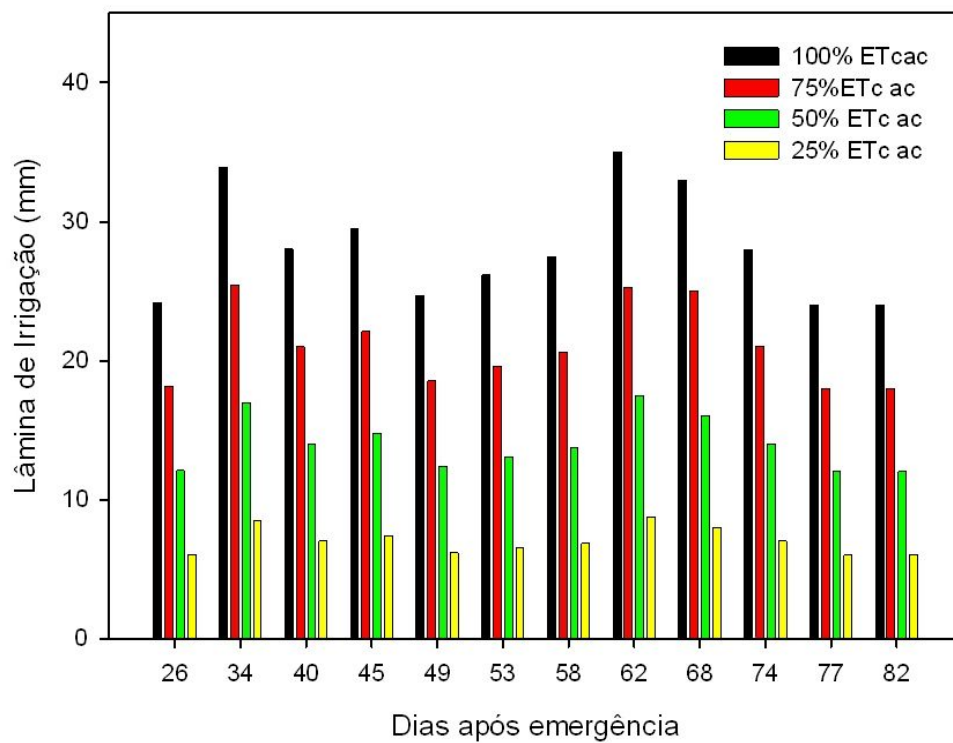
A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa estatístico Sisvar versão 5.1, sendo a análise da variância e a análise de regressão determinadas em nível de 5% de probabilidade de erro.

## **2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

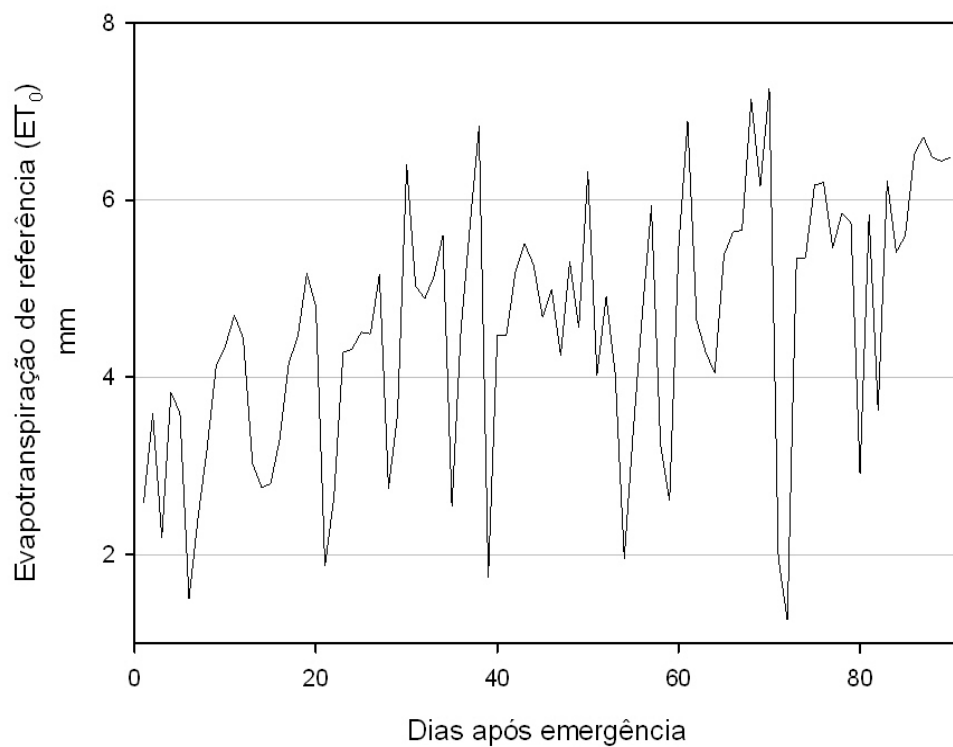
Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão a ET<sub>c</sub> ac foi de 378,41 mm e foram aplicados 122, 206, 290 e 376 mm de lâmina de irrigação, distribuídas em 16 irrigações (Figura 1.1), para os tratamentos de 25, 50, 75 e 100% da ET<sub>c</sub> ac, respectivamente.

A ET<sub>0</sub> (Figura 1.2) é um componente importante do balanço hídrico, pois contribui para quantificar a demanda de água em uma determinada região, informação de fundamental





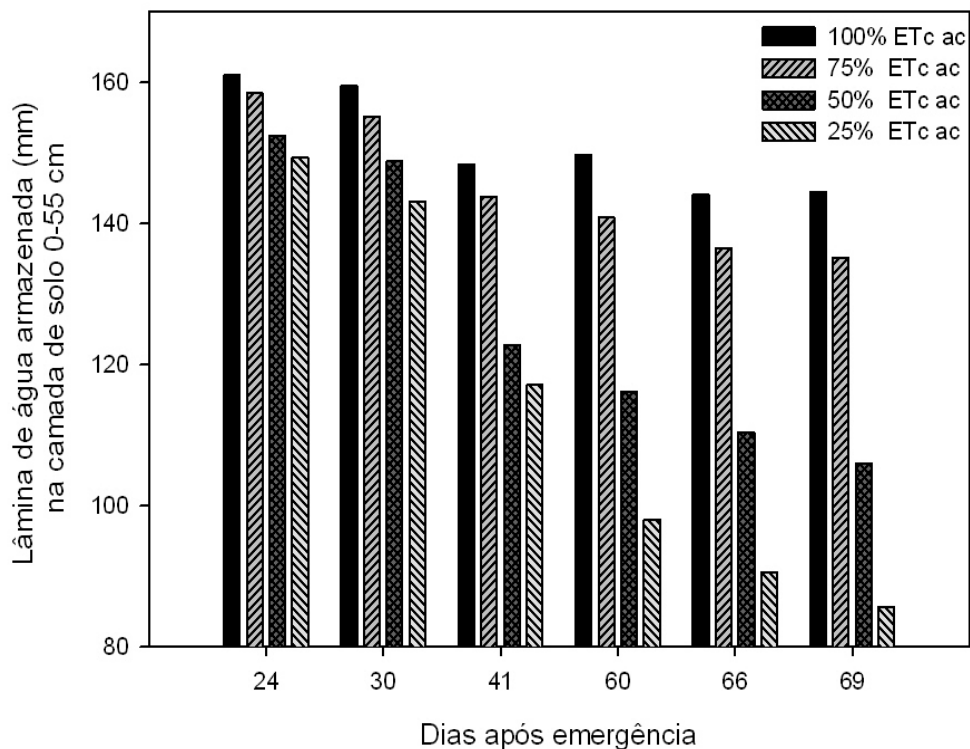
**Figura 1.1:** Lâmina de água (mm) aplicada nos dias de irrigação da cultura, para os tratamentos de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.



**Figura 1.2:** Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Santa Maria, RS, 2012.

importância no manejo adequado da irrigação. A lâmina de água armazenada é, em parte, disponível às plantas, sendo absorvida e transpirada ao mesmo tempo (evapotranspiração).

A lâmina armazenada no solo na camada de 0-55 cm de profundidade (Figura 1.3) foi semelhante, entre os tratamentos, até os 24 DAE (Tabela 1.2), demonstrando que todas as parcelas possuíam as mesmas condições de umidade antes do início dos tratamentos.



**Figura 1.3:** Lâmina de água armazenada (mm) no solo na camada de 0-55 cm de profundidade, no período de desenvolvimento da cultura, com lâminas de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

A lâmina de água armazenada no perfil do solo, aumentou com o incremento da lâmina de irrigação de 25% para 100% da ETc ac. Para as parcelas com tratamento de irrigação de 100% da ETc ac a lâmina de água armazenada, aos 69 DAE, foi 144,39 mm e 85,66 mm para as parcelas que reberam irrigação deficitária de 25% da ETc ac, redução de 58,73 mm (40,67%). De acordo com LUDLOW & MUCHOW (1990) a redução no conteúdo de água no solo causa significativa variação na distribuição e desenvolvimento radicular, podendo mudar a quantidade de água disponível para as plantas. RITCHIE et al. (1972),

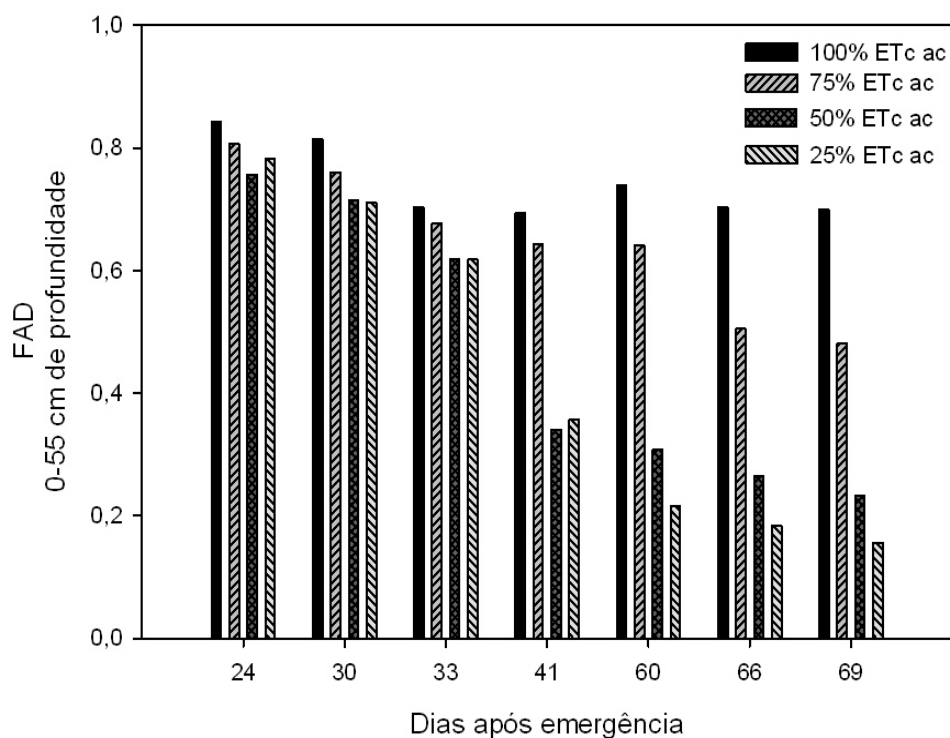
**Tabela 1.2:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para a variável lâmina de água armazenada no perfil do solo de 0-55 cm de profundidade. Santa Maria, RS, 2012.

Lâmina de água armazenada 0-55 cm (mm)							
DAE	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
24	85,71	250,06 <sup>ns</sup>	0,304 <sup>ns</sup>	42,77	4,21	y= 155,33	
30	154,83	462,25*	1,44 <sup>ns</sup>	31,35	3,69	y=0,22x + 137,74	R <sup>2</sup> = 99,52
41	713,16	1986,39*	0,80 <sup>ns</sup>	97,36	7,42	y=0,46x + 104,27	R <sup>2</sup> = 92,84
60	1660,34	4840,04*	65,56 <sup>ns</sup>	380,11	15,44	y=0,71x + 81,32	R <sup>2</sup> = 97,17
66	1751,65	5058,18*	97,69 <sup>ns</sup>	250,14	13,11	y=0,73x + 74,73	R <sup>2</sup> = 96,26
69	2180,66	6323,85*	94,75 <sup>ns</sup>	255,54	13,57	y=0,82x + 66,5	R <sup>2</sup> = 96,67

Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

MEYER & GREEN (1980), ROSENTHAL et al. (1987) e CARLESSO (1993) sugerem que as respostas fisiológicas das plantas na ocorrência de déficit hídrico seja avaliada em função da água disponível no solo (FAD). Para SANTOS & CARLESSO (1998) o suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera e a interação entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos.

Para o tratamento com irrigação de 100% da ET<sub>c</sub> ac a FAD no solo, na profundidade de 0-55 cm, foi 0,84 aos 24 DAE (antes do início dos tratamentos) e permaneceu acima de 0,70 durante todo o período de avaliação (Figura 1.4).



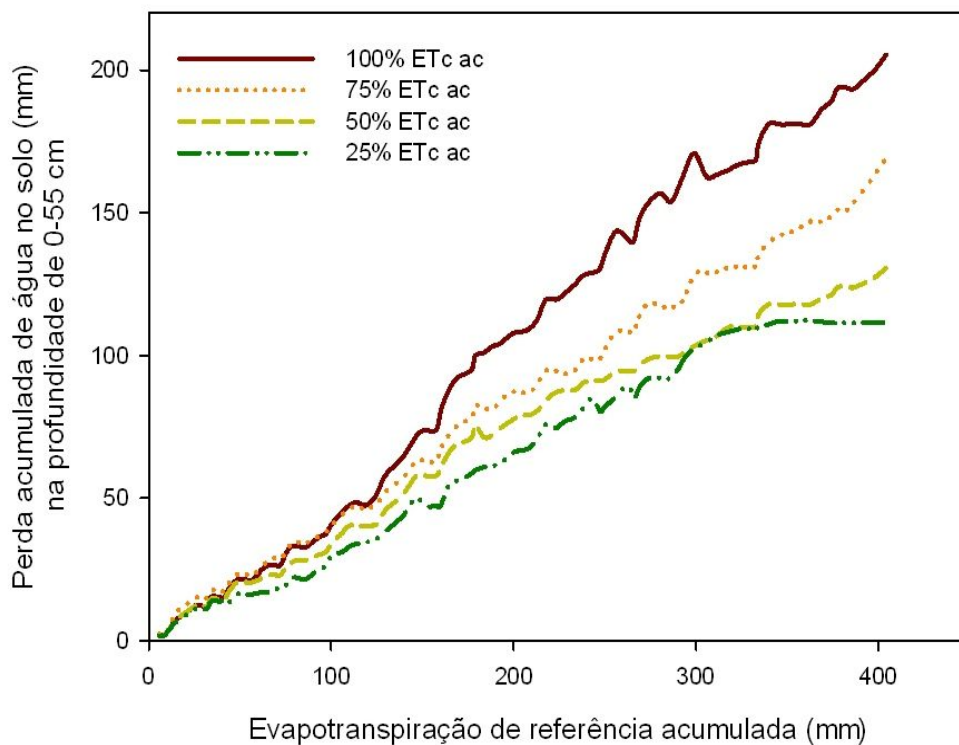
**Figura 1.4:** Fração de água disponível (FAD) no solo, na profundidade de 0-55 cm, nos dias das avaliações. Santa Maria, RS, 2012.

ROSENTHAL et al. (1987) em trabalho com plantas de sorgo verificaram que para valores de FAD acima de 0,7 não houve praticamente nenhuma influência sobre a transpiração e o desenvolvimento foliar das plantas. Para o tratamento de irrigação deficitária

de 75% da ETC ac a FAD no solo foi inferior a 0,70 a partir dos 33 DAE e para o tratamento de irrigação deficitária de 50% a FAD foi inferior a 0,60 a partir dos 41 DAE (três irrigações após início dos tratamentos). Para o tratamento de irrigação deficitária de 25% da ETc ac, a FAD no solo, foi 0,78 aos 24 DAE, 0,36 aos 41 DAE, abaixo de 0,22 a partir de 60 DAE e aos 69 DAE a FAD atingiu o valor mínimo de 0,16. ROSENTHAL et al. (1987) indicaram valores de FAD inferiores a 0,50 como causador de expressivas reduções no crescimento e desenvolvimento de plantas de sorgo, além de reduções da condutância estomática, taxa fotossintética e na produção de grãos. Já RITCHIE et al. (1972) encontraram valores de FAD crítico maiores e, valores de FAD menores que 0,25 produziram significativa redução na área foliar de plantas de algodão e sorgo. Valores semelhantes foram relatados por MEYER & GREEN (1980), GRANT et al. (1989) e CARLESSO (1993). Segundo CARLESSO (1995), culturas com menor comprimento de raízes nas camadas mais profundas, como o feijoeiro, ou que apresentam menor capacidade de manutenção do turgor apresentam uma FAD crítica mais elevada, em situações de déficit hídrico, devido ao rápido fechamento estomático.

As perdas acumuladas de água no perfil do solo na profundidade de 0-55 cm foram 205,3, 169, 130,7 e 111,6 mm, para os tratamentos de 100%, 75%, 50% e 25% da ETc ac, respectivamente (Figura 1.5). A maior perda de água acumulada no solo foi observada no tratamento de irrigação de 100% da ETc ac e a menor perda de água acumulada ocorreu no tratamento de irrigação deficitária de 25% da ETc ac em função do fluxo de água no perfil do solo para a camada superficial e para a manutenção dos processos de transpiração das plantas de feijão, evidenciando a capacidade das plantas em extrair água nos diferentes teores de umidade e níveis de energia de retenção no solo.

Ao final do ciclo da cultura, a intensificação do déficit hídrico nas plantas ocasionou diminuição da condutância estomática, demonstrando que o controle estomático em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária é um mecanismo de defesa fisiológica das plantas por



**Figura 1.5:** Perda acumulada de água no solo (mm), na profundidade de 0-55 cm para os tratamentos de 100%, 75%, 50% e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

meio da qual elas reduzem a perda de água. As variações de condutância estomática das plantas de feijão, que receberam diferentes lâminas de irrigação, são representadas através do ajuste de equações de segundo grau (Tabela 1.3) aos 66 e 69 DAE.

O maior valor de condutância estomática,  $1,36 \text{ mol H}_2\text{O/m}^2\text{s}$ , foi observado nas plantas sem irrigação deficitária, aos 66 DAE (quatro dias após uma irrigação), quando a  $ET_0$  foi  $5,64 \text{ mm}$ , o que caracteriza maior abertura dos estômatos e, favorece a perda de água pela folha (Figura 1.6 a). Nesse mesmo dia, observou-se condutância estomática de  $0,26 \text{ mol H}_2\text{O/m}^2\text{s}$  nas plantas com irrigação deficitária de 25% ETc ac, redução de 80% em relação ao tratamento de irrigação de 100% da ETc ac. A redução na condutância estomática das plantas que receberam irrigação deficitária de 25% superou em 90% às plantas que receberam irrigação de 100% da ETc ac, aos 69 DAE (um dia após irrigação). Nesse dia a  $ET_0$  foi de  $6,15$

**Tabela 1.3:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: condutância estomática, taxa de transpiração, déficit de pressão de vapor na folha, concentração interna de CO<sub>2</sub> e taxa fotossintética das plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.

DAE	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
Condutância estomática (mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s)							
24	0,0099	0,006 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,0135	16,01	y= 0,7274 mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s	
30	0,0182	0,039 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,0176	16,29	y= 0,8149 mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s	
33	0,0077	0,022 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>	0,0221	12,33	y= 1,2066 mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s	
41	0,3017	0,732 <sup>ns</sup>	0,118 <sup>ns</sup>	0,0406	33,29	y= 0,6056 mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s	
60	0,3128	0,805 <sup>ns</sup>	0,025 <sup>ns</sup>	0,0241	24,43	y= 0,6358 mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s	
66	0,7665	1,653 <sup>ns</sup>	0,504*	0,014	11,79	y= 0,013x+0,191	R <sup>2</sup> = 71,89
69	0,8287	1,73 <sup>ns</sup>	0,472*	0,022	17,01	y= 0,013x+0,04	R <sup>2</sup> = 69,74
Taxa de Transpiração (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )							
24	0,87	1,359 <sup>ns</sup>	0,021 <sup>ns</sup>	0,841	10,72	y= 8,55 mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	
30	1,18	1,494 <sup>ns</sup>	1,562 <sup>ns</sup>	0,333	6,54	y= 8,83 mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	
33	4,48	11,13 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	3,594	14,6	y= 12,98 mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	
41	6,910	16,09*	1,61 <sup>ns</sup>	0,600	12,17	y=0,041x + 3,77	R <sup>2</sup> = 77,65
60	25,12	55,43*	9,77 <sup>ns</sup>	2,000	12,88	y=0,076x + 6,17	R <sup>2</sup> = 73,55
66	25,56	55,2*	15,25 <sup>ns</sup>	0,441	5,71	y=0,076x + 6,84	R <sup>2</sup> = 71,97
69	117,1	244,78*	70,131*	2,819	11,58	y=0,161x + 4,4	R <sup>2</sup> = 69,68
Déficit de pressão de vapor (kPa)							
24	0,031	0,003 <sup>ns</sup>	0,0918 <sup>ns</sup>	0,0207	9,36	y= 1,54 kPa	
30	0,071	0,203 <sup>ns</sup>	0,0114 <sup>ns</sup>	0,0329	11,88	y= 1,52 kPa	
33	0,084	0,218 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>ns</sup>	0,0691	16,23	y= 1,62 kPa	
41	0,102	0,298*	0,008 <sup>ns</sup>	0,012	7,67	y=-0,0056x + 1,8	R <sup>2</sup> = 97,32
60	1,64	3,73*	0,648*	0,051	9,06	y=0,000372x <sup>2</sup> -0,066x + 4,91	R <sup>2</sup> = 88,70
66	1,278	2,34*	1,24*	0,02	7,58	y=0,00051x <sup>2</sup> -0,08x + 4,47	R <sup>2</sup> = 93,76
69	6,29	11,31*	6,22*	0,176	14,27	y=0,0011x <sup>2</sup> -0,17x + 8,71	R <sup>2</sup> = 92,82

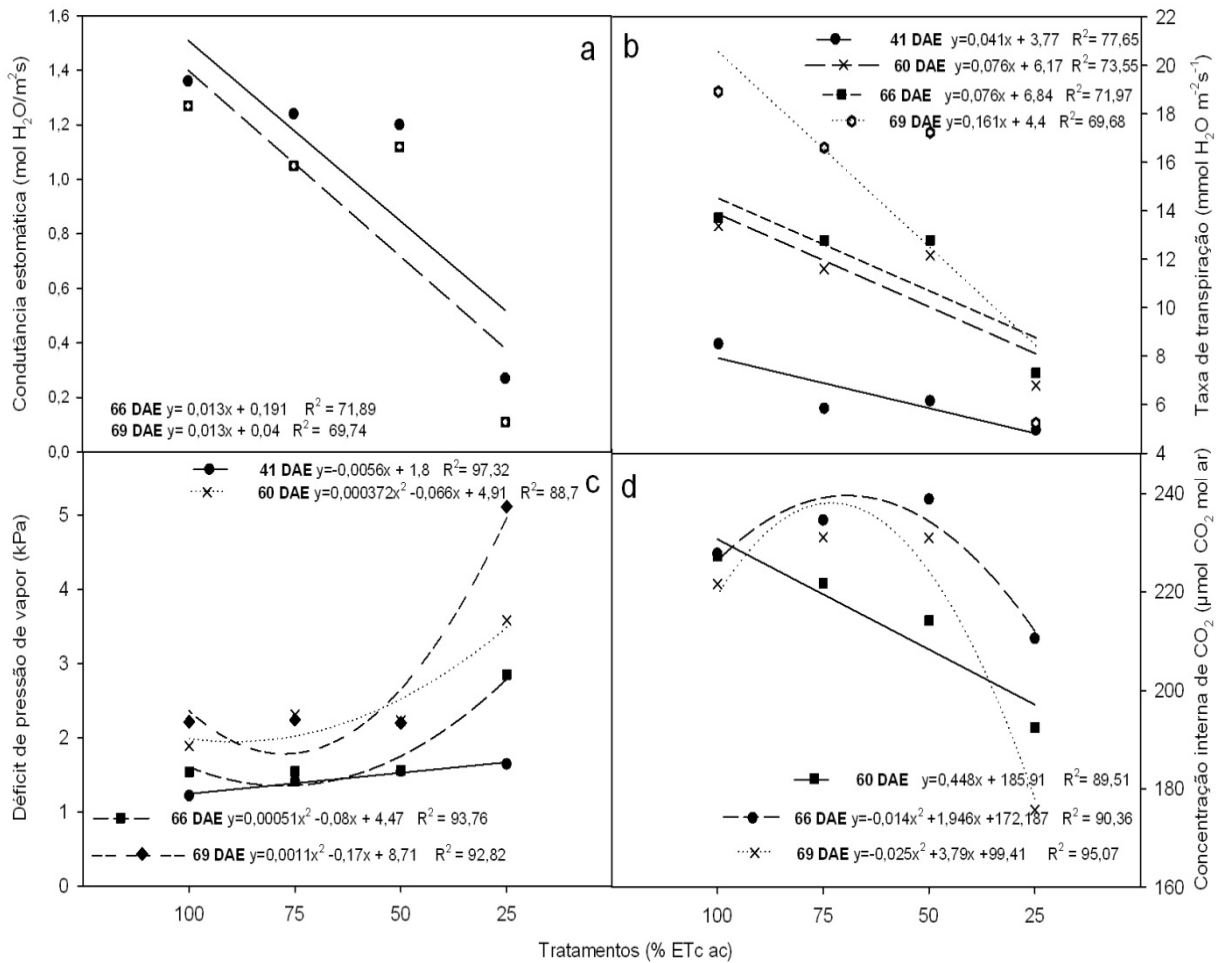
Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

**Tabela 1.3:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: condutância estomática, taxa de transpiração, déficit de pressão de vapor na folha, concentração interna de CO<sub>2</sub> e taxa fotossintética das plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.

Concentração interna de CO <sub>2</sub> (μmol CO <sub>2</sub> mol ar)							
24	12,07	11,98 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	29,27	2,57	y= 210,4 μmol CO <sub>2</sub> mol ar	
30	266,311	662,67 <sup>ns</sup>	135,87 <sup>ns</sup>	127,75	6,17	y= 183,11 μmol CO <sub>2</sub> mol ar	
33	151,981	408,41 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	57,85	3,98	y= 191,28 μmol CO <sub>2</sub> mol ar	
41	187,65	433,73 <sup>ns</sup>	42,7 <sup>ns</sup>	60,18	3,96	y= 195,95 μmol CO <sub>2</sub> mol ar	
60	701,46	1883,7*	199,0 <sup>ns</sup>	93,45	4,52	y=0,448x+185,91	R <sup>2</sup> = 89,51
66	466,3	339,15*	924,88*	16,31	1,77	y=-0,014x <sup>2</sup> + 1,946x + 172,187	R <sup>2</sup> = 90,36
69	2103,94	2848,32*	3152,52*	52,71	3,38	y=-0,025x <sup>2</sup> + 3,79x + 99,41	R <sup>2</sup> = 95,07
Taxa Fotossintética (μmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> s)							
24	0,296	0,0212 <sup>ns</sup>	0,848 <sup>ns</sup>	0,525	5,45	y= 13,3 μmol CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> s	
30	8,274	24,71*	0,095 <sup>ns</sup>	0,776	4,02	y=0,513x + 18,723	R <sup>2</sup> = 99,57
33	12,179	29,35*	0,385 <sup>ns</sup>	2,815	6,84	y=0,055x + 21,016	R <sup>2</sup> = 80,35
41	21,626	52,17*	9,03 <sup>ns</sup>	0,646	5,53	y=0,074x + 9,875	R <sup>2</sup> = 80,42
60	55,213	138,56*	5,044 <sup>ns</sup>	1,118	7,06	y=0,121x + 7,385	R <sup>2</sup> = 83,65
66	52,592	142,04*	13,715 <sup>ns</sup>	0,798	5,76	y=0,123x + 7,826	R <sup>2</sup> = 90,03
69	129,03	284,92*	64,17*	3,328	11,73	y=-0,003x <sup>2</sup> + 0,636x - 6,9	R <sup>2</sup> = 90,18

Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.





**Figura 1.6:** Condutância estomática (1.6 a) aos 66 e 69 dias após emergência (DAE), taxa de transpiração (1.6 b) aos 41, 60, 66 e 69 DAE, déficit de pressão de vapor na folha (1.6 c) aos 66 e 69 DAE e concentração interna de  $\text{CO}_2$  (1.6 d) aos 60, 66 e 69 DAE das plantas de feijão, com manejo de irrigação de 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

mm, o que pode ter contribuído para a maior redução da condutância estomática, em comparação a redução observado aos 66 DAE. LIMA (2008) encontrou valor médio de condutância estomática de  $0,55 \text{ mol H}_2\text{O/m}^2\text{s}$  para plantas de feijão irrigado e, com o aumento do déficit hídrico, o valor foi reduzido para  $0,015 \text{ mol H}_2\text{O/m}^2\text{s}$ , valores inferiores aos encontrados neste trabalho. SOUZA et al. (2004) estudando variações fisiológicas em feijão caupi sob déficit hídrico, observaram comportamento da condutância estomática similar ao deste experimento.

A redução na condutância estomática observada neste experimento também ocorreu devido à elevação no déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (figura 1.6 c) nos dias das avaliações, ou seja, valores elevados desta variável causaram fechamento estomático. Os gradientes de pressão de vapor entre folha e ar representam a força motriz para o fluxo de vapor, conseqüentemente afetando o mecanismo estomático e a transpiração (SEIXAS, 2009).

A taxa de transpiração das plantas de feijão diminuiu linearmente (Figura 1.6 b) no período entre 41 DAE (R5: pré-floração) e 69 DAE (R9: enchimento de vagens), com a redução da irrigação de 100% para 25% da ETc ac. Como a abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, pode haver grande restrição da transpiração quando a deficiência de água na planta é muito elevada. O valor médio da taxa de transpiração durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi de  $11,65 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para as plantas com irrigação de 100% da ETc ac e, nas plantas com irrigação deficitária de 25% da ETc ac, o valor médio da taxa de transpiração foi de  $8,05 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Assim, a taxa de transpiração das plantas de feijão decresceu com utilização da irrigação deficitária. SOUZA et al. (2005), trabalhando com feijão, observaram taxa de transpiração de aproximadamente  $5,00 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para plantas irrigadas, valor inferior ao observado nesse trabalho, porém quando as plantas de feijão foram submetidas à déficit hídrico as reduções na taxa transpiratória das plantas foram similares às encontradas neste trabalho, com valores de taxa de transpiração abaixo de  $1,00 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

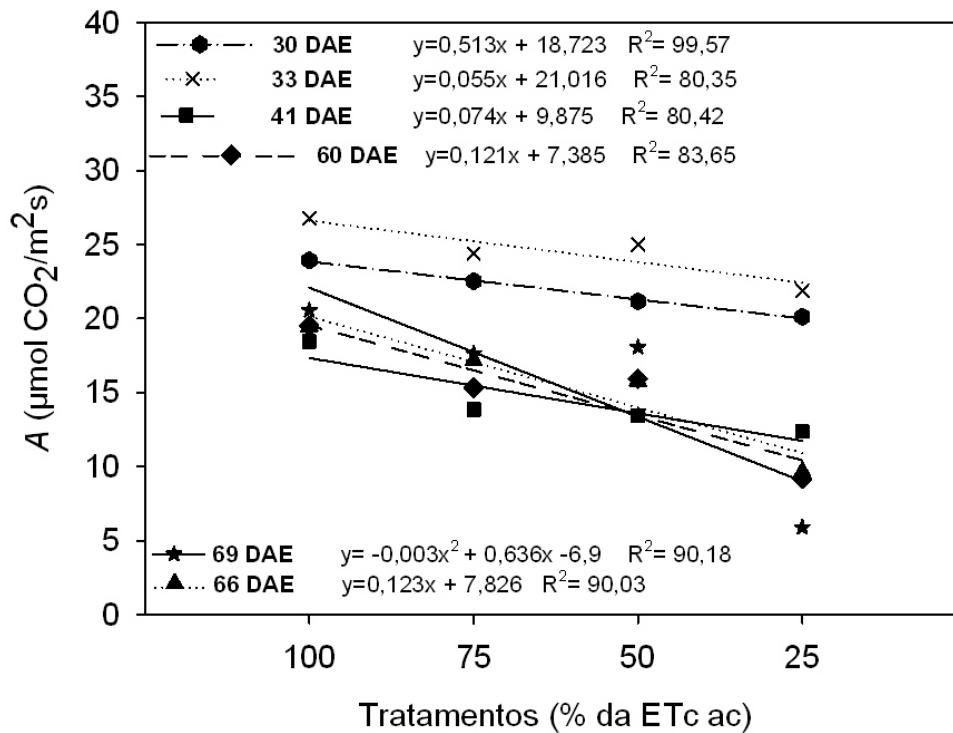
As plantas de feijão que receberam irrigação deficitária de 25% da ETc ac, apresentaram redução de 72% na taxa de transpiração, aos 69 DAE, quando comparadas às plantas que receberam irrigação de 100% da ETc ac. LIMA (2008), avaliando as respostas fisiológicas do feijão submetido à deficiência hídrica, encontrou reduções de até 90% na taxa de transpiração de plantas não irrigadas comparadas às plantas irrigadas, redução superior à encontrada neste trabalho. Essa redução na taxa de transpiração das plantas que receberam

menor quantidade de água ocorreu, pois, a baixa disponibilidade de água no solo observada pela FAD (Figura 1.4), ocasionou o fechamento dos estômatos. O déficit hídrico nas plantas pode ser provocado, de acordo com RITCHIE (1981), por uma deficiência no suprimento de água na zona radicular e por uma excessiva demanda evaporativa da atmosfera. Entretanto, nem sempre o déficit hídrico ocasiona a diminuição da taxa de transpiração, pois o fechamento estomático é uma estratégia utilizada pelas plantas para manter a turgescência.

Com a intensificação do déficit hídrico nas plantas, observado a partir dos 60 DAE, a limitação ao ingresso de  $\text{CO}_2$  na planta (Figura 1.6 d) pode ter sido uma das causas da redução da taxa fotossintética no final do ciclo da cultura. Esses resultados estão de acordo com aqueles encontrados por OLIVEIRA et al. (2002), que afirmaram que o déficit hídrico em plantas causa redução da condutância estomática e taxa de transpiração.

A redução da irrigação de 100% para irrigação deficitária de 25% da  $\text{ETc ac}$ , ocasionou reduções lineares nos valores de taxa fotossintética das plantas de feijão, a partir dos 30 DAE (Figura 1.7). A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação do  $\text{CO}_2$  é um indicador do efeito do déficit hídrico de uma cultura (FAVER et al., 1996). O maior valor de taxa fotossintética foi de  $26,77 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , observado nas plantas com irrigação de 100% da  $\text{ETc ac}$ , e o menor valor observado foi de  $5,9 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$  nas plantas com irrigação deficitária de 25% da  $\text{ETc ac}$  (Figura 1.7). PINTO (2006), estudando as relações hídricas do amendoim, encontrou resultados semelhantes aos deste experimento, verificando que quatro dias de restrição hídrica às plantas causaram reduções na taxa fotossintética. De acordo com LOPES et al. (1988) o déficit hídrico reduz o índice de troca de  $\text{CO}_2$  e a sua condução para a folha, além de reduzir a concentração desse elemento nos espaços intercelulares.

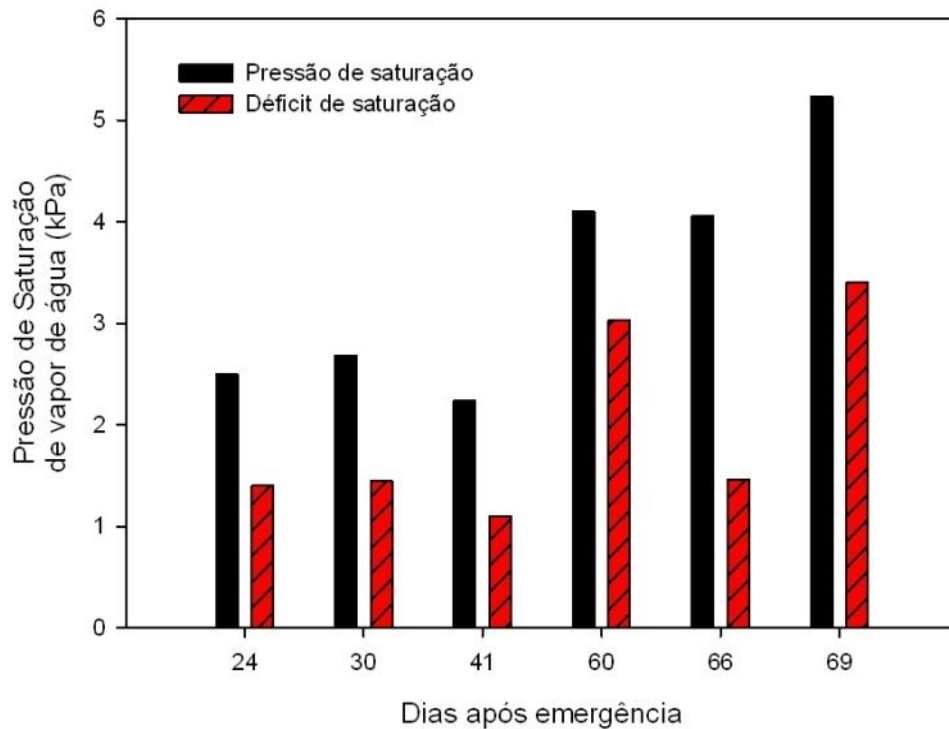
Os resultados obtidos neste experimento estão de acordo com MARIANO et al., (2009) que afirmaram que, a disponibilidade reduzida de água no solo provoca reduções nos



**Figura 1.7:** Taxa fotossintética das plantas de feijão aos 30, 33, 41, 60, 66 e 69 dias após emergência (DAE), com irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

valores de condutância estomática e taxa de transpiração devido ao fechamento estomático, ocorrendo, conseqüentemente, redução na taxa fotossintética. A condutância estomática diminui em resposta a um aumento do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (SCHULZE, 1993, YONG et al., 1997) e, essa redução está relacionada à transpiração, que é limitada pela taxa de água que o sistema radicular pode suprir às folhas (SINCLAIR & ALLEN, 1982). Esses resultados também podem ser correlacionados com a pressão de saturação do vapor d'água do ar, que aumentou a partir dos 60 DAE e, com o déficit de saturação do vapor d'água do ar, que se elevou aos 60 e 69 DAE (Figura 1.8).

A pressão de saturação representa a capacidade de absorção de água do ar, que influencia a demanda evaporativa da atmosfera e, conseqüentemente, os parâmetros fisiológicos das plantas. Portanto, as reduções constatadas nos parâmetros fisiológicos avaliados neste experimento, em função da utilização da irrigação deficitária, podem ser uma



**Figura 1.8:** Pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e Déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) no momento das avaliações. Santa Maria, RS, 2012.

combinação da elevada demanda evaporativa da atmosfera e da disponibilidade reduzida de água no solo.

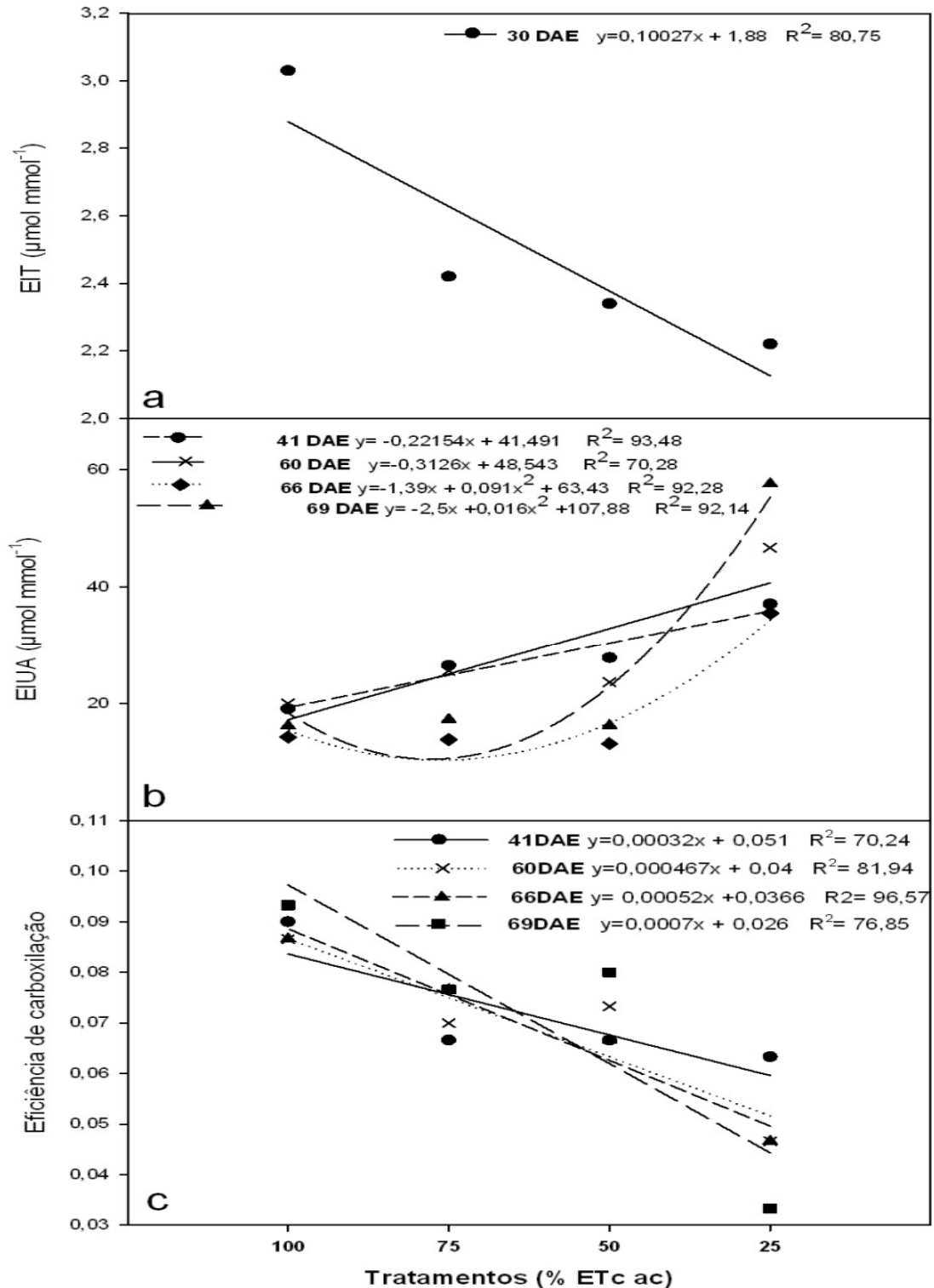
Os resultados da eficiência instantânea de transpiração das plantas foram semelhantes entre os tratamentos (Tabela 1.4), em todas as avaliações, até os 69 DAE, exceto aos 30 DAE (Figura 1.9 a). Os valores de eficiência instantânea de transpiração variaram de 1,05 a 3,03  $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ , esses valores são inferiores aos observados por LIMA (2008), que encontrou valores entre 02 e 4,5  $\mu\text{mol mmol}^{-1}$  em estudos com feijoeiro comum.

A eficiência intrínseca do uso da água das plantas de feijão diferiu significativamente, entre os tratamentos, dos 41 aos 69 DAE (Tabela 1.4). Nestes dias, respectivamente, as plantas com irrigação deficitária de 25% da ETc ac apresentaram EIUA 94% e 255% superiores às plantas que receberam irrigação de 100% da ETc ac (Figura 1.9 b). Resultados semelhantes foram obtidos por LIMA (2008) e sugerem que, quanto menos água disponível as plantas possuem, mais eficientemente elas a utilizam. No decorrer do processo

**Tabela 1.4:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: eficiência instantânea de transpiração, eficiência intrínseca de uso da água e eficiência de carboxilação de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.

DAE	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
Eficiência Instantânea Transpiração (EIT, $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )							
24	0,0352	0,0437 <sup>ns</sup>	0,0225 <sup>ns</sup>	0,0290	10,85	y= 1,57	
30	0,3899	0,942 <sup>*</sup>	0,182 <sup>ns</sup>	0,0445	8,42	y=0,10027x + 1,88	R <sup>2</sup> = 80,75
41	0,0883	0,124 <sup>ns</sup>	0,0184 <sup>ns</sup>	0,0645	10,92	y= 2,32	
60	0,0137	0,0228 <sup>ns</sup>	0,0184 <sup>ns</sup>	0,0319	13,03	y= 1,37	
66	0,0166	0,0252 <sup>ns</sup>	0,0168 <sup>ns</sup>	0,0116	8,1	y= 1,57	
69	0,0018	0,00032 <sup>ns</sup>	0,0048 <sup>ns</sup>	0,0040	5,87	y= 1,57	
Eficiência Intrínseca Uso Água (EIUA, $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )							
24	3,3341	1,66 <sup>ns</sup>	5,79 <sup>ns</sup>	6,9441	14,16	y= 18,6	
30	7,0297	0,05 <sup>ns</sup>	6,75 <sup>ns</sup>	18,4614	15,65	y= 27,44	
41	164,08	460,15 <sup>*</sup>	2,68 <sup>ns</sup>	26,624	18,66	y=-0,22154x + 41,491	R <sup>2</sup> = 93,48
60	434,53	916,11 <sup>*</sup>	230,82 <sup>ns</sup>	47,759	23,83	y=-0,3126x + 48,5433	R <sup>2</sup> = 70,28
66	355,37	595,16 <sup>*</sup>	388,62 <sup>*</sup>	2,9592	8,95	y=-1,39x + 0,091x <sup>2</sup> + 63,43	R <sup>2</sup> = 92,28
69	1260,84	2272,79 <sup>*</sup>	1212,43 <sup>*</sup>	23,089	17,89	y= -2,5x + 0,016x <sup>2</sup> + 107, 88	R <sup>2</sup> = 92,14
Eficiência de Carboxilação							
24	0,000011	0,00 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	0,000017	6,62	y= 0,061	
30	0,000067	0,000167 <sup>ns</sup>	0,00003 <sup>ns</sup>	0,000050	5,89	y= 0,12	
41	0,000456	0,00096 <sup>*</sup>	0,0003 <sup>*</sup>	0,000025	6,98	y=0,00032x + 0,051	R <sup>2</sup> = 70,24
60	0,000831	0,002 <sup>*</sup>	0,000075 <sup>ns</sup>	0,000050	10,22	y=0,000467x + 0,04	R <sup>2</sup> = 81,94
66	0,000875	0,0025 <sup>*</sup>	0,000075 <sup>ns</sup>	0,000033	8,35	y= 0,00052x + 0,0366	R <sup>2</sup> = 96,57
69	0,002031	0,0046 <sup>*</sup>	0,00067 <sup>ns</sup>	0,000075	12,23	y=0,0007x + 0,026	R <sup>2</sup> = 76,85

Onde: <sup>\*</sup> Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.



**Figura 1.9:** EIT: Eficiência Instantânea Transpiração (1.9 a) aos 30 dias após emergência (DAE); EIUA: Eficiência Intrínseca Uso Água aos 41, 60, 66 e 69 DAE (1.9 b); Eficiência de Carboxilação das plantas de feijão aos 41, 60, 66 e 69 DAE (1.9 c), com irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

fotossintético, as plantas que receberam maior lâmina de irrigação, fixaram menor quantidade de carbono para cada unidade de água transpirada. Segundo CHAVES et al. (2003), muitas plantas tendem a apresentar aumentos na EUA quando o déficit hídrico é moderado. Esse aumento é resultado da relação não-linear entre a assimilação do carbono e a condutância estomática, isto é, a perda de água acontecendo antes e mais intensamente do que a inibição da fotossíntese. As plantas que receberam irrigação deficitária de 25% da  $ET_c$  ac apresentaram valores médios de eficiência de carboxilação 26,3% e 64,5% inferiores às plantas que receberam lâmina de irrigação de 100% da  $ET_c$  ac, dos 41 até 69 DAE ou seja, o aumento da eficiência intrínseca do uso da água diminuiu a eficiência de carboxilação das plantas de feijão (Figura 1.9 c).

O índice de área foliar do feijoeiro não apresentou diferença estatística, entre os tratamentos, durante o período vegetativo (até 35 DAE), conforme Tabela 1.5. Este resultado é explicado pelo fato de que até 26 DAE (estádio V4), todas as parcelas receberam a mesma lâmina de irrigação. Da mesma maneira, relaciona-se o resultado do índice de área foliar com o lento desenvolvimento inicial do feijoeiro, pois, a partir dos 30 DAE é que foi observado um crescimento mais intenso, atingindo o máximo índice de área foliar entre 55-70 DAE. A redução da irrigação de 100% para 25% da  $ET_c$  ac, reduziu linearmente o índice de área foliar das plantas do feijoeiro, do estágio de pré-floração (40 DAE), até o final do ciclo da cultura (Figura 1.10).

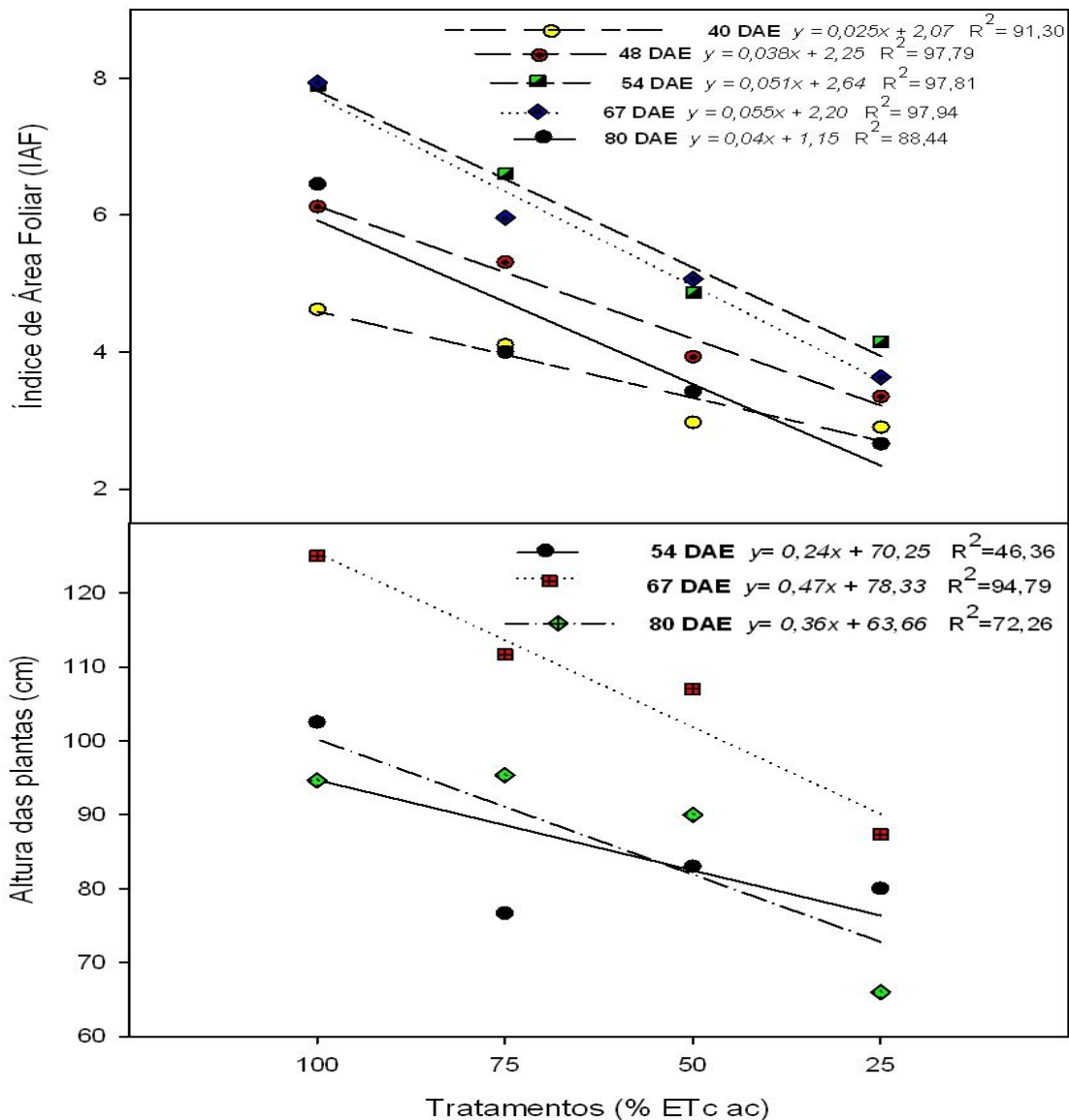
O índice de área foliar máximo das plantas com irrigação de 25% da  $ET_c$  ac foi 4,15 aos 54 DAE. Este valor foi 47,4% inferior ao índice de área foliar (7,89) das plantas com irrigação de 100% da  $ET_c$  ac. Para PAVANI et al. (2009), os maiores valores de índice de área foliar ocorreram entre 66 e 69 DAE, período de enchimento de grãos. A redução no índice de área foliar observada neste trabalho, pode ser resultado de uma limitação da alongação e da divisão celular, que ocorre nas plantas em condições de déficit



**Tabela 1.5:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: índice de área foliar e altura de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.

<b>Índice de Área Foliar (IAF)</b>							
DAE	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
16	0,005	0,0003 <sup>ns</sup>	0,014 <sup>ns</sup>	0,002	16,61	y= 0,31	
26	0,087	0,081 <sup>ns</sup>	0,143 <sup>ns</sup>	0,054	22,79	y= 1,02	
31	0,209	0,574 <sup>ns</sup>	0,031 <sup>ns</sup>	0,111	19,63	y= 2,61	
35	0,879	2,013 <sup>ns</sup>	0,088 <sup>ns</sup>	0,269	19,87	y= 3,64	
40	2,166	5,930*	0,147 <sup>ns</sup>	0,311	15,30	y=0,025x+2,07	R <sup>2</sup> = 91,30
48	4,810	14,110*	0,038 <sup>ns</sup>	0,228	10,21	y=0,038x+2,25	R <sup>2</sup> = 97,79
54	8,541	25,060*	0,246 <sup>ns</sup>	0,363	10,26	y=0,051x+2,64	R <sup>2</sup> = 97,81
67	9,726	28,579*	0,205 <sup>ns</sup>	0,545	13,07	y=0,055x+2,20	R <sup>2</sup> = 97,94
80	8,060	21,380*	2,167 <sup>ns</sup>	0,610	18,90	y=0,04x+1,15	R <sup>2</sup> = 88,44
<b>Altura de plantas (cm)</b>							
DAE	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
16	0,71	1,32 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	1,64	14,97	y= 8,57	
26	0,11	0,03 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	3,22	15,45	y= 11,6	
31	13,31	31,97 <sup>ns</sup>	7,36 <sup>ns</sup>	14,97	18,72	y= 20,67	
35	28,49	52,73 <sup>ns</sup>	32,50 <sup>ns</sup>	32,49	18,91	y= 30,14	
40	55,47	0,15 <sup>ns</sup>	147,00 <sup>ns</sup>	40,42	14,93	y= 42,58	
54	403,52	561,20*	391,02 <sup>ns</sup>	70,89	9,84	y=0,24x+70,25	R <sup>2</sup> = 46,36
67	730,30	2076,81*	30,08 <sup>ns</sup>	36,41	5,60	y=0,47x+78,33	R <sup>2</sup> = 94,79
80	577,22	1251,26*	456,33 <sup>ns</sup>	91,91	11,08	y=0,36x+63,66	R <sup>2</sup> = 72,26

Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.



**Figura 1.10:** Índice de área foliar (IAF) aos 40, 48, 54, 67 e 80 dias após emergência (DAE) e altura das plantas de feijão aos 54, 67 e 80 DAE, com lâminas de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

hídrico (FANCELLI & DOURADO NETO, 2005), implicando em menor crescimento da área foliar. Trabalhos com avaliação do crescimento e desenvolvimento do feijão caupi, realizados por BASTOS et al. (2002), sob diferentes lâminas de irrigação também indicaram redução da área foliar da cultura à medida que se intensificou o déficit hídrico. A redução da área foliar ocorre, pois o crescimento das plantas é afetado pela disponibilidade de água no solo e, a extensibilidade dos tecidos decresce quando estes são expostos às condições limitadas de

disponibilidade hídrica, (NEUMANN, 1995). A altura das plantas não diferiu, entre os tratamentos, até o estágio de pré-floração (40 DAE), de acordo com os resultados do quadrado médio da análise de variância (Tabela 1.5) Resultados semelhantes foram relatados por CARLESSO et al. (2007), que trabalhando com feijoeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação, não encontraram diferenças na altura das plantas até 42 DAE. Nos estádios de formação (R7) e enchimento das vagens (R8), entre 54 e 80 DAE, a altura das plantas aumentou linearmente com o incremento das lâminas de irrigação de 25% para 100% da ETc ac.

A maior altura das plantas do feijoeiro foi observada aos 67 DAE (Figura 1.10). Neste dia, as plantas que receberam lâmina de irrigação de 100% da ETc ac apresentaram altura média de 125 cm e, as plantas submetidas irrigação deficitária de 25% da ETc ac apresentaram uma altura de 87,5 cm, ou seja uma redução de 30% na altura das plantas. Segundo FREIRE FILHO et al. (2005), as plantas com hábito de crescimento indeterminado, como o feijão utilizado neste experimento, apresentam desenvolvimento vegetativo contínuo, numa sucessão de nós e entrenós. Por isso, a maior altura de plantas ocorreu após o estágio de floração.

O rendimento de grãos diferiu estatisticamente (Tabela 1.6), entre os tratamentos. O rendimento de grãos aumentou linearmente ( $y=24,77x+1001,4$ ), com o incremento da lâmina de água na irrigação, assim, o maior rendimento de grãos ( $3.417,01 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi obtido no tratamento com lâmina de irrigação de 100% da ETc ac. SANTANA et al. (2008) em experimento semelhante, também verificaram que houve um aumento na produtividade do feijoeiro em função da maior lâmina de irrigação aplicada, atingindo o máximo ( $3.377,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) com o volume correspondente a 100% de água consumida e, lâminas de reposição menores ou maiores ocasionaram perdas de produtividade. Para as plantas que receberam

**Tabela 1.6:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis: rendimento de grãos, massa de 100 grãos e número de vagens por de feijão. Santa Maria, RS, 2012.

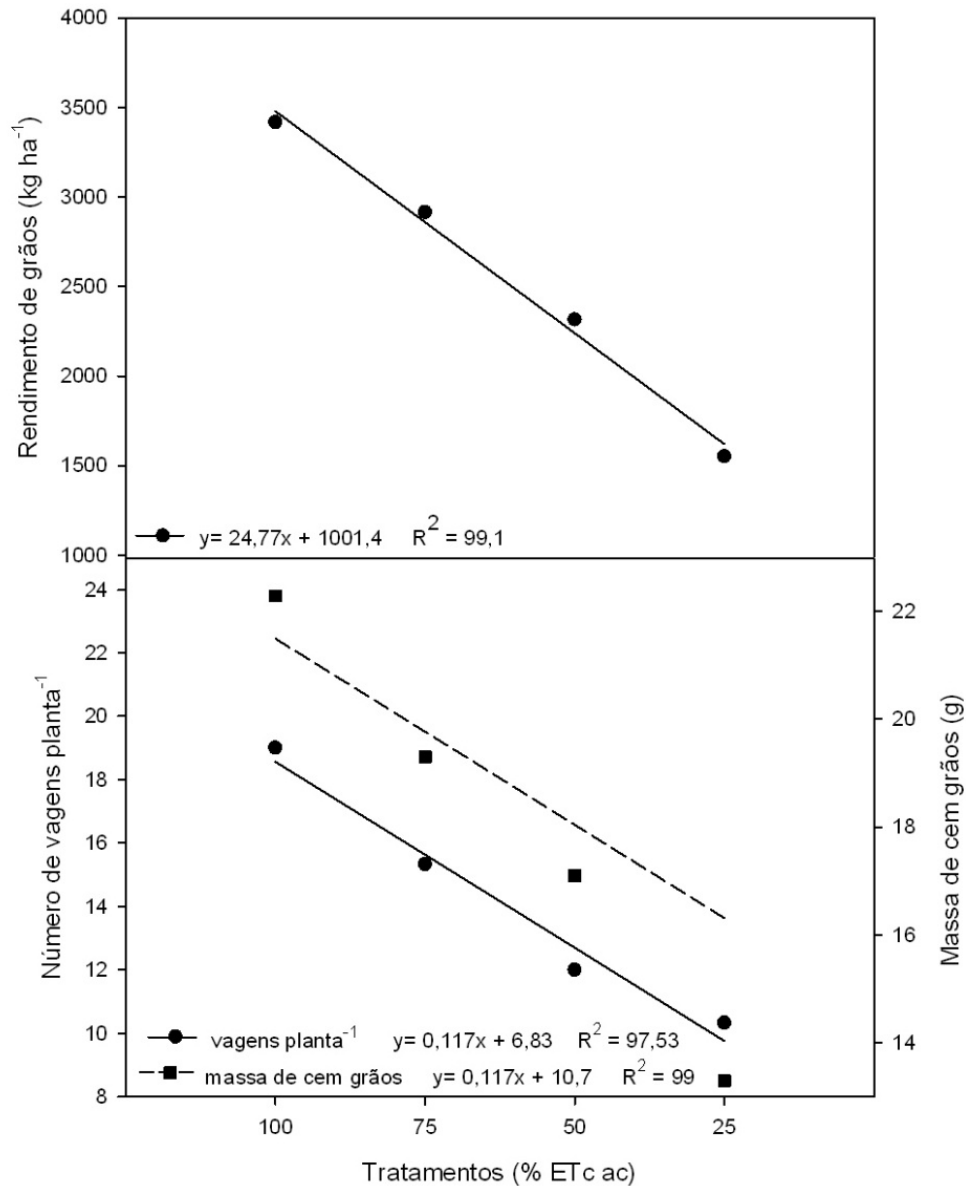
	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
<b>Rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	5807362,87	17265390*	154624,5 <sup>ns</sup>	92117,7	11,90	y=24,77x+1001,4	R <sup>2</sup> =99,1
<b>Massa de cem grãos (g)</b>	43,51	129,36*	0,44 <sup>ns</sup>	0,872	5,18	y=0,117x+10,7	R <sup>2</sup> =99,0
<b>Número de vagens por planta</b>	44,11	129,06*	3,00 <sup>ns</sup>	0,26	3,16	y=0,117x+6,83	R <sup>2</sup> =97,53
<b>UA (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)</b>	22,11	65,75*	0,60 <sup>ns</sup>	3,21	16,64	y=-0,048x+13,79	R <sup>2</sup> =99,09

Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da ETc ac, as reduções de rendimento de grãos foram, respectivamente, 14,68, 32,22 e 54,58%, em comparação ao tratamento que recebeu lâmina de irrigação de 100% da ETc ac. CARVALHO et al. (2000), avaliando o efeito do déficit hídrico nos subperíodos de desenvolvimento da cultura sobre o rendimento do feijão caupi, evidenciaram redução média de 35% na produção de grãos com reposição de água de 80% da água evapotranspirada quando o déficit ocorreu no crescimento vegetativo, enquanto na etapa de frutificação a queda da produção variou de 73% a 32%, para reposições de água de 20 e de 80%, respectivamente.

O resultado da análise de variância (Tabela 1.6) indicou que o número de vagens por planta e a massa de 100 grãos foram influenciadas pelo manejo de irrigação. O aumento da lâmina de irrigação de 25% para 100% da ETc ac aumentou linearmente os componentes de rendimento (Figura 1.11) Resultados semelhantes também foram obtidos em estudos conduzidos por PEREIRA et al. (2004), que observaram que, o manejo da lâmina de irrigação influenciou o número de vagens por planta e massa de 100 grãos, destacando que a maior aplicação de água proporcionou o maior número de vagens por planta e a maior produtividade. ACOSTA-GALLEGOS & SHIBATA (1989), em trabalho semelhante a este, também encontraram redução dos componentes do rendimento, número de vagens por planta, e massa de 1.000 grãos, quando o feijão foi submetido a déficit hídrico. A redução da produção foi maior (46%) quando o déficit foi aplicado na fase reprodutiva, tendo isso sido atribuído a decréscimos da área foliar e do número de legumes por planta, o que confirma que os dados obtidos neste trabalho estão de acordo com a literatura.

Os valores de eficiência de uso da água apresentaram redução linear ( $y = -0,048x + 13,79$ ) com o incremento da lâmina de irrigação de 25% para 100% da ETC ac (Tabela 1.6). Na irrigação deficitária, o objetivo é maximizar a produção por unidade de volume de água aplicada (eficiência de uso da água). Isso comprova que, quanto menos água



**Figura 1.11:** Rendimento de grãos, número de vagens por planta e massa de cem grãos de feijão, para os tratamentos de irrigação deficitária, com lâminas de irrigação de 25, 50 e 75% da evapotranspiração da cultura acumulada e tratamento de reposição de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, 2012.

as plantas recebem, mais eficientemente elas a utilizam.

O valor médio da eficiência de uso da água ( $10,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) encontrado neste trabalho, está acima dos valores encontrados por PEREIRA et al. (2002), na ordem de  $8,04 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . A máxima lucratividade (R\$ 3.756,14/ha) foi observada no tratamento com lâmina de água aplicada de 100% da ETc ac e a menor lucratividade no tratamento com irrigação deficitária de 25% da ETc ac, uma diferença de R\$ 1.983,30 (Tabela 1.7).

**Tabela 1.7:** Resultados da lucratividade do feijoeiro com diferentes lâminas de irrigação deficitária em função do custo da irrigação e valor da produção. Santa Maria, RS, 2012.

<b>Trat</b> <b>(% ETc ac)</b>	<b>Lâmina</b> <b>aplicada</b> <b>(mm)</b>	<b>Rend.</b> <b>grãos</b> <b>(Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Custo irrigação</b> <b>(C)</b> <b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>	<b>Valor produção</b> <b>(V)</b> <b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>	<b>Lucratividade</b> <b>V-C</b> <b>R\$ ha<sup>-1</sup></b>
25	122	1.551,98	167,14	1939,97	1.772,84
50	206	2.316,04	282,22	2.895,05	2.612,83
75	290	2.915,10	397,3	3.643,87	3.246,57
100	376	3.417,01	515,12	4.271,26	3.756,14

## 2.6 CONCLUSÕES

A utilização da irrigação deficitária de 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac) sobre a cultura do feijoeiro diminuiu em 58,73 mm o armazenamento de água no perfil do solo na profundidade de 0-55 cm. A maior perda de água acumulada no solo, 205,3 mm, foi observada no tratamento de irrigação de 100% da ETc ac. As relações hídricas e trocas gasosas: condutância estomática, taxa de transpiração, déficit de pressão de vapor, taxa fotossintética e concentração interna de CO<sub>2</sub> das plantas do feijoeiro foram influenciadas pela fração de água disponível no solo. A redução da lâmina de irrigação de 100% para 25% da evapotranspiração da cultura acumulada aumentou a resistência à difusão gasosa nas plantas de feijão e diminuiu a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, determinando uma menor perda de água por transpiração, além de diminuir linearmente a taxa de fotossíntese. A irrigação deficitária causou diminuição na taxa fotossintética das plantas do feijoeiro, resultando em uma menor produção de fotossintatos e com conseqüente menor produtividade.

A irrigação deficitária não influenciou a eficiência instantânea de transpiração e aumentou a eficiência intrínseca de uso da água pelas plantas de feijão, indicando um ajuste das relações hídricas nas plantas, quando a disponibilidade de água é um fator limitante. A aplicação de irrigação deficitária diminuiu a eficiência de carboxilação pelas plantas do feijoeiro, pela redução na taxa fotossintética, resultando em redução do índice de área foliar e a altura das plantas ao final do ciclo da cultura.

O rendimento do feijoeiro, submetido à irrigação deficitária apresentou uma resposta linear ( $y=24,77x+1001,4$ ). O maior rendimento de grãos observado foi  $3.417,01 \text{ kg ha}^{-1}$  para as plantas que receberam lâmina de reposição de 100% da água evapotranspirada. Para as plantas que receberam lâminas de irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da ETc ac, as reduções de rendimento de grãos foram 14,69, 32,23 e 54,59%, em comparação ao maior rendimento, respectivamente.

A eficiência do uso da água foi elevada ( $10,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), principalmente, para os tratamentos de irrigação deficitária, atingindo o seu objetivo de maximizar a produção por unidade de volume de água aplicada na irrigação.



# 3 RELAÇÕES HÍDRICAS E FISIOLÓGICAS EM PLANTAS DE FEIJÃO SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

## 3.1 RESUMO

A produção agrícola, tanto em sistemas irrigados quanto de sequeiro, expõe as plantas a diferentes condições de umidade, temperatura do ar e radiação solar. Essas condições do microambiente resultam em variações dos parâmetros fisiológicos das plantas do feijoeiro. Entre os fatores que mais influenciam nestes parâmetros estão a disponibilidade de água no solo e o déficit de pressão de vapor d'água na atmosfera. As plantas apresentam alguns mecanismos de defesa contra as variações ambientais, como o controle estomático que as permitem manterem-se túrgidas, garantindo a produção, quando submetidas ao déficit hídrico. A resposta das plantas à irrigação deficitária depende do nível de déficit hídrico que é imposto à cultura, da sua resistência à perda de água e da duração do déficit. Quanto menor a quantidade de água no solo, mais negativo deve ser o potencial hídrico foliar desenvolvido pelos vegetais, formando um gradiente que favoreça a absorção de água pelas plantas. Assim, realizou-se um estudo com o objetivo de avaliar as relações hídricas e fisiológicas das plantas de feijão, ao longo de um dia típico, com sol e sem nuvens. Os tratamentos foram constituídos de diferentes níveis de irrigação: irrigação com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac), e três tratamentos de irrigação deficitária: reposição de 75%, 50% e 25% da ETc ac. O experimento foi desenvolvido no departamento de Eng. Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no interior de uma cobertura móvel (*Rainout Shelter*), estruturada sobre trilhos metálicos com movimentação mecânica, a qual era acionada somente na ocorrência de precipitação pluvial. Dessa forma não houve interferência da precipitação pluvial nos tratamentos. As seguintes relações hídricas e fisiológicas foram avaliadas: taxa fotossintética, condutância estomática, temperatura foliar e potencial hídrico foliar. A taxa fotossintética das plantas de feijão reduziu linearmente com a redução da irrigação de 100% para irrigação deficitária de 25% da evapotranspiração da cultura acumulada. Os valores mais elevados de taxa fotossintética foram observadas às 13:30 horas e às 16:30 horas observaram-se os valores mais baixos. A condutância estomática das plantas de feijão reduziu com a utilização da irrigação deficitária de 100 para 25% da evapotranspiração da cultura acumulada. Os valores mais elevados de condutância estomática foram observadas na avaliação realizada às 10:30 horas. As plantas de feijão com irrigação deficitária de 25% da evapotranspiração da cultura acumulada apresentaram temperaturas foliares em média 2,9°C maior que as plantas com irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada. Os valores máximos de temperatura foliar das plantas do feijoeiro foram observadas às 13:30 horas para todos os tratamentos. O potencial hídrico foliar médio das plantas de feijão com irrigação deficitária foi de -3,28 MPa.

**Palavras-chave:** condutância estomática, déficit hídrico, potencial hídrico foliar, taxa fotossintética

## 3.2 ABSTRACT

Agricultural crops, both in irrigated crops and dry lands, exposes plants to different relative humidity, air temperature and solar irradiance. This microenvironmental conditions results in physiological parameters variations of bean plants. Among the factors that most

influence these parameters, the soil water availability and pressure of water vapor deficit in the atmosphere are noteworthy. Plants have some defense mechanisms against environmental variations, such as stomatal control, allowing them to remain turgid, ensuring the productivity in places where water deficit occurs. Thus, the objective of this research was to evaluate leaf water and physiological relations of dry bean plants submitted to different levels of deficit irrigation (a replacement treatment of 100% of accumulated crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub> ac), and three treatments of deficit irrigation of 75%, 50% and 25% of the ET<sub>c</sub> ac) over one day. The experiment was conducted at the UFSM, under a mobile greenhouse, which was only closed when it was raining. In this way, there was no rain interference affecting the treatments. The following leaf water and physiological relations were evaluated: photosynthesis rate (A), stomatal conductance (g<sub>s</sub>), leaf temperature and leaf water potential. The photosynthesis rate of dry bean plants decreased linearly with decreasing irrigation from 100% to 25% to the irrigation depth applied. The highest values of photosynthesis rate were observed at 13:30 hours and at 16:30 hours were observed the lowest values. Stomatal conductance of dry bean plants reduced when irrigation deficit of 25% of ET<sub>c</sub> ac was used. The highest values of stomatal conductance were observed in the evaluation held at 10:30 hours. The dry bean plants with irrigation deficit of 25% of ET<sub>c</sub> ac leaf temperatures were on average 2,9<sup>0</sup>C higher than that with irrigation of 100% of ET<sub>c</sub> ac. The maximum leaf temperatures of dry bean plants were observed at 13:30 hours for all treatments. The average leaf water potential increased leaf temperature of dry bean plants. Reductions were found in water leaf potential of dry bean plants with deficit irrigation was -3,28 MPa.

**Key words:** stomatal conductance, water deficit, water leaf potential, photosynthesis rate, transpiration

### 3.3 INTRODUÇÃO

No Brasil, tanto em sistemas irrigados quanto em sistemas de plantio em sequeiro, as culturas são submetidas a diferentes condições ambientais, com diferentes níveis de umidade e temperatura do ar, radiação solar e condições hídricas do solo, afetando o crescimento e desenvolvimento, a produção da cultura e a qualidade do produto final (FANCELLI & DOURADO NETO, 2005). A adaptação das plantas aos diferentes ambientes ou condições de déficit hídrico é um constante desafio da agricultura, fato que torna necessário entender o seu comportamento em ambientes contrastantes e a possível inter-relação entre eles (LIZANA et al., 2006).

O feijão é uma cultura de ciclo curto e sensível às variações das condições ambientais. A adaptação ao déficit hídrico decorre, dentre outros fatores, da manutenção de boa condição hídrica nos tecidos das plantas (KRAMER & BOYER, 1995), avaliada pelo potencial da água na planta, pela resistência difusiva estomática e pela temperatura do dossel

(PIMENTEL & PEREZ, 2000). Assim, o microambiente determina as variações fisiológicas das plantas do feijoeiro e, muitos dos sintomas visuais de deficiência hídrica são conseqüências de alterações nas respostas fisiológicas da planta. A capacidade das plantas se manterem túrgidas é uma característica necessária para a garantia de sua sobrevivência, em locais onde ocorre déficit hídrico.

A água está entre os fatores indispensáveis para a produção agrícola, exigindo assim, a máxima atenção com seu uso, pois, a sua falta ou excesso afetam significativamente o rendimento das culturas, sendo importante o correto manejo para maximizar a produção (MORAIS et al., 2008). Outros aspectos importantes para a avaliação da planta sob diferentes disponibilidades de água no solo estão relacionados à sensibilidade estomática, às trocas gasosas, à capacidade de manter alto teor hídrico na folha e suportar a desidratação imposta pelo ambiente adverso. Quando a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte, o potencial hídrico da folha diminui, ocasionando o fechamento dos estômatos com influência na sua taxa fotossintética. Embora haja variação ao longo do dia, mesmo em plantas irrigadas, o potencial hídrico da folha descreve o estado hídrico da planta e tem sido utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais. Quanto menor a quantidade de água no solo, mais negativo deve ser o potencial desenvolvido pelos vegetais, formando um gradiente que favoreça a absorção de água pelas plantas.

As análises dos parâmetros fisiológicos, como condutância estomática, potencial hídrico da folha e assimilação de CO<sub>2</sub> são sugeridas por DAVIES & ALBRIGO (1994) para melhorar a compreensão dos fatores que limitam a produtividade das culturas. Com relação à influência da água sobre os processos de abertura e fechamento dos estômatos, CASTRO NETO (2003) relata que a resistência estomática, que reflete as condições hídricas das plantas, está diretamente relacionada com a disponibilidade de água no solo, sendo o déficit hídrico um dos fatores que limitam a abertura dos estômatos. Como os estômatos constituem

a principal via de troca gasosa entre as folhas e o meio externo, o aumento na resistência difusiva estomática pode ocasionar redução na fotossíntese líquida (AMARAL et al., 2006).

A transpiração das plantas é reduzida quando o solo perde água e, em resposta ao déficit hídrico, as plantas reduzem o fluxo de vapor d'água do interior da câmara subestomática para a atmosfera, causando redução na taxa de transpiração (THOMAS et al., 2000). Portanto, os estômatos atuam como moduladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar (LARCHER, 2000).

A resposta das plantas à irrigação deficitária depende do nível de déficit hídrico que é imposto à cultura, da sua resistência à perda de água e da duração do déficit. Portanto, a baixa disponibilidade de água no solo ocasionada pela irrigação deficitária pode reduzir a fixação de carbono na folha em razão do fechamento estomático, mesmo com a utilização de um déficit hídrico moderado, o que resultaria em uma menor produção de fotoassimilados e conseqüente menor produção de grãos. Segundo NOGUEIRA et al. (2001), o ideal é avaliar-se mais de uma variável, tais como potencial hídrico, condutância estomática, temperatura e transpiração foliar, considerados importantes para avaliar as respostas das espécies vegetais ao déficit hídrico. Desta maneira, merece atenção o estudo dos seguintes parâmetros fisiológicos quando se utiliza a irrigação deficitária: redução na condutância estomática e taxa de transpiração, redução no potencial hídrico foliar e elevação da temperatura foliar. Contudo, estas variáveis são simultaneamente afetadas por diversos fatores ambientais (temperatura do ar, déficit de pressão do vapor d'água na atmosfera, concentração de CO<sub>2</sub> e potencial da água no solo), destacando-se os estudos em condições de déficit hídrico no campo. De acordo com COMSTOCK (2002), a aplicação desses conhecimentos na prática pode resultar em diminuição significativa da utilização de água na irrigação, pois a transpiração consome mais

de 95% da água absorvida pela planta, ficando o restante para o crescimento vegetativo e a produção de frutos.

A dinâmica da água no solo é influenciada por características como textura, porosidade, teor de argila e matéria orgânica, que determinam a retenção no perfil por adsorção e capilaridade, definindo o estado energético da água e, também, por fatores externos, como precipitação pluvial, radiação solar, temperatura, evapotranspiração da cultura, índice de área foliar, densidade de plantas e sistema de manejo do solo (MARTORANO et al. 2009). Portanto, os valores médios de potencial hídrico, indicados para as culturas, dependem do tipo de solo e do tipo de vegetação, podendo ser ainda menores devido à adaptação das plantas em relação ao déficit hídrico (LARCHER, 2000). HSIAO (1973) relatou que, assim que o potencial de água do solo permanece acima de um valor crítico, que depende de cada espécie vegetal, o balanço hídrico interno da planta é afetado apenas pelas variáveis atmosféricas. Em geral, esses estudos demonstram grandes flutuações diárias, com reduções do potencial hídrico foliar e da turgescência durante a manhã, com posterior aumento após as 14 horas (GARRIDO, 1998).

À medida que o potencial hídrico foliar decresce, a atividade fotossintética diminui, podendo este efeito estar relacionado, em parte, à redução da condutância estomática e, ao aumento da temperatura das folhas (LARCHER, 2000). Conforme MEDINA et al. (1999), a redução no potencial hídrico foliar ocorre mesmo quando a umidade do solo está próxima da capacidade de campo, durante o verão, nos momentos em que as plantas são submetidas a certo grau de déficit hídrico. A ação combinada dos vários mecanismos reguladores do estado hídrico das plantas provoca mudanças na abertura estomática, de forma diferente, ao longo do dia e da noite. Existe tendência de o balanço hídrico se tornar gradualmente negativo ao longo do dia e, de maneira inversa, durante a noite; se houver água no solo, o balanço hídrico é restaurado para valores próximos de zero (SIMÕES, 2007). Na ocorrência de deficit hídrico

no solo, o conteúdo hídrico foliar não é totalmente restabelecido durante a noite, de modo que o déficit se acumula com o passar dos dias até que a água necessária seja reposta (LARCHER, 1995).

Quando o déficit de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar, podendo chegar a níveis prejudiciais ao metabolismo da planta (TAIZ & ZEIGER, 2004) e a temperatura foliar pode subir 4 a 5°C acima da temperatura ambiente (MAGGIOTTO, 1996). Assim, o aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicativo de déficit hídrico no solo, uma vez que este sinaliza o fechamento dos estômatos, como uma tentativa da planta de evitar maiores perdas de água por transpiração (CAIRO, 1995; STEPPUHN, 2001). As diferenças de temperatura entre a atmosfera e as superfícies foliares segundo TÁVORA & MELO (1991), são semelhantes às diferenças na resistência estomática, constituindo, assim, um excelente parâmetro para aferição indireta das condições hídricas da planta. Em razão dessa interação, o estresse hídrico e o térmico das plantas são diretamente relacionados. Temperaturas foliares altas podem provocar diminuição na taxa fotossintética, redução na atividade enzimática e até a desnaturação de enzimas (HALE; ORCUTT, 1987). Outro fator que pode ser inibido pela elevação da temperatura foliar é a respiração. Entretanto, conforme MAGGIOTTO (1996), o aumento da temperatura afeta mais rapidamente a taxa fotossintética que a taxa respiratória.

Considerando a inter-relação dos parâmetros fisiológicos das plantas com o ambiente e o solo, o objetivo do trabalho foi avaliar as variações nas relações hídricas do feijoeiro através das variáveis: condutância estomática, taxa fotossintética, temperatura foliar e potencial hídrico foliar, em diferentes horas de um dia típico, de céu claro e sem nuvens, quando submetidas a níveis de irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da ET<sub>c</sub> ac e com irrigação de reposição de 100% da ET<sub>c</sub> ac. O conhecimento do comportamento destas variáveis sob

diferentes níveis de irrigação deficitária possibilitará maior exatidão no fornecimento de água para a cultura do feijoeiro.

### **3.4 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, no ano agrícola 2010/2011. A descrição detalhada com as características do local e condução do experimento, das unidades experimentais e dos tratamentos é descrita no item 2.4 do artigo I da dissertação.

As avaliações de taxa fotossintética, condutância estomática e temperatura foram realizadas às 10:30, 13:30 e 16:30 horas aos 60 DAE (dois dias após uma irrigação) e 69 DAE (um dia após uma irrigação), dias típicos de céu claro e sem nuvens, em folhas completamente expandidas e expostas ao sol. Estas variáveis foram medidas com o equipamento portátil IRGA (Infra Red Gas Analyser), um porômetro de estado estacionário (LI-COR 6400 XT). Para calibração do equipamento fixou-se a relação de estômatos da folha de feijão em 0,3.

O potencial hídrico foliar foi medido em laboratório, utilizando o equipamento WP4 (Dewpoint Potential Meter – Decagon Devices). Este equipamento realiza leituras rápidas do potencial de água de uma amostra, a partir do equilíbrio entre a fase de vapor da água e a fase líquida presente na amostra, dentro da câmara de leitura do aparelho. A pressão do vapor do ar na câmara é considerada como a pressão do vapor do ar saturado na temperatura do ponto de orvalho. Quando os potenciais de água da amostra e do ar na câmara estão em equilíbrio, a determinação da pressão de vapor na câmara e a temperatura da amostra possibilitam o cálculo do potencial de água da amostra (DECAGON DEVICES, 2000).

Para as análises de potencial hídrico foliar, utilizaram-se amostras de discos foliares de 38 mm<sup>2</sup> das folhas das plantas de feijão coletadas com o auxílio de um anel metálico de bordas cortantes e, armazenadas em um recipiente plástico fechado, de igual dimensão. Os

recipientes plásticos foram acomodados em um pote de vidro, dentro de uma caixa de isopor fechada e mantida com gelo. As avaliações foram realizadas aos 39 DAE (cinco dias após uma irrigação), 48 DAE (três dias após uma irrigação) e 65 DAE (três dias após uma irrigação), entre as 7:00 horas da manhã e às 19:00 horas da tarde, em intervalos de duas horas.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa estatístico Sisvar versão 5.1, sendo a análise da variância e a análise de regressão determinadas em nível de 5% de probabilidade de erro.

### **3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A utilização da irrigação deficitária influenciou a taxa fotossintética, condutância estomática e temperatura foliar das plantas de feijão nas avaliações horárias realizadas ao longo de um dia e, os resultados do quadrado médio da análise de variância são apresentados na tabela 2.1.

A taxa fotossintética das plantas de feijão decresceu linearmente com a redução da quantidade de água aplicada de 100 para 25% da  $ET_c$  ac, aos 60 DAE (estádio R7: formação das vagens) e 69 DAE (estádio R8: enchimento das vagens) em todas as horas de avaliação e, às 13:30 horas, observou-se os maiores valores desta variável (Figura 2.1). A redução da taxa de fotossíntese é mais intensa quando a quantidade de água disponível no solo diminui (BRAKKE & ALLEN, 1995; MEDINA et al., 1998).

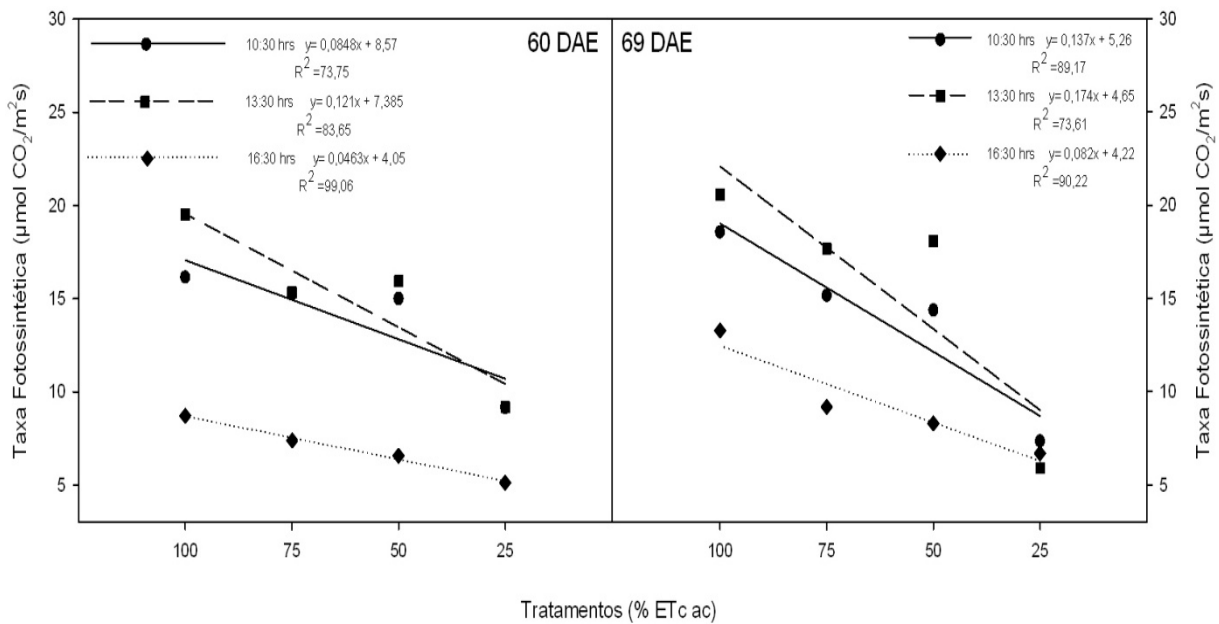
A taxa fotossintética das plantas com tratamento de 100% da  $ET_c$  ac foi  $19,48 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , aos 60 DAE às 13:30 horas e, nas plantas com irrigação deficitária de 75, 50 e 25%



**Tabela 2.1:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para as variáveis taxa fotossintética, temperatura foliar e potencial hídrico foliar de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2012.

Hora	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
Taxa fotossintética - 60 DAE							
10:30	30,52	67,52*	18,17 <sup>ns</sup>	2,48	11,35	y=0,0848x + 8,57	R <sup>2</sup> =73,75
13:30	55,21	138,56*	5,04 <sup>ns</sup>	1,11	7,06	y=0,121x + 7,385	R <sup>2</sup> =83,65
16:30	6,77	20,12*	0,004 <sup>ns</sup>	0,39	9,08	y=0,0463x + 4,05	R <sup>2</sup> =99,06
Taxa fotossintética - 69 DAE							
10:30	66,39	177,6*	9,77 <sup>ns</sup>	3,11	12,72	y=0,137x + 5,26	R <sup>2</sup> =89,17
13:30	129,03	284,9*	64,17*	3,32	11,73	y=0,174x + 4,65	R <sup>2</sup> =73,61
16:30	23,57	63,79*	4,67 <sup>ns</sup>	1,43	12,78	y=0,082x + 4,22	R <sup>2</sup> =90,22
Condutância estomática - 60 DAE							
10:30	0,332	0,842*	0,085 <sup>ns</sup>	0,03	24,34	y=0,0094x + 0,12	R <sup>2</sup> =84,34
13:30	0,312	0,805*	0,025 <sup>ns</sup>	0,02	24,43	y=0,0092x + 0,05	R <sup>2</sup> =85,77
16:30	0,104	0,302*	0,002 <sup>ns</sup>	0,00	20,79	y=0,0056x + 0,11	R <sup>2</sup> =96,39
Condutância estomática - 69 DAE							
10:30	0,768	1,83*	0,425*	0,02	18,23	y=0,051x-0,0003x <sup>2</sup> -0,91	R <sup>2</sup> =98,15
13:30	0,828	1,73*	0,472*	0,02	17,01	y= 0,053x-0,0003x <sup>2</sup> -0,95	R <sup>2</sup> =88,73
16:30	0,060	0,14 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,02	27,04	y= 0,5874 mol H <sub>2</sub> O m <sup>2</sup> s	
Temperatura foliar - 60 DAE							
10:30	2,24	5,12*	0,291*	0,39	1,99	y=-0,023x+32,95	R <sup>2</sup> =76,03
13:30	5,20	13,10*	1,092*	0,31	1,7	y=-0,003x+35,61	R <sup>2</sup> = 84,00
16:30	0,58	0,14*	1,591*	0,13	1,14	y=-0,07x+0,0005x <sup>2</sup> +34	R <sup>2</sup> = 99,37
Temperatura foliar - 69 DAE							
10:30	6,90	10,72*	9,95 <sup>ns</sup>	0,31	1,65	y=-0,0338x+36,32	R <sup>2</sup> = 51,77
13:30	12,66	16,69*	19,43 <sup>ns</sup>	0,67	2,19	y=-0,0422x+40,2	R <sup>2</sup> = 43,96
16:30	0,59	0,53*	1,07*	0,13	0,96	y=-0,05x+0,0004x <sup>2</sup> +38	R <sup>2</sup> = 91,13

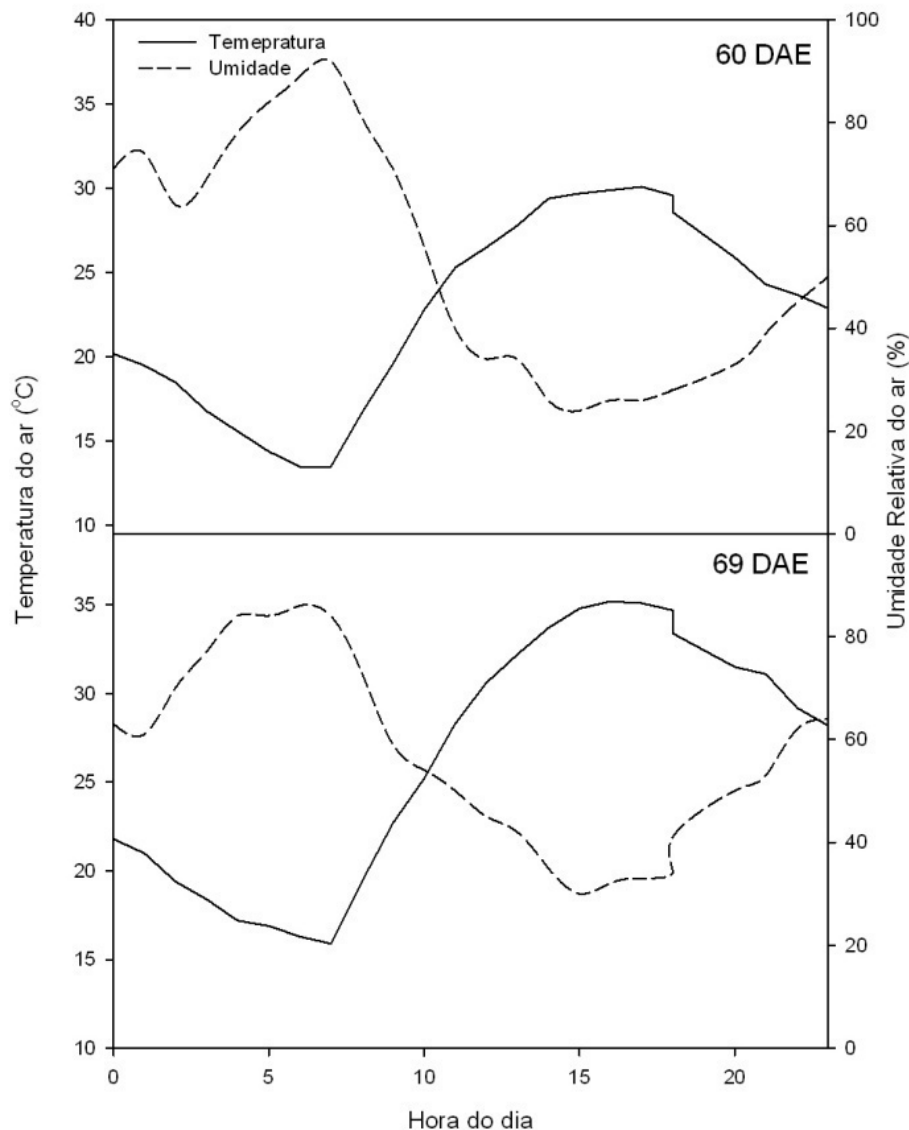
Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; trat: tratamento; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.



**Figura 2.1:** Taxa Fotossintética (A) das plantas de feijão às 10:30, 13:30 e 16:30 horas, aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), com manejo de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

da ETc ac os valores foram de 16,46, 13,43 e 10,41  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , representando respectivamente, reduções médias de 15,5, 31 e 46%. A maior assimilação fotossintética nas plantas ocorreu próximo ao meio dia solar, devido à maior disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa nesta hora do dia.

As taxas fotossintéticas das plantas de todos os tratamentos, neste mesmo dia, apresentaram os menores valores às 16:30 horas. As plantas submetidas à irrigação de 100% da ETc ac apresentaram taxa fotossintética de 8,68  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$  e, nas plantas com irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da ETc ac observaram-se valores de 7,5, 6,36 e 5,2  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , reduções médias de 13,6, 26,72 e 40%, respectivamente. Comparando-se os valores da taxa fotossintética das avaliações realizadas às 13:30 horas com os valores das avaliações realizadas às 16:30 horas, observou-se uma redução média de 53,10%. Além do déficit hídrico, essa redução pode estar associada, em parte, às altas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar (TAIZ & ZEIGER, 2004), durante a tarde (Figura 2.2).

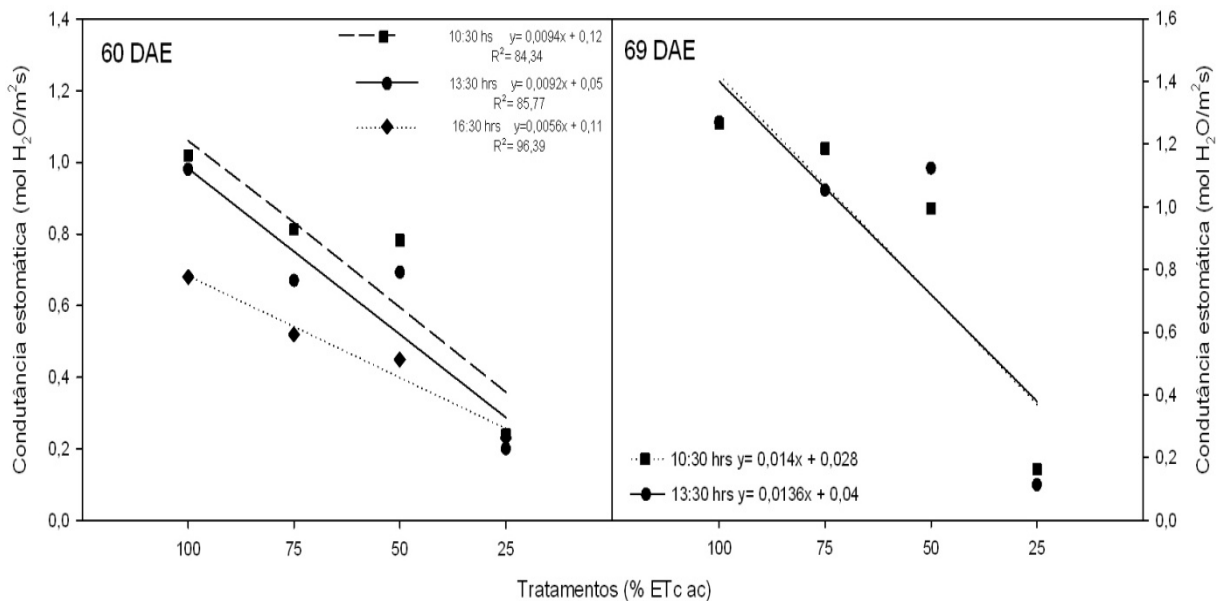


**Figura 2.2:** Variação diária de temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%) aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), Santa Maria, RS, 2012.

A taxa fotossintética das plantas do feijoeiro aos 69 DAE apresentou comportamento semelhante aos 60 DAE. As plantas que receberam irrigação de 100% da ETc ac apresentaram taxa fotossintética média de  $22,05 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$  e, nas plantas com irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da ETc ac observaram-se taxas fotossintética médias de 17,7, 13,35 e  $09 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , reduções médias de 19,7, 39,4 e 59%, respectivamente, às 13:30 horas. A taxa fotossintética das plantas neste dia, às 16:30 horas, também apresentou os menores valores, sendo que as plantas submetidas à irrigação de 100% da ETc ac

apresentaram valor médio de  $12,42 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$  e, nas plantas com irrigação deficitária de 75, 50 e 25% da  $\text{ETc ac}$  observou-se valores de 10,37, 8,32 e  $6,27 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , reduções médias de 16,5, 33 e 49,5%, respectivamente. De acordo com SYVERTSEN & LLOYD (1994), poderia ocorrer uma recuperação parcial da fotossíntese à tarde, se a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor na atmosfera diminuíssem, o que não ocorreu nesse dia.

A condutância estomática reduziu linearmente aos 60 DAE com a aplicação da irrigação deficitária de 100% para 25% da  $\text{ETc ac}$  (Figura 2.3). OLIVEIRA et al. (2005), avaliando alterações fisiológicas em feijoeiro, sob diferentes lâminas de irrigação, também encontraram menores valores de condutância estomática, para os tratamentos que receberam menor quantidade de água.



**Figura 2.3:** Condutância estomática das plantas de feijão aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), com manejo de irrigação de reposição de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada ( $\text{ETc ac}$ ). Santa Maria, RS, 2012.

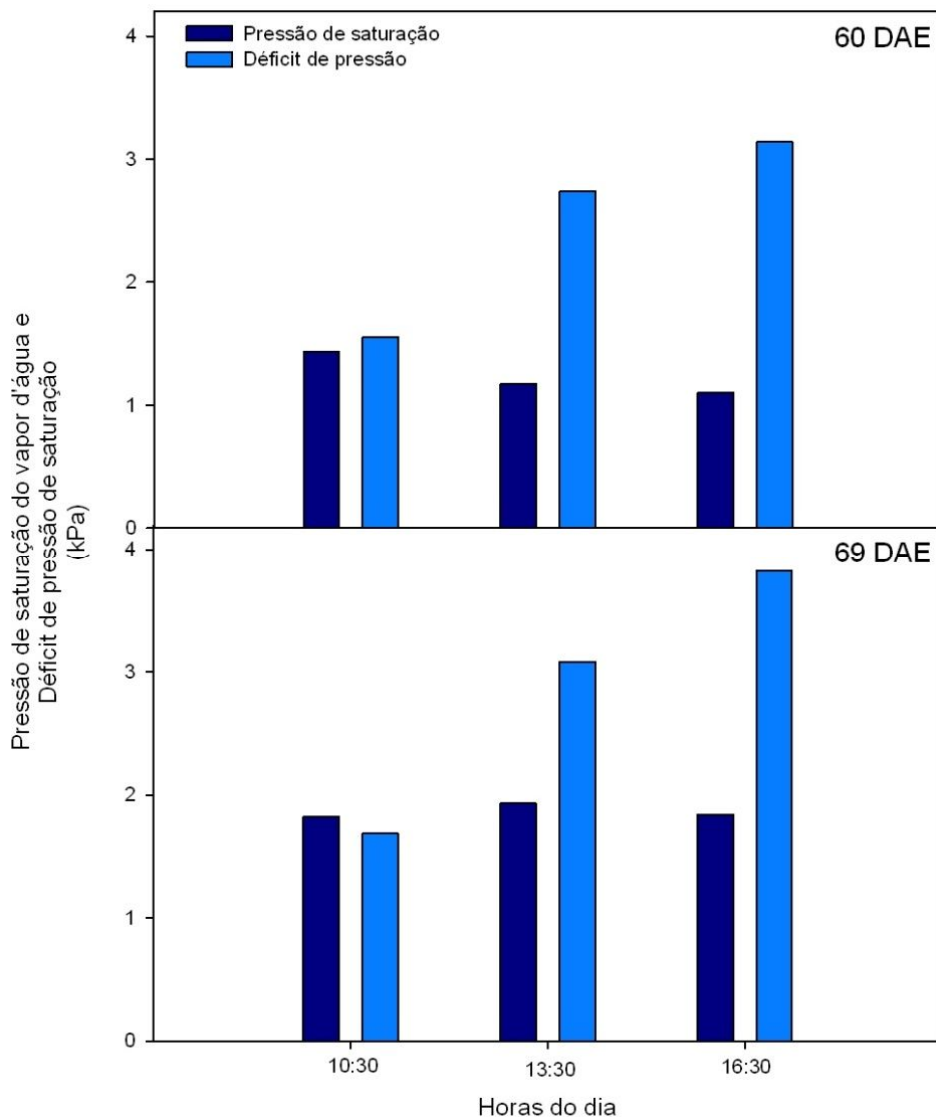
A condutância estomática apresentou valor máximo de  $1,06 \text{ mol H}_2\text{O m}^2\text{s}$  às 10:30 horas, para as plantas com tratamento de irrigação de 100%  $\text{ETc ac}$ , e reduziu 66,9% nas plantas submetidas à irrigação deficitária de 25% da  $\text{ETc ac}$ . Em todos os tratamentos observou-se os menores valores de condutância estomática às 16:30 horas, sendo que as

plantas com tratamento de 100% da ETc ac apresentaram condutância estomática de 0,67 mol H<sub>2</sub>O m<sup>2</sup>s e para as plantas com tratamento de irrigação deficitária de 25% da ETc ac, houve redução de 62% na condutância, estomática neste horário.

As oscilações diurnas na condutância estomática também são relatadas por PASSOS et al., 2005 e COSTA & MARENCO, 2007. Esses autores observaram que os valores de condutância estomática foram maiores nos horários da manhã, sugerindo que o potencial hídrico da folha ainda não atingiu os valores mínimos capazes de ocasionar o fechamento estomático. Para CASCARDO et al. (1993) a condutância estomática é máxima quando o teor de água da folha é alto, o que ocorre nas primeiras horas da manhã, quando a folha não perdeu muita água por transpiração.

Com a intensificação da deficiência hídrica nas plantas, a partir dos 60 DAE, observou-se que a limitação ao ingresso de CO<sub>2</sub> na planta pode ter sido uma das causas da redução da taxa fotossintética, nos dias das avaliações. A redução da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> durante um déficit hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO<sub>2</sub> no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (ROSA et al., 1991). Observa-se assim que, tanto a variável taxa fotossintética como a variável condutância estomática das plantas de feijão foram influenciadas negativamente, pela baixa disponibilidade de água no solo, pela ocorrência de altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e, conseqüentemente, elevada demanda evaporativa da atmosfera (Figura 2.4), na avaliação realizada às 16:30 horas.

Os resultados das determinações de condutância estomática das plantas de feijão aos 69 DAE diferiram (Tabela 2.1) às 10:30 e 13:30 horas, entre os tratamentos, sendo que regressões lineares negativas descrevem o comportamento desta variável quando a lâmina de irrigação é reduzida de 100 para 25% da ETc ac (Figura 2.3).



**Figura 2.4:** Pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e Déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) nos horários das avaliações, aos 60 e 69 dias após emergência Santa Maria, RS, 2012.

As plantas com tratamento de irrigação de 100% da ETC ac apresentaram o maior valor de condutância estomática às 10:30 horas ( $1,26 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}$ ), e nas plantas com irrigação deficitária de 25% da ETC ac observou-se uma redução de 87% no valor médio da condutância estomática.

Esse aumento da resistência à difusão gasosa nas plantas que receberam menor quantidade de água de irrigação e, a diminuição na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  afetou a taxa fotossintética, além de determinar uma menor perda de água por transpiração, pois, como a

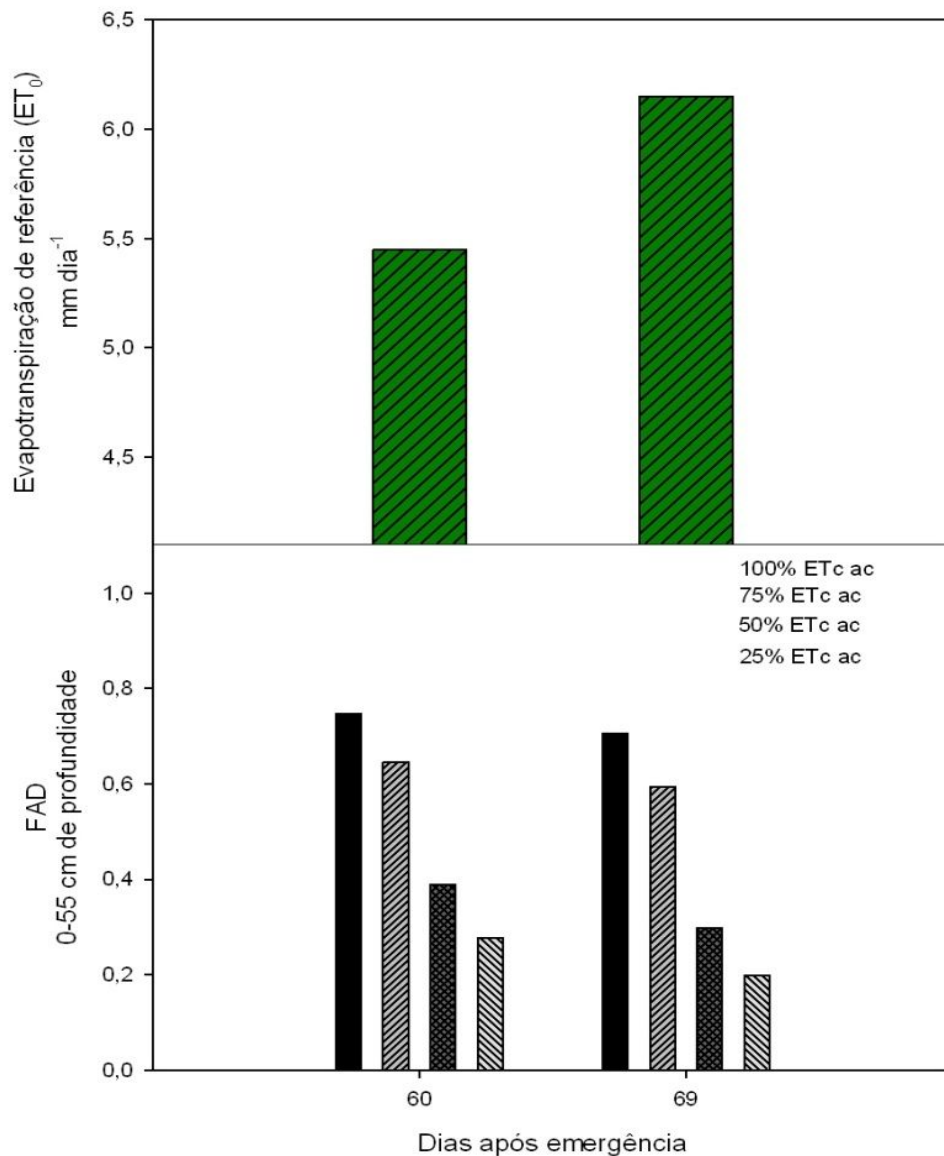
abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, pode haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta é muito elevado. Isto demonstra o controle estomático em plantas submetidas ao déficit hídrico.

As reduções na condutância estomática nas plantas de feijão observadas neste trabalho, sugerem que, as plantas submetidas à irrigação deficitária de 25% da  $ET_c$  apresentavam deficiência hídrica severa, nos dias em que as avaliações foram realizadas. Para este tratamento a FAD aos 60 DAE foi 0,22 e aos 69 DAE foi 0,16, além da contribuição dos elevados valores de evapotranspiração de referência 5,45 aos 60 DAE e 6,15 aos 69 DAE (Figura 2.5).

Para ATTEYA (2003), as reduções na condutância estomática, em plantas submetidas à deficiência hídrica, estão associadas ao declínio no potencial hídrico. Essas reduções observadas demonstram que, mesmo com a influência de outros fatores ambientais (radiação solar, temperatura e umidade do ar) sobre os processos de abertura e fechamento estomático das plantas e, conseqüentemente, sobre a condutância estomática, é evidente o efeito do déficit hídrico sobre a condutância estomática do feijoeiro, e assim, ela pode ser utilizada como indicador de déficit hídrico no manejo da irrigação deficitária.

A temperatura foliar das plantas de feijão respondeu à irrigação deficitária e o resultado do quadrado médio da análise da variância para a temperatura foliar das plantas é apresentada na Tabela 2.1. A temperatura foliar das plantas de feijão diferiu aos 60 e 69 DAE, entre os tratamentos nos diferentes horários das avaliações, sendo que o comportamento é linear às 10:30 e 13:30 horas e quadrático às 16:30 horas (Figura 2.6).

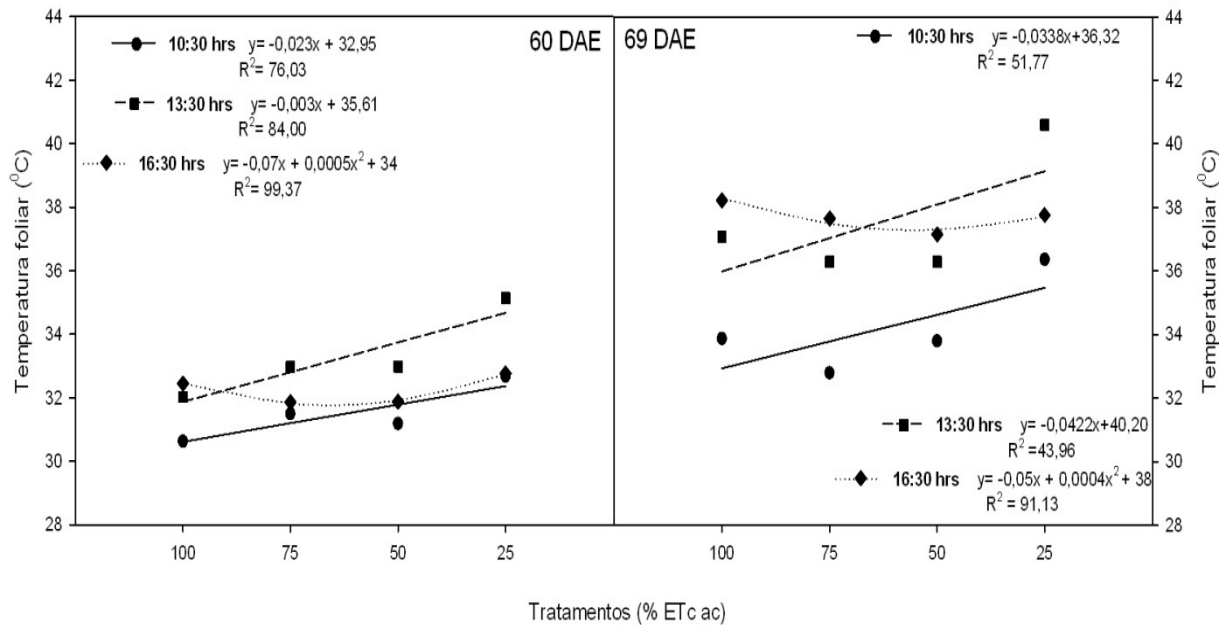
O fechamento dos estômatos resultou em redução da taxa de transpiração e no conseqüente aumento da temperatura foliar, quando foram observadas temperaturas foliares superiores a temperatura do ar (Figura 2.2). A temperatura foliar das plantas com irrigação deficitária de 25% da  $ET_c$  ac, às 13:30 horas apresentou os valores máximos de  $34,67^{\circ}\text{C}$  e



**Figura 2.5:** Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e fração de água disponível (FAD) no solo, aos 60 e 69 DAE (dias após emergência). Santa Maria, RS, 2012.

39,14 $^{\circ}\text{C}$ , aos 60 e 69 DAE, respectivamente. Esses valores são 2,8 e 3,16 $^{\circ}\text{C}$  superiores a temperatura foliar das plantas com irrigação de 100% da  $ET_c$  ac. MENDES et al. (2007), mostram que, sob condições de déficit hídrico, a temperatura foliar se apresenta, comumente, mais elevada do que a temperatura do ar, resultando em aumento na relação temperatura foliar/ambiente. A temperatura foliar igual ou ligeiramente inferior a do ambiente é devido à capacidade de refrigeração das plantas, via transpiração, para proteger a planta das faixas térmicas elevadas (OLIVEIRA et al., 2005). O estresse térmico é considerado um estresse





**Figura 2.6:** Valores de temperatura foliar das plantas de feijão determinados aos 60 e 69 dias após emergência (DAE), às 10:30, 13:30 e 16:30 horas, com manejo de irrigação de reposição de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

secundário ou uma consequência do estresse hídrico. A planta quando estressada fecha os estômatos como forma de defesa, a fim de não perder água para o meio e manter a turgidez das células.

Para MAGGIOTTO (1996), com o aumento da temperatura, a taxa fotossintética pode não ser suficiente para repor o carbono usado como substrato para a respiração; como consequência, as reservas de carboidratos diminuem. PAZZETTI et al. (1992) observaram que, quanto menor a frequência de irrigação, os potenciais de água no solo se tornavam mais negativos, provocando, provavelmente, maiores resistências estomáticas e ocasionando maximização da temperatura do dossel e da folha nos horários mais quentes do dia. As irrigações mais frequentes, no entanto, induziram baixa variação na transpiração da planta durante o período mais quente do dia, reduzindo menos o potencial hídrico da folha e mantendo níveis mais altos de utilização da radiação fotossinteticamente ativa. Os autores

concluíram que pouca variação no teor de água no solo já é suficiente para que as culturas apresentem maiores temperaturas que no estado ótimo de desenvolvimento. GUIMARÃES et al. (2006) constataram que a temperatura do dossel se correlacionou significativamente com o potencial da água nas folhas e sua medição, por ser rápida e não destrutiva, mostrou tratar-se de uma técnica útil no processo de seleção de genótipos de feijoeiro para regiões sujeitas a deficiência hídrica.

Na Tabela 2.2 são apresentados os resultados do quadrado médio da análise da variância para o potencial hídrico foliar das plantas de feijão. Aos 39 DAE (cinco dias após uma irrigação) o potencial hídrico foliar das plantas de feijão reduziu linearmente, com a redução da irrigação de 100 para 25% da ETc ac, às 17:00 e 19:00 horas (Figura 2.7). As plantas irrigadas com 25% e 100% da ETc ac apresentaram valores médios de potencial de água na folha de -2,53 MPa e -1,62 MPa, respectivamente. Estes resultados explicam-se, pois, no período compreendido entre 16:00 e 19:00 horas deste dia observaram-se as maiores temperaturas (20,97°C) e baixa umidade relativa do ar (42,75%), conforme figura 2.8.

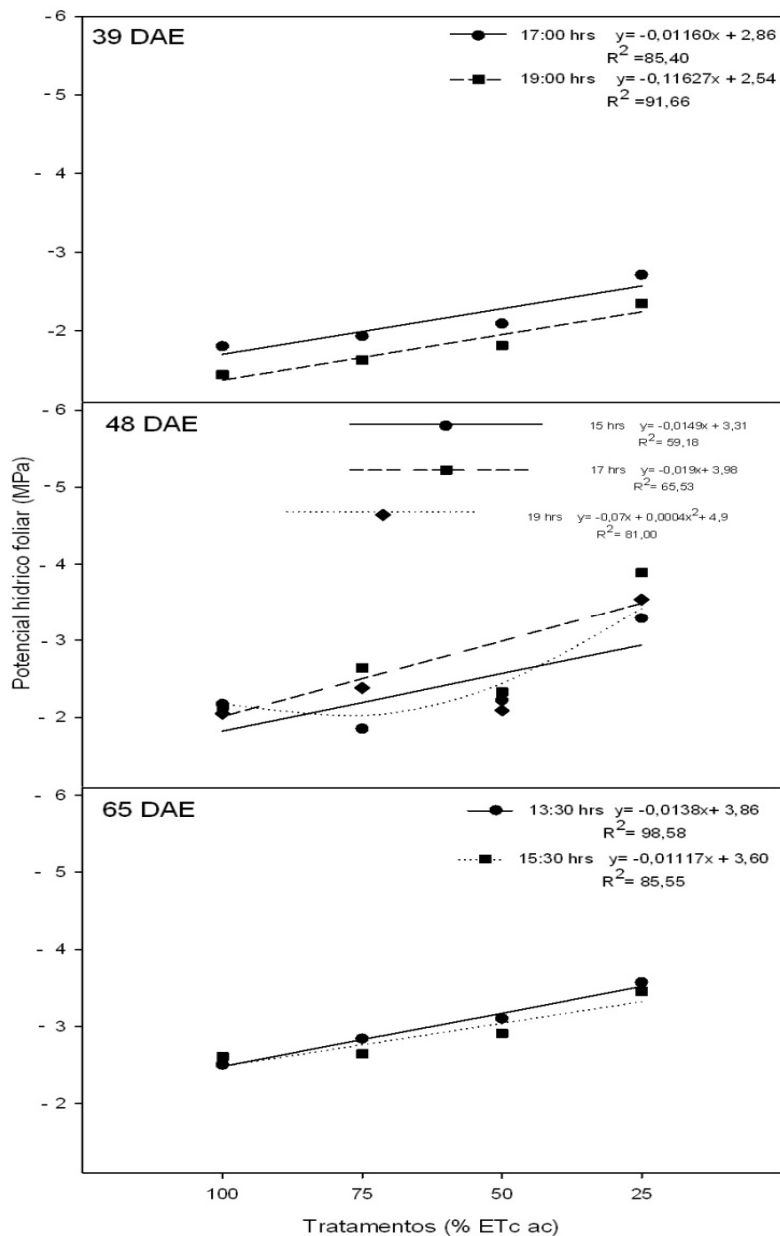
NASCIMENTO et al. (2011) avaliando a tolerância ao déficit hídrico de diferentes cultivares de feijão caupi encontraram em condições de irrigação plena, o potencial hídrico foliar máximo e mínimo de -0,85 e -1,14 MPa, enquanto na condição de déficit hídrico os referidos valores decresceram para máximo de -1,22 MPa e mínimo de -2,05. Os valores de potencial hídrico foliar destes autores são superiores aos encontrados neste trabalho que estão mais próximos dos valores de MICHELETTO et al. (2007), que encontraram valores de potencial hídrico foliar de -2,57 MPa, para o feijão-comum.

Os resultados de potencial de água na folha diferiram aos 48 DAE (três dias após uma irrigação), entre os tratamentos, nas determinações realizadas às 15:00, 17:00 e 19:00 horas. Neste dia as maiores temperaturas do ar ocorreram entre as 14 e 18 horas (26,64°C). (Figura 2.8). As plantas irrigadas com 25% da ETc ac apresentaram valor médio de potencial

**Tabela 2.2:** Resultado do quadrado médio da análise de variância para a variável potencial hídrico foliar de plantas de feijão. Santa Maria, RS, 2011.

Hora	Quadrado médio				CV (%)	Equação ajustada	
	Tratamento	Linear	Quadrático	Resíduo			
Potencial Hídrico Foliar (MPa) - 39 DAE							
07:00	0,016	0,00008 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,024	19,88	y= -0,78	
09:00	0,025	0,0312 <sup>ns</sup>	0,035 <sup>ns</sup>	0,021	17,14	y= -0,84	
11:00	0,013	0,0032 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	0,009	8,38	y= -1,16	
13:00	0,047	0,1269 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>	0,036	11,33	y= -1,69	
15:00	0,041	0,0528 <sup>ns</sup>	0,040 <sup>ns</sup>	0,020	8,15	y= -1,74	
17:00	0,492	1,261 <sup>*</sup>	0,187 <sup>ns</sup>	0,042	9,69	y=-0,01160x+2,86	R <sup>2</sup> =85,40
19:00	0,460	1,267 <sup>*</sup>	0,093 <sup>ns</sup>	0,023	8,46	y=-0,11627x+2,54	R <sup>2</sup> =91,66
Potencial Hídrico Foliar (MPa) - 48 DAE							
07:00	0,039	0,042 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,065	29,09	y= -0,87	
09:00	0,062	0,126 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,043	16,06	y= -1,29	
11:00	0,180	0,411 <sup>ns</sup>	0,114 <sup>ns</sup>	0,239	28,3	y= -1,72	
13:00	0,512	1,526 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,208	20,31	y= -2,24	
15:00	1,177	2,090 <sup>*</sup>	1,442 <sup>ns</sup>	0,287	22,48	y=-0,0149x + 3,31	R <sup>2</sup> =59,18
17:00	1,859	3,655 <sup>*</sup>	0,837 <sup>ns</sup>	0,336	21,09	y=-0,019x+3,98	R <sup>2</sup> =65,53
19:00	1,465	2,620 <sup>*</sup>	0,940 <sup>*</sup>	0,098	12,47	y=-0,07x+0,0004x <sup>2</sup> +4,9	R <sup>2</sup> =81,00
Potencial Hídrico Foliar (MPa) - 65 DAE							
09:30	0,051	0,147 <sup>ns</sup>	0,00007 <sup>ns</sup>	0,015	6,73	y= -1,87	
11:30	0,421	0,545 <sup>ns</sup>	0,0056 <sup>ns</sup>	0,314	23,95	y= -2,34	
13:30	0,606	1,792 <sup>*</sup>	0,0126 <sup>ns</sup>	0,117	11,41	y=-0,0138x+3,86	R <sup>2</sup> =98,58
15:30	0,456	1,170 <sup>*</sup>	0,1976 <sup>ns</sup>	0,074	9,41	y=-0,01117x+3,60	R <sup>2</sup> =85,55
17:30	0,110	0,318 <sup>ns</sup>	0,0126 <sup>ns</sup>	0,064	8,3	y= -3,04	

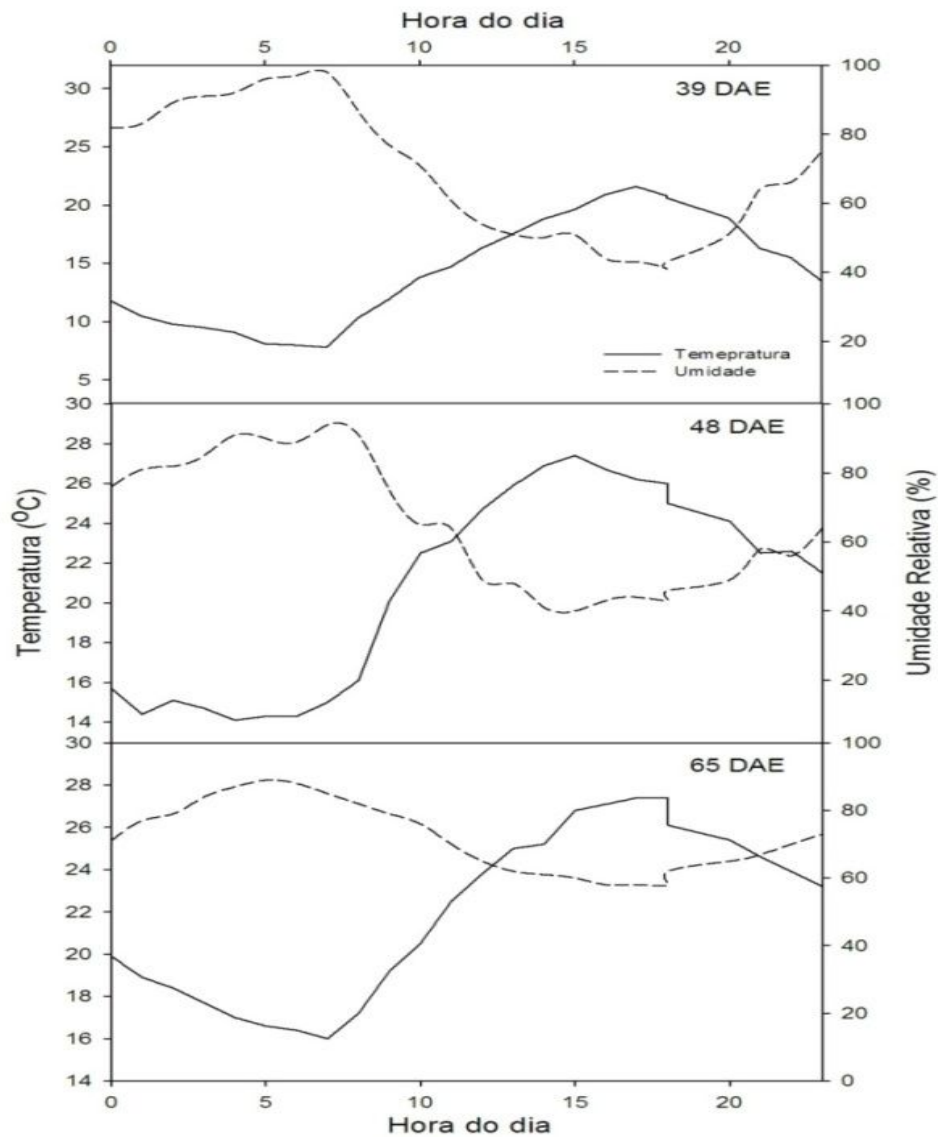
Onde: \* Significativo <sup>ns</sup> não significativo (linhas) em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F; trat: tratamento; DAE: dias após emergências das plantas; CV: coeficiente de variação; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.



**Figura 2.7:** Potencial hídrico foliar das plantas de feijão aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE), com irrigação de reposição de 100, 75, 50 e 25% da evapotranspiração da cultura acumulada (ETc ac). Santa Maria, RS, 2012.

hídrico foliar de -3,57 MPa e, as plantas com irrigação de 100% da ETc ac o valor médio observado foi de -2,12 MPa. Segundo a classificação de BOYER (1978) os valores de potencial hídrico foliar encontrados neste trabalho são inferiores aos considerados letais para o feijoeiro comum.

Segundo BOYER (1978), os valores aproximados de potenciais de água letais para algumas espécies vegetais, variam de -1,4 a -6,0 MPa, para o tomateiro e a acácia, respectivamente; já para o feijão-comum e para o feijão-caupi esses valores de potencial



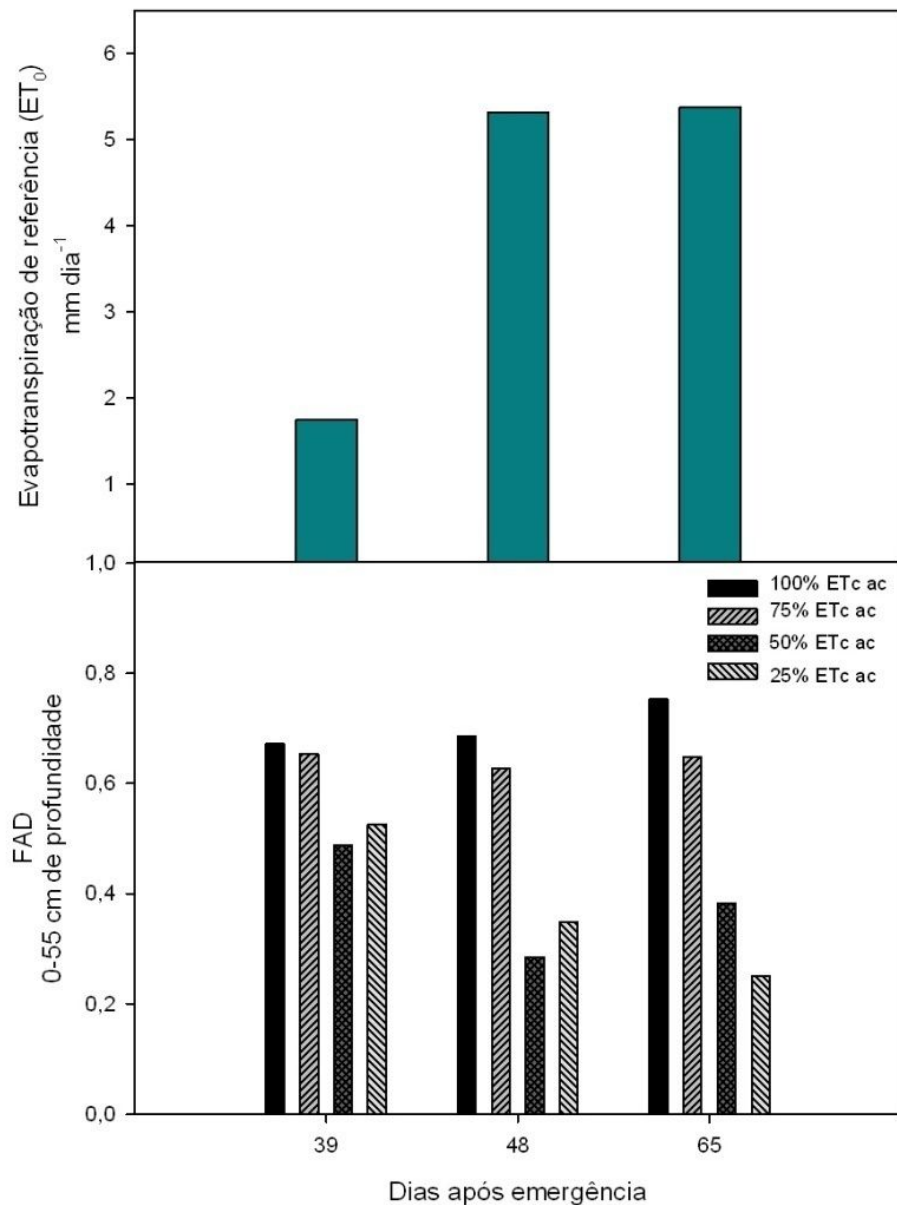
**Figura 2.8:** Variação diária de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE), Santa Maria, RS, 2012.

hídrico foliar são de -1,5 a -2,5 MPa, respectivamente, o que os classifica como plantas sensíveis e moderadamente tolerantes ao déficit de água no solo. Para HSIAO (1973) valores de potencial hídrico foliar de -1,0 a -1,2 MPa, são considerados como críticos em feijoeiro.

Observa-se entretanto, que os valores de potencial hídrico foliar podem variar em razão do estágio fenológico da cultura, da cultivar, da disponibilidade hídrica do solo, do déficit de pressão de vapor do ar e do horário e local em que são registrados (NOGUEIRA et al., 1998). MENDES et al. (2007), avaliando o status hídrico de diferentes cultivares de feijão-de-corda também encontraram reduções significativas no potencial hídrico foliar, condutância estomática, transpiração foliar e aumento na temperatura da folha quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico. Para LAWLOR & CORNIC (2002) o potencial de água da folha é reduzido com o declínio da disponibilidade de água do solo levando à perda da turgescência e ao fechamento estomático (MANSUR & BARBOSA, 2000). NASCIMENTO et al. (2011), observou que ao se reduzir a lâmina de irrigação de 300 para 190 mm, deu-se redução de 62% no potencial hídrico foliar, 72% na condutância estomática, e um aumento de 11,7% na temperatura foliar, o que está de acordo com os resultados obtidos neste experimento.

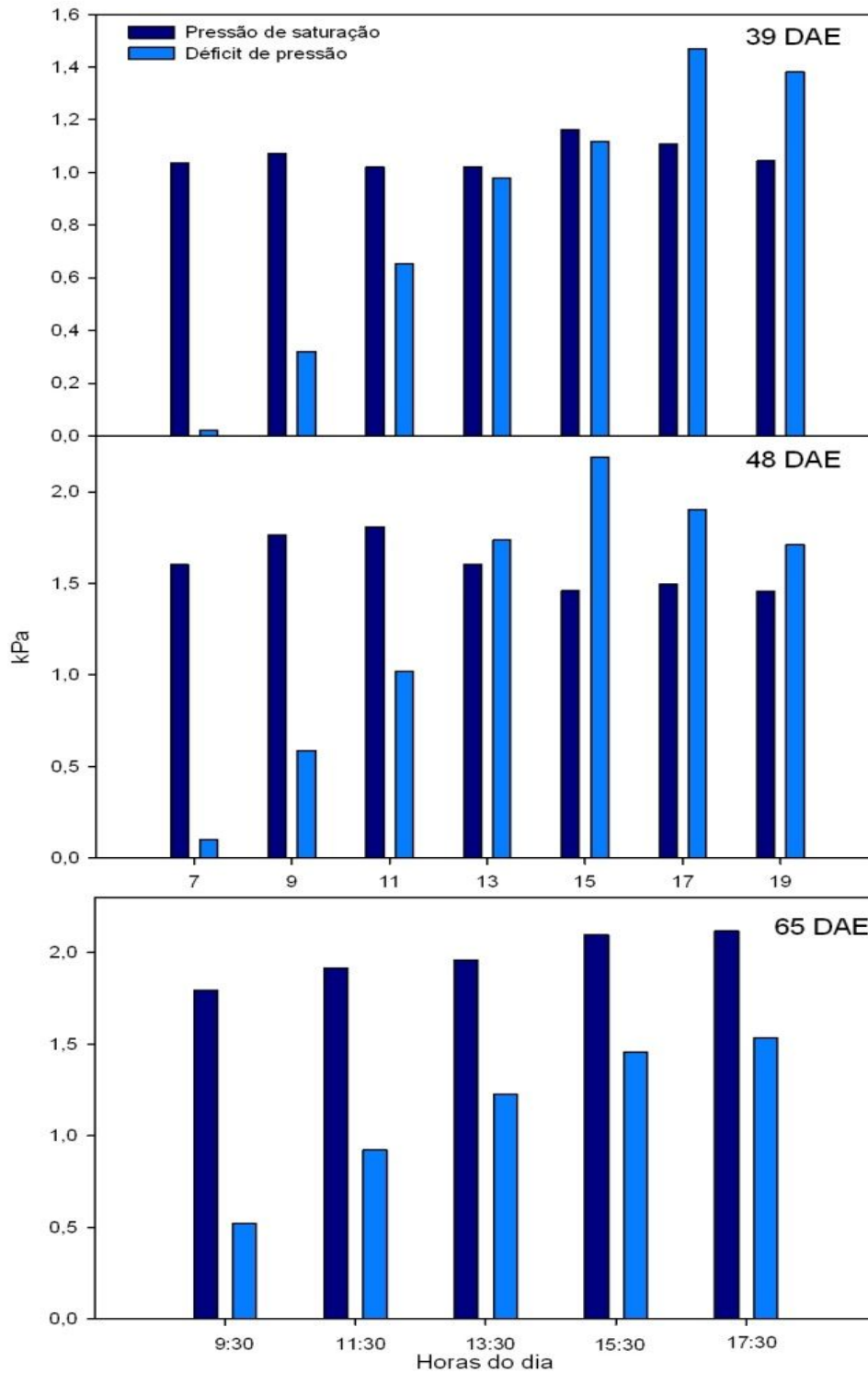
A  $ET_0$  (Figura 2.9) foi inferior a 02 mm aos 39 DAE e a FAD entre 0,42 e 0,67 para todos os tratamentos. Neste dia o déficit de saturação do vapor d'água do ar se elevou às 17:00 e 19:00 horas (Figura 2.10). A  $ET_0$  foi superior a 05 mm aos 48 DAE, e a FAD inferior a 0,30 para os tratamentos de irrigação deficitária de 50 e 25% da  $ET_c$  ac, o que justifica os resultados de potencial hídrico foliar inferiores aos 48 DAE. O déficit de saturação do vapor d'água do ar, se elevou às 17:00 e 19:00 horas aos 39 DAE e, às 15:00, 17:00 e 19:00 horas aos 48 DAE (Figura 2.10). Esse parâmetro representa a capacidade de absorção de água do ar, que influencia a demanda evaporativa da atmosfera e, conseqüentemente, o conteúdo de água das folhas. Portanto, as reduções constatadas no potencial hídrico foliar, em função da utilização da irrigação deficitária, podem ser uma combinação da elevada demanda evaporativa da atmosfera e da disponibilidade reduzida de água no solo.

Não houve diferença no potencial hídrico foliar entre os tratamentos com e sem irrigação deficitária aos 65 DAE (três dias após uma irrigação) nas avaliações realizadas às 09:30, 11:30 e 17:30 horas (Tabela 2.2). Isso, provavelmente ocorreu, porque foi observado menor déficit de saturação do vapor d'água do ar em relação à pressão de saturação de vapor d'água no ar neste dia (Figura 2.10), o que diminuiu a demanda atmosférica. Segundo



**Figura 2.9:** Evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e fração de água disponível (FAD) aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE), Santa Maria, RS, 2012.

SCHULZE et al., (1987) um mesmo potencial da água foliar pode ser observado em plantas submetidas ao déficit hídrico, de acordo com os níveis de perda do vapor da água pela transpiração das plantas, o que depende das condições atmosféricas no momento.





**Figura 2.10:** Pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e Déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) nos horários das avaliações, aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE). Santa Maria, RS, 2012.

### 3.6 CONCLUSÕES

A taxa fotossintética das plantas de feijão reduziu linearmente com a redução da irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada para irrigação deficitária de 25% da evapotranspiração da cultura acumulada. Os valores mais elevados de taxa fotossintética foram observadas às 13:30 horas e, às 16:30 horas observaram-se os valores mais baixos.

A condutância estomática das plantas de feijão reduziu com a utilização da irrigação deficitária de 100 para 25% da evapotranspiração da cultura acumulada. Os valores mais elevados de condutância estomática foram observadas na avaliação realizada às 10:30 horas.

As plantas de feijão com irrigação deficitária de 25% da evapotranspiração da cultura acumulada apresentaram temperaturas foliares em média  $2,9^{\circ}\text{C}$  maior nas plantas que as plantas com irrigação de 100% da evapotranspiração da cultura acumulada. Os valores máximos de temperatura foliar das plantas do feijoeiro foram observadas às 13:30 horas para todos os tratamentos.

O potencial hídrico foliar médio das plantas de feijão com irrigação deficitária foi de  $-3,28$  MPa e estas sofreram maiores variações na condição de hidratação em resposta à menor aplicação de água ao longo do ciclo da cultura. Essas variações e a dificuldade de determinação deste parâmetro fisiológico dificultam a sua utilização, para manejo de irrigação em nível comercial.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, Amsterdam, v. 20, p. 81-93, 1989
- AGUIAR, R. S. et al. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina: Ciências agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, jan/mar 2008.
- ALLEN, R.G. et al. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, Rome, Italy, 300 pp, 1998.
- AMARAL, J.A.T. do; RENA, A.B.; AMARAL, J.F.T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- ANDRADE, M.J.B.; RAMALHO, M.P.A. Cultura do feijoeiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Curso de atualização técnica dos engenheiros agrônomos do Banco do Brasil: módulo sudeste**. Sete Lagoas, 1995, 97 f.
- ARF, O. et al. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p.131-138, 2004.
- ATTEYA, A.M. Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Sofia, v. 29, n. 1-2, p. 63-76, 2003
- ÁVILA, A.M.H. de; BERLATO, M.A.; SILVA, J.B. et al. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul, **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.82 n.2, p. 49-154, 1996.
- BASTOS, E.A. et al. Parâmetro de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 43-50, jan. 2002.
- BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade federal do Rio Grande do Sul, 1992. p.11-24.
- BOYER, J. S. Water deficits and photosynthesis. In: Kozlowski, T.T. (ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, v.4, p.154-191, 1978
- BRAKKE, M. & ALLEN, Jr., L.H. Gas exchange of Citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water content. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 120: 497-504, 1995.
- CAIRO, P. A. R. Curso básico de relações hídricas de plantas. Vitória da Conquista, BA: UESB, 1995. 32 p

CARDIM, D.; CATANEO, A. Distribuição espacial da produtividade média anual da cultura do feijão no estado de São Paulo e sua correlação com índices climáticos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.20, n.1, p.11-28, 2005

CARLESSO, R. **Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments**. East Lansing: Michigan State University. 1993. Ph.D. Thesis

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995

CARLESSO, R. et al. Efeito da lâmina de Irrigação na senescência foliar do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 545-556, out./dez. 2007.

CARVALHO, J.A. et al. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 3, p. 710-717, 2000.

CASCARDO, J.C.M.; OLIVEIRA, L.E .M .; SOARES, A.M . 1993. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 5(1): 31-34.

CASTRO NETO, M.T. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 23-95, 2003.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought from the genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, p. 239-264, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2004.

COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO. **Recomendações técnicas para o cultivo no Rio Grande do Sul**. Santa Maria : Pallotti, 2000. 80 p.: il., tabs. (Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão; coordenador Ricardo Silveira Balardin).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, Quarto levantamento**, janeiro 2011/Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2011.

COMSTOCK, J. P. Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration. **Journal of Experimental Botany**. v. 53, n. 367, p. 195-200, 2002.

COSTA, J.O.; FERREIRA, L.G.R.; SOUZA, F. de. Produção de milho submetido a diferentes níveis de estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.11, p.1255-1261, nov. 1988.

COSTA, G.F.; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v.37, p.229-234, 2007.

- DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254 p
- DECAGON DEVICES. **Operator's manual version 1.3 WP4 dew point meter**. USA, Decagon devices, 2000. 70 p.
- DENMEAD, O.T., SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by moisture content and meteorological conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 385-390, 1962.
- DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.
- DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. In: Peloso, M. J. Del; Melo, L. C. (ed.) **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. Cap.1, p.9-37.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Cultura do feijoeiro: estresse e produtividade**. In: FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. Feijão irrigado, tecnologia e produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005
- FAVER, K.L.; GERIK, T.J.; THAXTON, P.M. et al. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, Madison, v.36, p.922-928, 1996.
- FERNÁNDEZ, M.S.F. et al. Comportamiento del riego a la escala de una pequeña cuenca In: MATEOS, L. **Metodologías e instrumentos para a planificación y la gestión sostenible en condiciones de escasez de agua**. Córdoba: CSIC, 2007. p. 31-50.
- FIGUERÊDO, S. F. et al. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 9, p. 35-49, 1998
- FREIRE FILHO, F.R. et al. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R. et al. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Meio-Norte, 2005. cap. 1, p. 29-71.
- FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- FRIZZONE, J.A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, dez. 2007
- GARDNER, W.R. Dynamic aspects of water availability to plants. **Soil Science**, Madison, v. 89 p. 63-73, 1960.

- GARRIDO, M.A.T. **Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle size analysis. In: **Methods of Soil Analysis: part I**, 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-411. (Agronomy 9).
- GEERTS, S.; RAES, D., Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agriculture and Water Manage**, v. 96, p. 1275-128, 2009.
- GRANT, R.F. et al. Water deficit timing effects on yield components in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.1, p.61-65, 1989.
- GUERRA, A. F.; SILVA, B. D. da; RODRIGUES, G. C. Manejo da irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 6, p. 1229-236, 2000.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.70-75, 2006
- HALE, M.G.; ORCUTT, D.M. **The physiology of plants under stress**. New York: John Welley, 1987. 206 p
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. Review. **Plant Physiology**, Pilo Alto, v.24, p.519-70, 1973.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Racionalização do uso da água nos municípios de Guaira e Casa Branca, SP**. São Paulo, 1994. 2v. (IPT. Relatório 30254).
- JOBIM, C.I.P. **Análise de viabilidade econômica da irrigação em face de cenários econômicos: aplicação ao feijão irrigado no RS**. 2007. 150p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Área de concentração Irrigação e Drenagem, Porto Alegre, 2007.
- KRAMER, P. J.; BOYERS, J. S. Evolution and agriculture. In: Kramer, P. J.; Boyers, J. S. (ed.) **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. p.377-404.
- LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**. Berlin: Springer, 1995.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 531p. 2000.
- LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environ**. v.25 p.275-294, 2002.
- LIMA, A.A.F. **Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*phaseolus vulgaris* L. E *vigna unguiculata* (L.) Walph.] Submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semi-árido sergipano**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

- LIZANA, C. et al. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v.57, p.685-697, 2006.
- LOPES, B.F.; SETER, T.L.; McDAVID, C.R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v.28, p.141-145, 1988.
- LORITE, I.J. et al. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 91 p. 51-60, 2007.
- LUDLOW, M.M. & MUCHOW, R.C. A critical evaluation of trits for improving crop yields in water-limited environments. **Advance in Agronomy**, São Diego, v.43, p.107-153, 1990.
- MACEDO JÚNIOR, E.K. FARIA, M.A. de; SOARES, A.M. Produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a cinco níveis de tensão de água no solo. **Ciência e Prática**, Lavras, v.18, n.4, p.438-444, 1994
- MACHADO-FILHO, J.A. et al. Efeito da umidade do ar nas trocas gasosas em folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado em condições de campo. **Bragantia**. 2005.
- MAGGIOTTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 1996. 71 p
- MANSUR, R. J.C.N.; BARBOSA, D.C.A. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro 15 espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, v.68 p.97-106, 2000.
- MANTOVANI, E. C. Otimização do uso da água e energia utilizando o programa IRRIGA-GESAI® Apostila do curso de manejo de irrigação realizado de 24 a 27 de agosto de 2004. Viçosa, MG. 2004
- MATZENAUER, R.; MALUF, J.R.J.; BUENO, A.C. Relações entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.2, p.173-178, 1999.
- MARIANO, K.R. et al. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. submetida ao déficit hídrico. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 72-77, 2009
- MARTORANO, L. G. et al. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 397–405, jul./ago. 2009
- MEDEIROS, G. A. Influência do manejo de um latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado. (2002). Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 176 p.

MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C.; PINTOP, J.M. Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, 57: 1-14, 1998.

MEDINA, C.L. MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. et al. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira Valência sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agronômica**, v.38, p.95-103, 2007.

MEYER, W.S.; GREEN, G.C. Water use by wheat and plant indicator of available soil water. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.253-257, 1980.

MICHELETTO, S. et al. Comparative transcript profiling in roots of *Phaseolus acutifolus* and *P. vulgaris* under water deficit stress. **Plant Science**, v.173, p.510-520, 2007

MORAIS, N.B. et al. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 369-377, 2008

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre-RS: Secretaria de Agricultura, 1961. 42p.

MUÑOZ-PEREA, C. G. et al. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science**, v.46, p.2111-2120, 2006.

NASCIMENTO, S. P. et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.853-860, 2011

NEUMANN, P. M. The role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, Madison, v.35, p.1258-1266, 1995

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Comportamento fisiológico de dois cultivares de amendoim submetidos a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1963-1969, 1998.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.75-87, 2001.

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

OLIVEIRA, M.A.J. et al. Fotossíntese, condutância estomática, e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, v.59, n.01, p.59-63, 2002.



- OLIVEIRA, M.S. de **Efeito do déficit hídrico aplicado em diferentes fases do ciclo fenológico do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). cv. Eriparsa**. Lavras: ESALQ, 1987. 60 p. (Dissertação. Mestrado em Fitotecnia). Escola Superior Agronomia Luiz de Queiroz, Lavras, São Paulo, 1987.
- PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.161-169, 2005
- PASSOS, C.D.; PASSOS, E.E.M. ; PRADO, C.H.B.A. 2005. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 27(2): 248-254
- PAVANI, L.C.; LOPES, A.S.; PEREIRA, G.T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 453-459, 2009.
- PAZZETTI, G. A.; CANO, M. A. O.; RESENDE, M. Aplicação da termometria por infravermelho a irrigação do feijoeiro (phaseolus vulgaris l.): parâmetros fisiológicos. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**, v. 4, n. 1, p. 27-31, 1992
- PEIXOTO, C.P. **Curso de Fisiologia Vegetal**. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA. Cruz das Almas [177 f] impressão eletrônica, 2011.
- PEIXOTO, P.H.P. et al. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n.4, p. 821-832, 2002.
- PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, p.42-52, 2002.
- PEREIRA, J.C.R. et al. Influência do manejo do solo, lâminas de água e doses de nitrogênio na produtividade do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 01, p. 13-19, 2004.
- PHENE, C.J. Techniques for computerized irrigation management. **Computer and Electronics in Agriculture**, New York, v. 3, n. 3, p. 189-208, 1989
- PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de La C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.31-39, 2000.
- PINTO, C.M. **Respostas morfológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, UFC.
- RAVEN, P.H., et al. **Biologia Vegetal**. Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 2001, 906p
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo, Manole, 2004. 478p.

RITCHIE, J.T.; BURNETT, E.; HENDERSON, R.C. Dryland evaporative flux in a subhumid climate. 3. Soil water influences. **Agronomy Journal**, Madison v.64, p.168-173, 1972.

RITCHIE, J.T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. **Plant Soil**, 58:81-96, 1981.

RODRIGUES, J. R. de M. et al. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, MG, v. 26, n.6, nov/dez. 2002. p. 1218 –1227.

RODRIGUES, C.M. **Irrigação localizana na cultura do feijoeiro**. 2009. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

ROSA, L.M. et al. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. **Annals of Botany**, London, v.67, n.1, p.51-8, 1991.

ROSENTHAL, W.D. et al. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.1019-1026, 1987.

SANTANA, E.V.P.; SILVEIRA, P.M. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 134-140, 2008.

SANTANA, M. J. et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 02, p. 532-538, 2009.

SANTOS, M.G. et al. Photosynthetic parameters and leaf water potential of Five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

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

SCHULZE, E.D. et al. Plant water balance. **BioScience**, 37:30-37, 1987.

SCHULZE, E. D. Soil, water deficits and atmospheric humidity as environmental signals. In **Water deficits: plant responses from cell to community**. Smith, J. A.C. and Griffiths, H. BIOS Scientific Publisher, Oxford, United Kingdom, 98-125, 1993.

SEIXAS, G.B. **Determinação da transpiração em plantas de Nim Indianos (*Azadirachta indica* A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. 2009. 88p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT.

SILVA, J.C.S. **Parâmetros de irrigação para o feijoeiro em diferentes solos e épocas de semeadura na região central do rio grande do sul**. 2008. 113p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Área de concentração Engenharia Agrícola, Santa Maria, 2008.

SILVEIRA, P. M. da et al. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, p. 257-263, 2001.

SIMÕES, W.L. **Influência de diferentes sistemas de microaspersão na distribuição de água no solo e nas respostas morofisiológicas do *Citrus latifolia* Tanaka sobre o porta enxerto *Citrus limonia* Osbeck.** 2007. 127p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Área de concentração Engenharia Agrícola, Viçosa, 2007.

SINCLAIR, T. R.; ALLEN JUNIOR, L. H. Carbon dioxide and water vapor exchange of leaves on field-grown citrus trees. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 33, p. 1166-1175, 1982.

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, v.35, p.118- 124, 1995.

SOUZA, C.R., et al. Troca gasosa de mudas de videiras, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.10, p.1221-30, 2001.

SOUZA, G.M. et al. Folhas assimétricas em feijoeiro sob deficiência hídrica exibem fotossíntese assimétrica. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 2, 2005.

SOUZA, R.P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**. V 51, p 45–56, 2004.

STEPPUHHN, H. Pre-irrigation of a severely-saline soil with in-situ water to establish dryland forages. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 6, p. 1543-1551, 2001

SYVERTSEN, J.; LLOYD, J.J. **Citrus**. In: SCHAFFER, B.; ANDERSON, P.C. eds. Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops. Florida, CRC Press, 1994. p. 65-9

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TÁVORA, F.J.A.F.; MELO, F.I.O. Respostas de cultivares de amendoim submetido a ciclos de deficiência hídrica: crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciência Agrônômica**, v. 22, n. 1/2, p.47-60, 1991.

THOMAS, D. S.; EAMUS, D.; SHANAHAN, S. Influence of season, drought and xylem ABA on stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure difference of trees of the Australian wet-dry tropics. **Australian Journal of Botany**, v. 48, p.143-151, 2000.

VIEIRA, E. H. N. **Sementes de feijão: produção e tecnologia.** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 2000. 270 p.

WUTKE, E. B. et al Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.621-633, 2000.

YONG, J. W. H.; WONG, S. C.; FARQUHAR, G. D. Stomatal responses to changes in vapor pressure difference between the leaf and air. **Plant, Cell and Environment**, 20: 1213-1216, 1997.

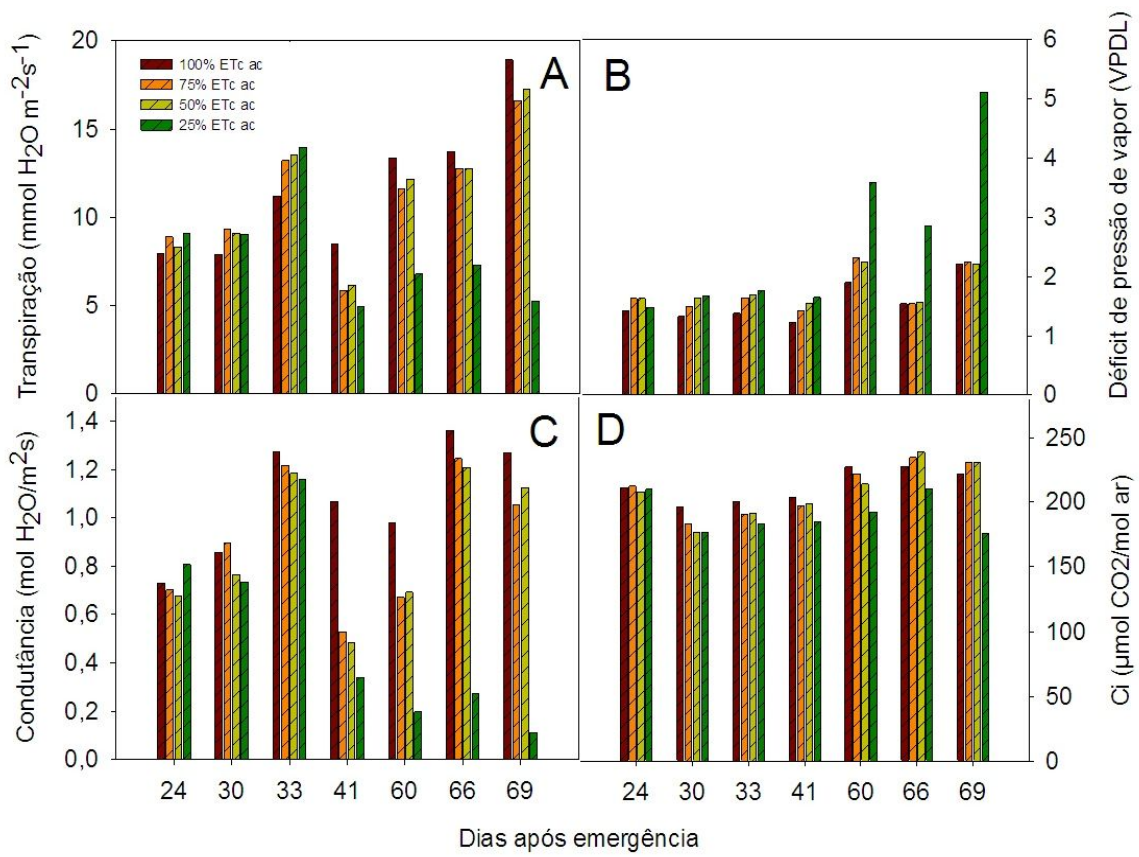
## **APÊNDICES**



APÊNDICE A – Escala fenológica do feijoeiro, adaptada de Dourado Neto e Fancelli (2000).  
Santa Maria, RS, 2012

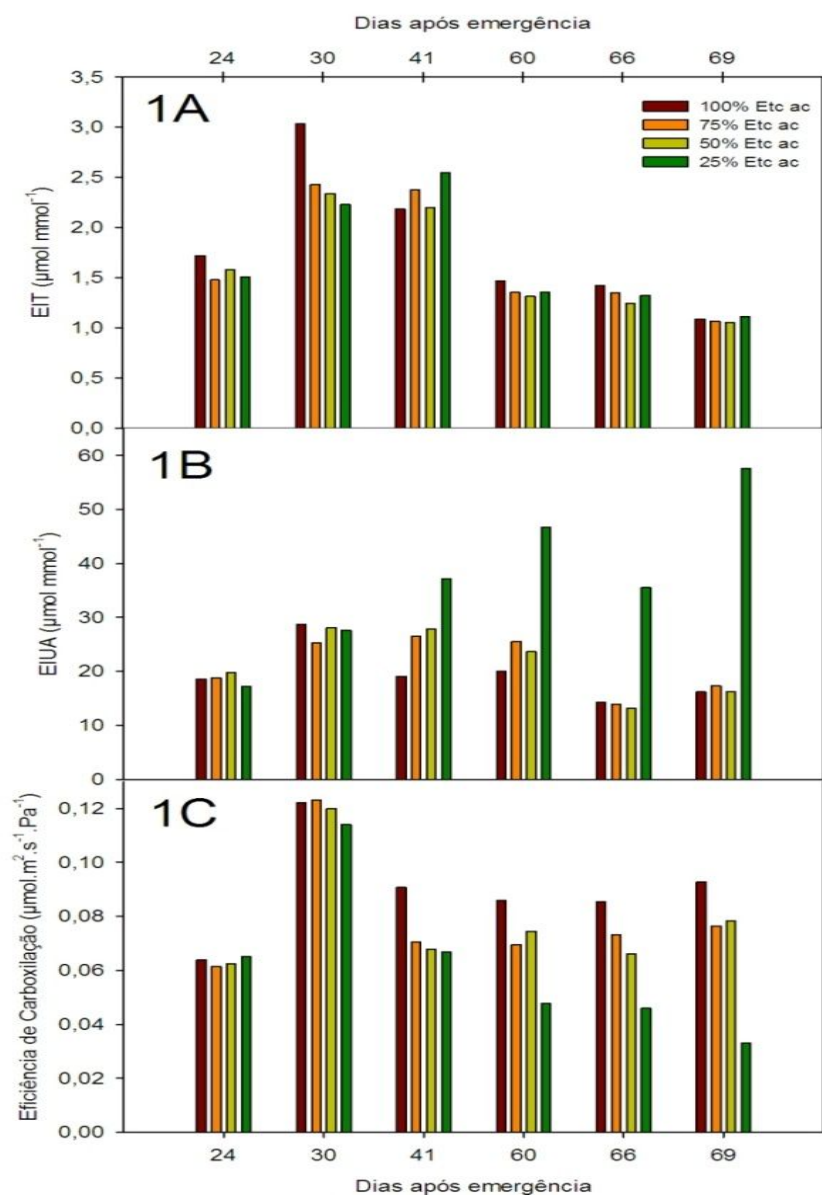
<b>Estáio</b>	<b>Data</b>	<b>Dias após emergência</b>
<b>Vegetativo</b>		
V0: germinação	26/09/2010	-
V1: emergência	02/10/2010	-
V2: folhas primárias	09/10/2010	7
V3: primeira folha trifoliolada	15/10/2010	13
V4: terceira folha trifoliolada	24/10/2010	22
<b>Reprodutivo</b>		
R5: pré-floração	10/11/2010	39
R6: floração	13/11/2010	42
R7: formação das vagens	18/11/2010	47
R8: enchimento das vagens	03/12/2010	62
R9: maturação fisiológica	23/12/2010	82
Colheita	04/01/2011	95

APÊNDICE B – A: Transpiração, B: déficit de pressão de vapor, C: condutância estomática, e D: concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.

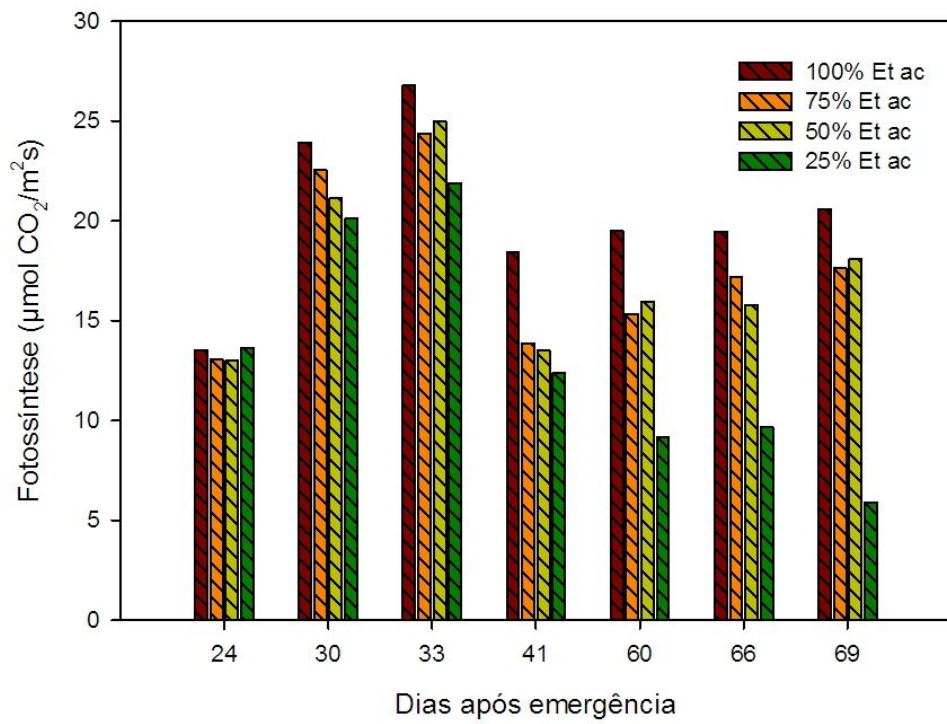




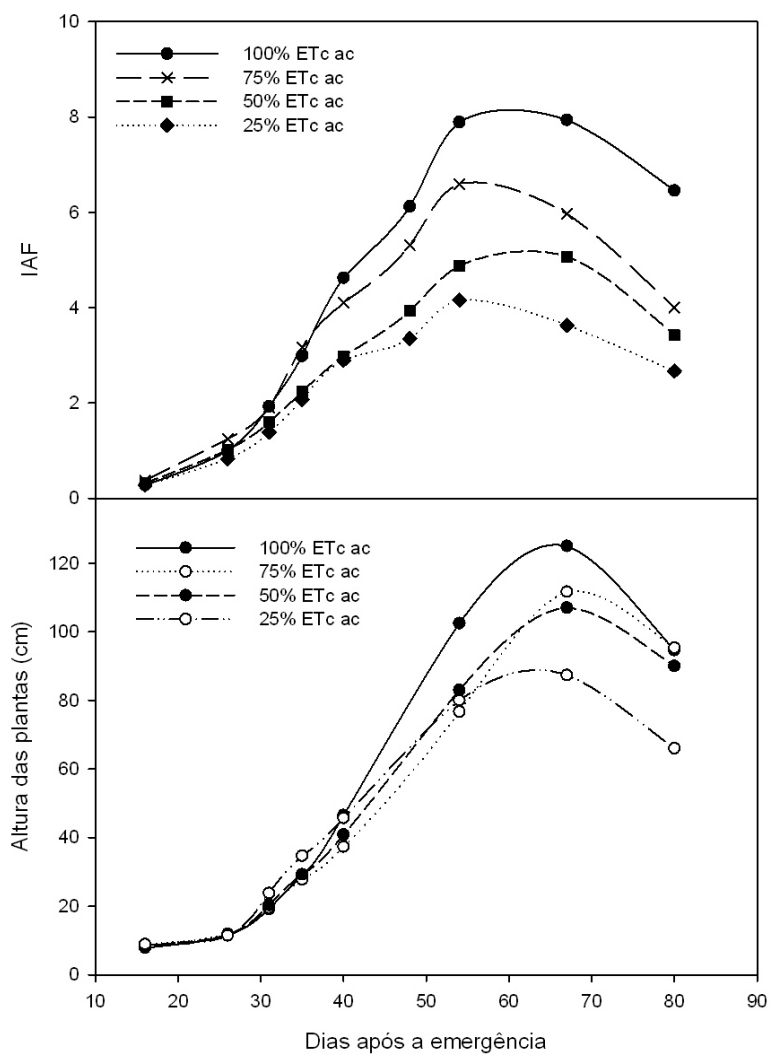
APÊNDICE C – 1ª: Eficiência Instantânea de Transpiração (EIT), 1B: eficiência intrínseca de uso da água (EIUA) e 1C: eficiência de carboxilação das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.



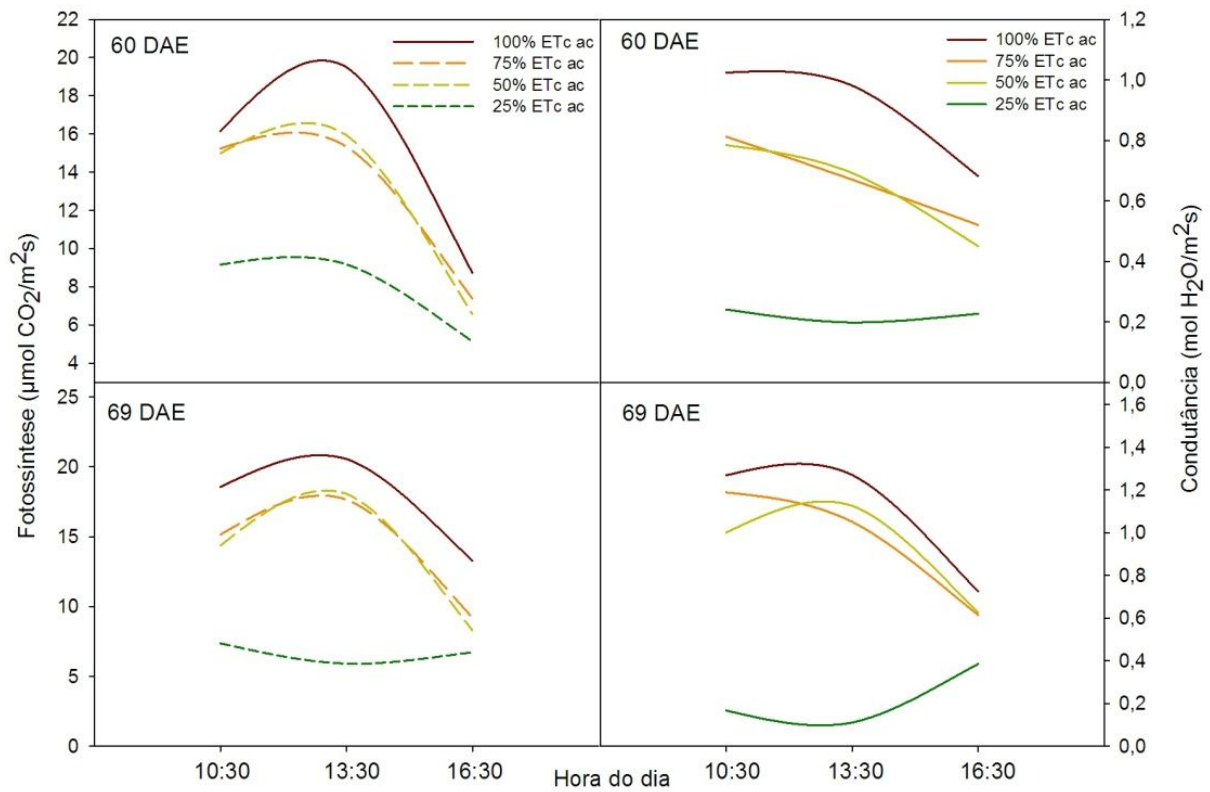
APÊNDICE D – Taxa fotossintética das plantas de feijão submetidas a irrigação deficitária ao longo do ciclo da cultura. Santa Maria, 2012.



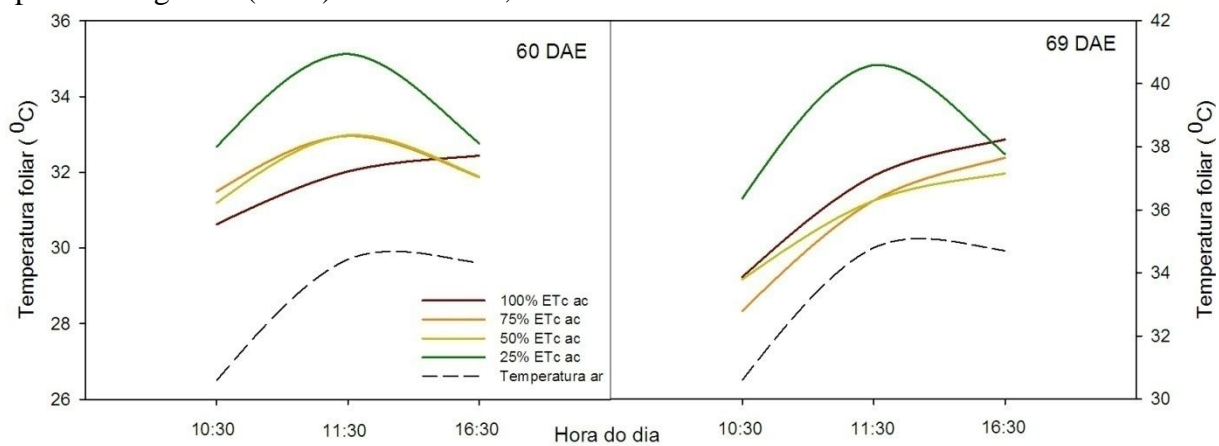
## APÊNDICE E – Índice de área foliar (IAF) e altura das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.



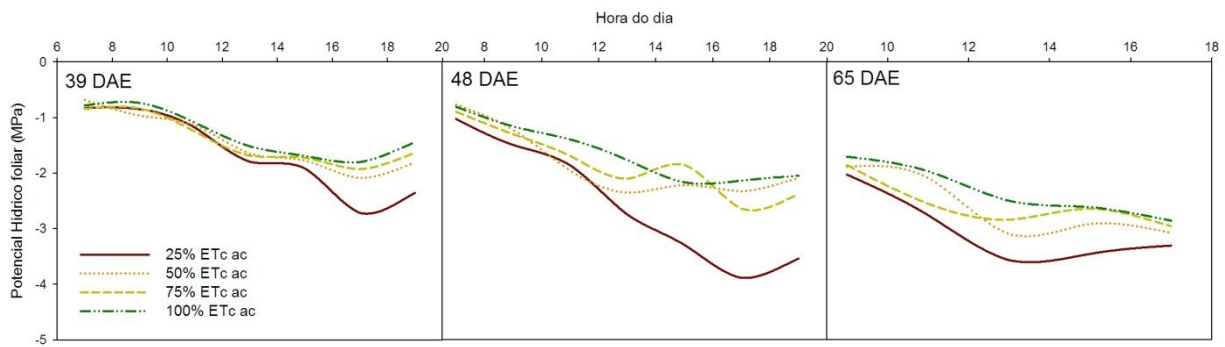
APÊNDICE F – Fotossíntese e condutância estomática das plantas de feijão aos 60 e 69 dias após emergência (DAE). Santa Maria, 2012.



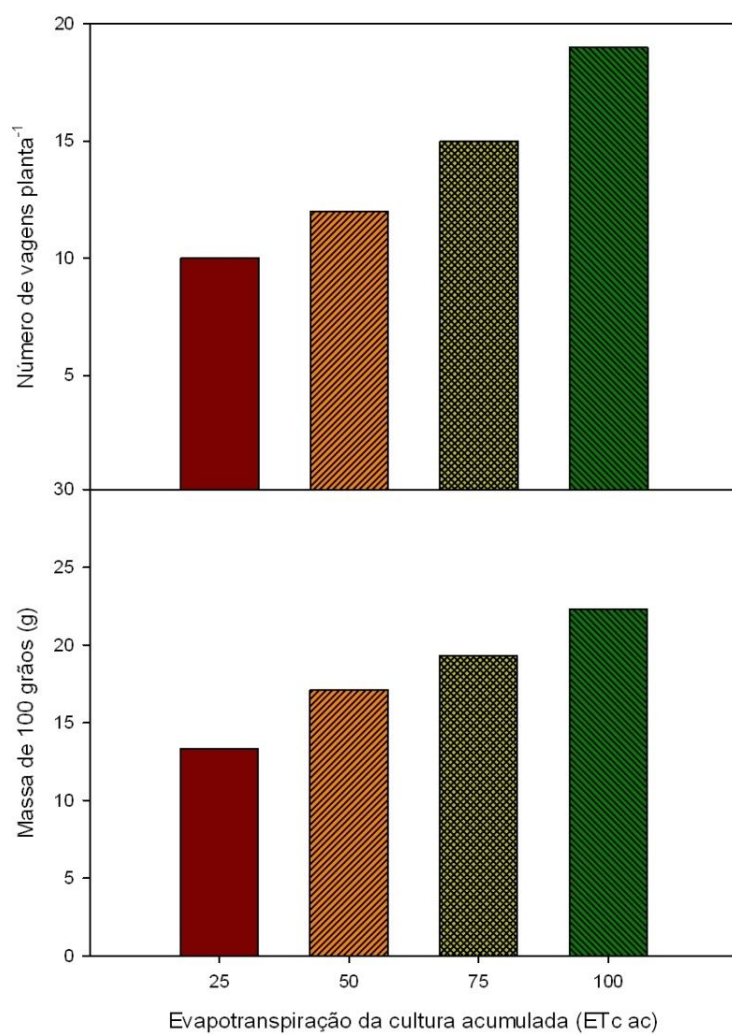
APÊNDICE G – Temperatura foliar das plantas de feijão e temperatura do ar aos 60 e 69 dias após a emergência (DAE). Santa Maria, 2012.

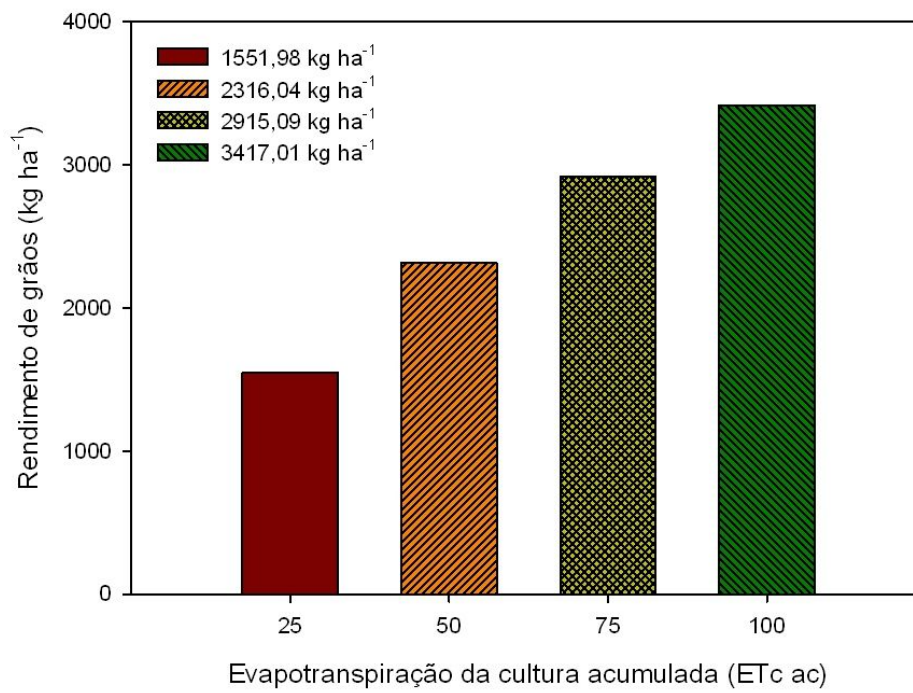


APÊNDICE H – Potencial hídrico foliar das plantas de feijão, aos 39, 48 e 65 dias após emergência (DAE). Santa Maria, 2012.



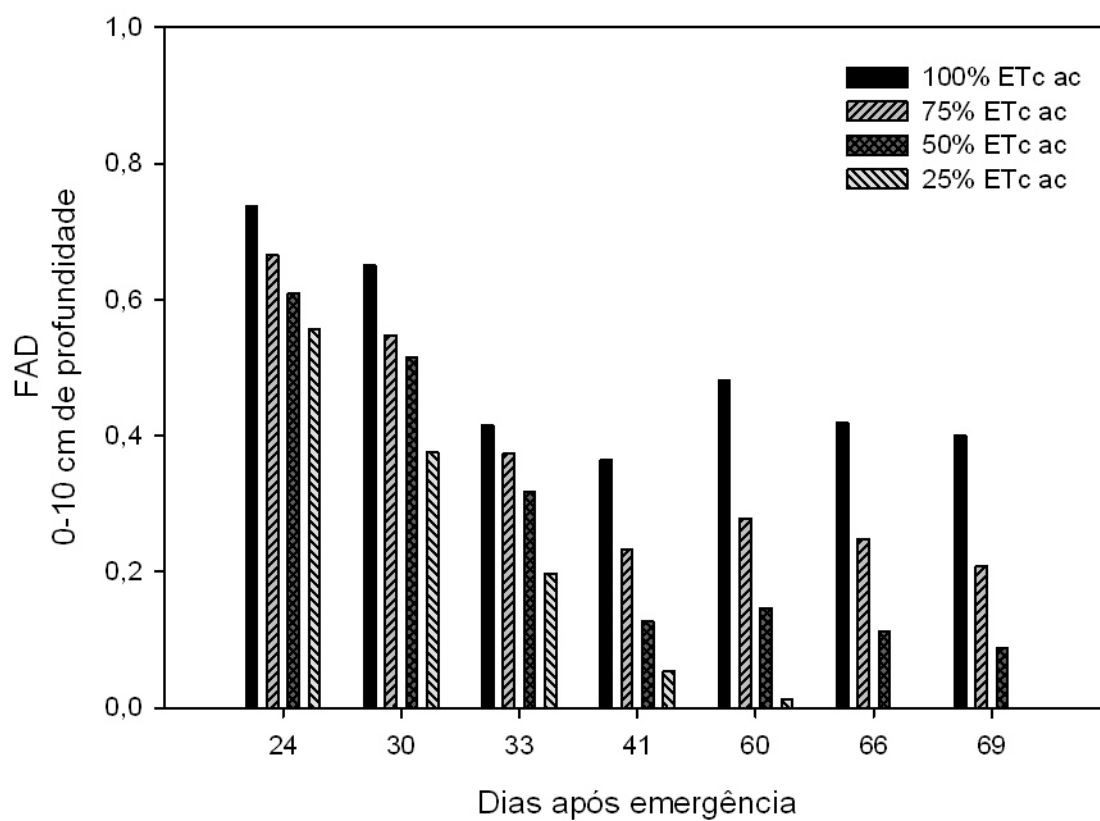
APÊNDICE I – Número de vagens por planta e massa de cem grãos (g) das plantas de feijão. Santa Maria, 2012.



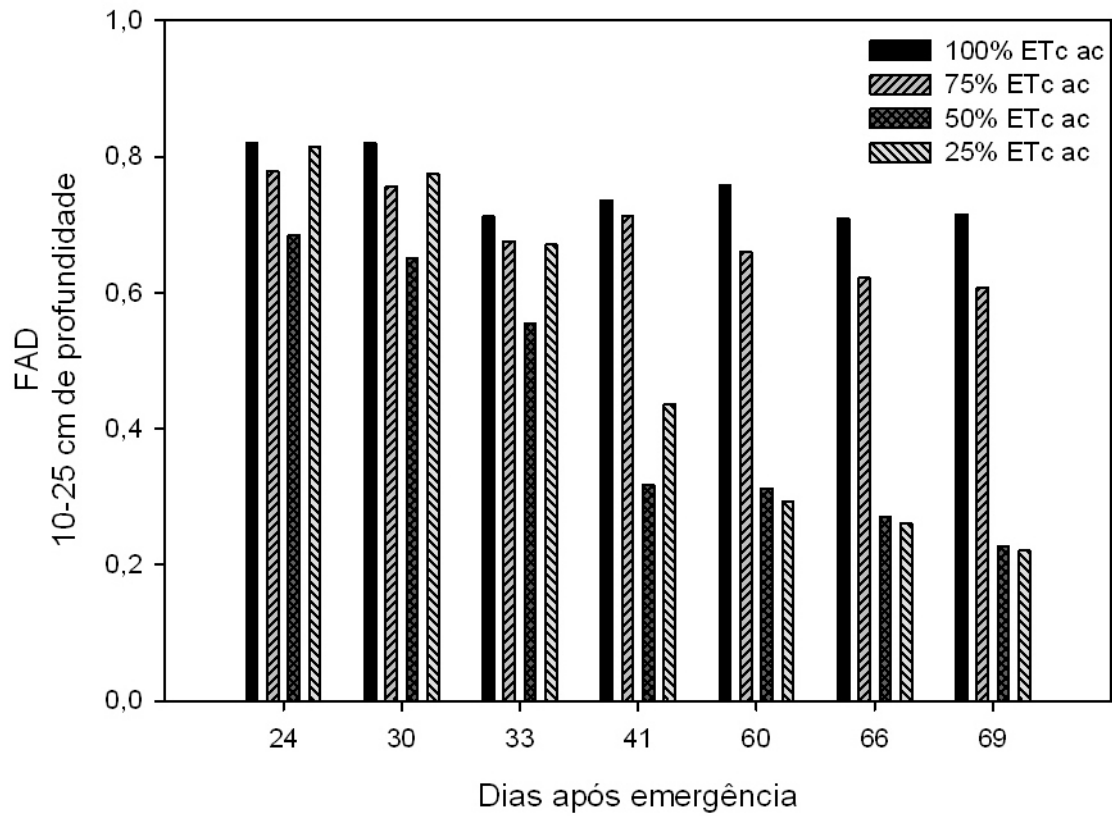
APÊNDICE J – Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do feijoeiro. Santa Maria, 2012.



APÊNDICE K– Fração de água disponível (FAD) no solo na profundidade de 0-10 cm. Santa Maria, 2012.



APÊNDICE L – Fração de água disponível (FAD) no solo na profundidade de 10-25 cm. Santa Maria, 2012.



APÊNDICE M – Fração de água disponível (FAD) no solo na profundidade de 25-55 cm. Santa Maria, 2012.

