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

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA NA CULTURA DO FEIJOEIRO NA DEPRESSÃO CENTRAL - RS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CLEBER MILLANI RODRIGUES

Santa Maria, RS, Brasil
2009

Irrigação Localizada na
Cultura do Feijoeiro na Depressão Central - RS

Por

Cleber Millani Rodrigues

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

Orientador: Prof. Toshio Nishijima

Santa Maria, RS, Brasil
2009

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

Irrigação Localizada na Cultura do Feijoeiro na Depressão Central - RS

Elaborado por

CLEBER MILLANI RODRIGUES

como requisito parcial para a obtenção de grau de

Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Toshio Nishijima, Dr.
(Presidente / Orientador)

Osvaldo König, Dr. (UFSM)

Claiton Ruviaro, Dr. (URI-Santiago)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

Rodrigues, Cleber Millani, 1980-

R696i

Irrigação localizada na cultura do feijoeiro na Depressão Central – RS / por Cleber Millani Rodrigues ; orientador Toshio Nishijima. - Santa Maria, 2009.
92 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2009.

1. Engenharia agrícola 2. Feijão 3. Lâminas críticas 4. Irrigação complementar 5. Gotejamento 6. Micro-aspersão I. Nishijima, Toshio, orient. II. Título

CDU: 635.652-167.46

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2009
Todos os direitos autorais reservados a Cleber Millani Rodrigues. A reprodução de partes ou todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.
Fone (0xx)55 91570179; Endereço Eletrônico: clebereng@gmail.com

Ofereço

Aos melhores pais do mundo

EDEMAR NUNES RODRIGUES E DIVA MILLANI RODRIGUES

Por tudo que fizeram para proporcionar as melhores condições para eu estudar,

Deixando inúmeras vezes de lado as suas realizações;

Pelo exemplo de vida;

Por me ensinarem o valor do trabalho, da nunca desistir de um sonho;

A cada sonho realizado sonhar ainda mais e mais;

Pelas tantas vezes que abriram mão de seus sonhos em favor dos meus;

Sem medir esforços para permitir que eu estudasse.

Demonstro aqui o meu respeito, a minha eterna gratidão, o meu carinho e o amor que sinto por vocês!

Dedico

A minha esposa ***FLAIANE TONETTO NETTO***

Pelas tantas vezes que deixei de estar ao seu lado;

Pelo amor, incentivo, compreensão e confiança durante essa jornada;

Por me ajudar em todo trabalho sem medir esforços;

Por deixar de fazer as suas coisas para me ajudar;

A você meu amor, meu profundo e sincero agradecimento!

Agradecimentos

A Deus, que é amparo, ilumina e nos encoraja para superar os momentos difíceis, infinito em Seu amor.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização do mestrado.

Ao professor Dr. TOSHIO NISHIJIMA, pelo apoio, pela amizade, pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos durante esta jornada e pela confiança.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Aos professores Osvaldo König e Reimar CARLESSO pela coorientação, amizade e pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A meus familiares, em especial a minha esposa Flaiane Tonetto Netto, meus pais Edemar Nunes Rodrigues e Diva Millani Rodrigues, meu irmão e minhas irmãs, meu sogro Luis Ceron Netto e minha sogra Leonir de Lourdes Tonetto Netto, pela ajuda, pelo apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

Aos amigos João Fernando, Carlos, Henrique, Marcos, Zanandra, pelo apoio e amizade.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

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

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA NA CULTURA DO FEIJOEIRO NA DEPRESSÃO CENTRAL - RS

AUTOR: CLEBER MILLANI RODRIGUES
ORIENTADOR: TOSHIO NISHIJIMA
Santa Maria, RS, Brasil, 27 de fevereiro de 2009.

As precipitações pluviais são normalmente mal distribuídas ao longo do ciclo produtivo do feijoeiro durante a segunda safra para a região central do Rio Grande do Sul, podendo afetar o seu potencial produtivo. A irrigação complementar torna-se uma ferramenta a ser adotada para que o feijoeiro não seja afetado pela deficiência hídrica. Para obter maiores garantias de colheita, os sistemas de irrigação são cada vez mais utilizados para suprir as necessidades hídricas das culturas, proporcionando melhores condições de cultivo e maior produtividade. A irrigação localizada é uma das alternativas utilizadas, mas normalmente para culturas perenes e/ou pequenas áreas. A irrigação localizada está sendo utilizada por proporcionar menor consumo energético e melhor eficiência na aplicação da água, desta forma, proporcionando melhor uso de um recurso cada vez mais escasso. O feijão tem valor de mercado elevado, o que contribui para o seu plantio em áreas com sistemas de irrigação e também por ser uma planta muito suscetível à deficiência hídrica. Buscando oferecer melhores parâmetros para os irrigantes, o presente trabalho teve como objetivos determinar a necessidade de irrigação complementar, verificar a relação entre sistemas de irrigação localizada e disponibilidade hídrica através de diferenciadas lâminas críticas de irrigação complementar para o feijoeiro. Foi utilizada a variedade BRS Valente semeada na safrinha na cidade de Santa Maria na depressão central do Rio Grande do Sul. Os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão foram utilizados para manter as lâminas críticas de irrigação complementar nos níveis máximos de 20, 40 e 60 mm de evapotranspiração máxima acumulada e um tratamento testemunha que não recebeu irrigação. A evapotranspiração de referência foi estimada a partir dos dados da estação meteorológica instalada na UFSM com a equação de Penman-Monteith. Foi verificada diferença entre os tratamentos nas lâminas de irrigação complementar para alguns fatores de produção e entre os sistemas de irrigação localizada por gotejamento e micro-aspersão.

Palavras chave: lâminas críticas, irrigação complementar, gotejamento, micro-aspersão.

ABSTRACT

Master Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

IRRIGATION LOCATED IN CULTURE OF BEAN DEPRESSION IN CENTRAL - RS

AUTHOR: CLEBER MILLANI RODRIGUES
ADVISOR: TOSHIO NISHIJIMA
Santa Maria, RS, Brazil, February 27th, 2009.

During the second harvest in the central region of Rio Grande do Sul, pluvial precipitations are usually irregularly distributed along the bean production cycle. This irregular distribution of rains during the bean cultivation can affect its productive potential. Complementary irrigation can be adopted in order to avoid drought stress. In current agriculture, irrigation systems have been increasingly used to supply crops and promote better conditions for cultivation, prompting an increase in productivity. The localized irrigation is one of these systems which are usually applied in perennial cultures and/or small areas. It has been used as a resource for diminishing energy consumption and for prompting more efficacy in water consumption. The bean culture has a high market price and is very susceptible to drought stress. These factors contribute for its cultivation in fields with the use of irrigation systems. Besides endeavoring to offer better parameters for irrigators, this work aims at determining the necessity of complementary irrigation and verifying the relation between localized irrigation systems and water availability by means of different critical water levels applied in complementary irrigation in bean crops. The variety used was the BRS Valente, seeded out-of-season in Santa Maria, central region of Rio Grande do Sul, Brazil. The micro-sprinkling and subsurface dripping irrigation systems were used to sustain the highest complementary irrigation depths in 20, 40 and 60 mm of maximum evapotranspiration accumulated and a control treatment without irrigation. The reference evapotranspiration was measured by means of a meteorological station installed at UFSM and its estimative was calculated by the Penman-Monteith equation. There were differences between the treatments in the complementary irrigation levels regarding some production factors and the different systems of irrigation (micro-sprinkling and subsurface dripping irrigation systems).

Keywords: critical irrigation depths, complementary irrigation, surface dripping irrigation, micro-sprinkling.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1- Infiltração acumulada de água no solo medida através da metodologia de duplo anel concêntrico. Santa Maria - RS. 43

GRÁFICO 2 - Variação da taxa de infiltração de água no solo medida através da metodologia de duplo anel concêntrico. Santa Maria - RS. 43

GRÁFICO 3 - Curva característica de água no solo em 4 profundidades ajustada pela metodologia de Van Ginuchten (1980), Santa Maria - RS. 44

GRÁFICO 4 - Valores de temperaturas do ar médias, máximas e mínimas obtidos na estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008 47

GRÁFICO 5 – Radiação solar medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008 49

GRÁFICO 6 – Velocidade do vento média diária, medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria _RS. 2008 50

GRÁFICO 7 – Umidade de ar medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008 50

GRÁFICO 8 – Número de horas de sol medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008 51

GRÁFICO 9 – Precipitação pluviométrica medida pelo pluviômetro instalado junto a área experimental, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008 52

GRÁFICO 10 Valores e ETo e ETm calculados pelos valores observados na estação climatológica, estimados pela equação 8 (Penmam–Montheith) e calculados com os valores do Kc do feijoeiro durante os estágios do feijoeiro, da emergência (21/01/2008) até a colheita do feijoeiro, em Santa Maria - RS. 53

GRÁFICO 11 – Representação das evapotranspirações acumuladas para todos os tratamentos de irrigação complementar, o tratamento testemunha e as precipitações que ocorreram da emergência (21/01/2008) até a colheita do feijoeiro; Santa Maria - RS. 2008 54

GRÁFICO 12– Evapotranspirações máximas acumuladas (ETma) durante o ciclo do feijoeiro para os dois sistemas de irrigação complementar e o tratamento testemunha, com as respectivas irrigações e precipitações que ocorreram da emergência (21/01/2008) até a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008. 55

GRÁFICO 13 – Alturas médias de plantas de feijoeiro por tratamento nas parcelas, Santa Maria - RS. 2008. 57

GRÁFICO 14 – Valores médios de número de nós na haste principal de cada tratamento nos dois sistemas de irrigação. Santa Maria - RS. 2008. 59

GRÁFICO 15 – Valores médios de massa seca da parte aérea do feijoeiro coletado no início de enchimento das vagens(estágio R8) para os dois sistemas de irrigação. Santa Maria - RS. 2008. 61

GRÁFICO 16 – Valores médios de área foliar por planta no sistema de gotejamento e de micro-aspersão. Santa Maria - RS. 2008. 64

GRÁFICO 17 - Valores médios de número de vagens.planta^{-1} no sistema de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008. 66

GRÁFICO 18 - Valores médios de número de grãos.vagem^{-1} para cada planta no sistema de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008. 69

GRÁFICO 19 - Valores médios de massa de 100 grãos para cada planta no sistema de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008. 71

GRÁFICO 20 - Valores médios de produtividade de grãos para os sistemas de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão, segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008. 73

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapas relacionados a índices de satisfação necessidade de água (ISNA) para a cultura do feijoeiro no período de 15 de agosto à 15 de fevereiro; FONTE: MALUF et al., (2001). 25

FIGURA 2 Teste de infiltração de água no solo, com a utilização da metodologia do duplo anel concêntrico. Santa Maria – RS (2008). 33

FIGURA 3 - Distribuição das parcelas a campo para os dois sistemas de irrigação e as bordaduras; 20, 40 e 60 correspondem as evapotranspirações acumuladas avaliadas e testemunha (Test). Santa Maria - RS. 2008. 37

FIGURA 4 – Esquema de estabelecimento dos tratamentos. 41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Escala fenológica do feijoeiro comum proposta por Gepts (1983). 21

TABELA 2 - Coeficiente cultura (kc) para o feijoeiro em diferentes sub-períodos de desenvolvimento. 39

TABELA 3 - Análise textural pelo método de Vettori com utilização de agitador horizontal. 44

TABELA 4 - Diagnóstico para adubação e calagem da análise de solo da área experimental. Santa Maria _RS. 45

TABELA 5 - Análise de variância conjunta para altura de planta entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão. Foram avaliados 4 tratamentos com 4 repetições, Santa Maria - RS. 57

TABELA 6 – Análise de variação para altura de planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. 58

TABELA 7 - Análise de variação para altura de planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 59

TABELA 8 - Análise de variância conjunta para número de nós entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 60

TABELA 9 - Análise de variação para número de nós em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. 60

TABELA 10 - Análise de variação para número de nós em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 61

TABELA 11 - Análise de variância conjunta para massa seca da parte aérea entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 62

TABELA 12 - Análise de variação para massa seca da parte aérea em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. 62

TABELA 13 - Análise de variação para massa seca da parte aérea em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 63

TABELA 14 - Análise de variância conjunta para área foliar entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 64

TABELA 15 - Análise de variação para área foliar em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão , Santa Maria - RS. 65

TABELA 16 - Análise de variação para área foliar em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 65

TABELA 17 - Análise de variância conjunta para número de vagem por planta entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 67

TABELA 18 - Análise de variação para número de vagem por planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. . 67

TABELA 19 - Análise de variação para número de vagem por planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 68

TABELA 20 - Análise de variância conjunta para número de grãos.vagem^{-1} entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 69

TABELA 21 - Análise de variação para número de grãos por vagem em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. . 70

TABELA 22 - Análise de variância conjunta para massa de 100 grãos entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 70

TABELA 23 - Análise de variância conjunta para massa de 100 grãos entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 71

TABELA 24 - Análise de variação para massa de 100 grãos em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. 72

TABELA 25- Análise de variação para massa de 100 grãos em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 73

TABELA 26 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS. 74

TABELA 27 - Análise de variação para produtividade em kg.ha^{-1} em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS. 74

TABELA 28 - Análise de variação para produtividade em kg.ha^{-1} em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS. 75

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Equações para calculo da infiltração de água no solo. 88

ANEXO B: Equações para o calculo da evapotranspiração de referência 89

INDICE

1 INTRODUÇÃO 17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO 19
2.2 ASPECTOS EDÁFICOS NO CULTIVO DO FEIJOEIRO 22
2.2.1 CONDIÇÕES FÍSICAS 22
2.2.2 CONDIÇÕES QUÍMICAS 23
2.3 ÉPOCA DE SEMEADURA RECOMENDADA 24
2.4 ASPECTOS CLIMATICOS NO CULTIVO 26
2.5 OS TRATOS CULTURAIS NA CULTURA DO FEIJOEIRO 27
2.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA 27
2.7 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA 29
3 MATERIAL E MÉTODOS 31
3.1 LOCAL 31
3.2 VARIEDADE 31
3.3 SOLO 32
3.3.1 CLASSIFICAÇÃO DE SOLO 32
3.3.2 AVALIAÇÕES FÍSICAS 32
3.3.2.1 Infiltração de água no solo 32
3.3.2.2 Textura 33
3.3.2.3 Curva característica de retenção de água no solo 34
3.3.3 AVALIAÇÃO QUÍMICA 35
3.4 DADOS METEOROLÓGICOS 35
3.5 SEMEADURA 36
3.5.1 PREPARO DO SOLO 36
3.5.2 SEMEADURA 36
3.5.3 DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS 36
3.6 TRATOS CULTURAIS 37
3.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA 38
3.8 MONTAGEM DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA 39
3.9 OS TRATAMENTOS DE IRRIGAÇÃO 40
3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA 41

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 42
4.1 SOLO 42
4.1.1 CLASSIFICAÇÃO DE SOLO 42
4.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO 42
4.1.2.1 Infiltração de água no solo 42
4.1.2.2 Textura 44
4.1.2.3 Curva característica de água no solo 44
4.1.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO 45
4.2 TRATAMENTOS CULTURAIS REALIZADOS 46
4.3 CLIMA 46
4.3.1 TEMPERATURA 46
4.3.2 RADIAÇÃO SOLAR 48
4.3.3 VELOCIDADE DO VENTO 49
4.3.4 UMIDADE RELATIVA DO AR 50
4.3.5 NÚMERO DE HORAS DE SOL 51
4.3.6 PRECIPITAÇÃO 52
4.4 **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA** 53
4.5 A IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR NA CULTURA DO FEIJOEIRO 53
4.5.1 ALTURA DE PLANTA 56
4.5.2 NÚMERO DE NÓS.PLANTA^{-1} 59
4.5.3 MASSA SECA DA PARTE AÉREA 61
4.5.4 ÁREA FOLIAR 63
4.5.5 NÚMERO DE VAGENS.PLANTA^{-1} 66
4.5.6 NÚMERO DE GRÃOS.VAGEM^{-1} 68
4.5.7 MASSA DE 100 GRÃOS 71
4.5.8 PRODUTIVIDADE 73
5 CONCLUSÕES 76
6 REFERÊNCIAS 77
ANEXOS 87

1 INTRODUÇÃO

O feijão cultivado em diferentes regiões no Rio Grande do Sul é afetado por pequenos ou grandes períodos de deficiência hídrica ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, causando a redução da sua produtividade. Os períodos de deficiência hídrica ocorrem devido à distribuição desuniforme das precipitações pluviais. Para tanto, a irrigação poderá ser utilizada nas principais áreas comerciais de cultivo para garantir a produção do feijoeiro (BALARDIN 2000).

Uma indicação importante negligenciada pelos agricultores é a semeadura nas épocas recomendadas para cada região. Este fato pode ocasionar perdas significativas devido aos fatores climáticos, principalmente a temperatura do ar e a precipitação pluvial. No Rio Grande do Sul é recomendada a semeadura do feijoeiro em duas épocas: primavera (das águas) que vai de agosto a outubro e da seca (safrinha), de janeiro a fevereiro.

A variabilidade climática pode ser considerada um dos fatores determinantes para que a produtividade esteja em patamares abaixo dos desejados. Dentre os fatores climáticos que possuem grande variabilidade é a precipitação pluvial. Desta forma, a disponibilidade e a distribuição da precipitação pluvial representam alguns dos critérios determinantes da produtividade. A manutenção da disponibilidade de água no solo pode ser obtida através do uso de técnicas de irrigação para suprir a demanda hídrica da cultura.

A distribuição desuniforme da precipitação pluvial é um fator que causa a deficiência hídrica moderada e/ou severa no feijoeiro acarretando perda de produtividade. A distribuição das precipitações pluviais é variável e a irrigação complementar é uma ferramenta que pode ser utilizada para suprir a deficiência hídrica da cultura. A deficiência hídrica normalmente ocorre em maior ou menor intensidade nas diversas regiões do Rio Grande do Sul atingindo a cultura em diferentes épocas do seu ciclo de desenvolvimento. As perdas de produtividade são significativas quando a deficiência hídrica coincide com períodos críticos de desenvolvimento da cultura.

A irrigação complementar é a aplicação de água através dos sistemas de irrigação para suprir as necessidades das culturas pela falta de precipitação pluvial durante diferentes períodos, quando a evapotranspiração da cultura supera a disponibilidade de água pelo solo. Desta forma, a irrigação complementar possibilita suprir a necessidade de água requerida pela cultura durante o período de má distribuição das precipitações. A irrigação complementar

poderá minimizar os efeitos da precipitação pluvial desuniforme que vier a atingir a cultura do feijoeiro nos períodos críticos do seu ciclo de desenvolvimento.

O conhecimento da quantidade e o momento de disponibilizar a água requerida pelas culturas constituem-se como aspectos importantes para a adequada programação do manejo de irrigação. Segundo Hernandez (1994), existem várias metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação, que vão desde simples turnos de rega aos completos esquemas de integração do sistema solo-água-planta-atmosfera.

A utilização da irrigação complementar através da irrigação localizada é uma alternativa para atender a crescente necessidade de economia de água e energia. A economia de água está relacionada à forma de sua aplicação e de necessitar pouca energia para o seu funcionamento. A irrigação localizada por gotejamento e micro-aspersão é utilizada em áreas de culturas perenes e anuais, onde a aplicação de água é feita na região próxima ao sistema radicular de cada planta.

Existe a necessidade de estudos regionalizados para avaliar a irrigação complementar para possibilitar a adequação das principais culturas com as condições de distribuição desuniforme da precipitação pluvial de cada região com a complementação da necessidade de água pela irrigação.

O presente trabalho teve por objetivo geral: avaliar o desempenho da irrigação complementar do feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul através da irrigação localizada, com os seguintes objetivos específicos:

a) determinar a necessidade de irrigação complementar para a cultura do feijoeiro;

b) verificar a lâmina crítica de irrigação complementar para o feijoeiro cultivado na segunda época, na região central do Rio Grande do Sul;

c) avaliar parâmetros de produtividade do feijoeiro entre os dois sistemas de irrigação localizada: gotejamento e micro-aspersão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO FEIJOEIRO

A origem do feijão (Phaseolus vulgaris, L.) é muito discutida entre os autores. Alguns consideram que a sua origem é sul americano e outros consideram de origem asiática e até mesmo desconhecida (EMBRAPA, 2006).

Segundo a Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2002/2003 (SANTA CATARINA, 2003), em 2002 cerca de 65 % da produção mundial foi obtida em apenas seis países (Brasil, Índia, México, Mianmar, Estados Unidos e China). O Brasil foi o maior produtor mundial de feijão, responsável por 16,5 % da produção mundial, seguido pela Índia e México, responsáveis, respectivamente, por 16,4 % e 9 % da produção.

A produção nacional de feijão obtida em 2006, considerando as três safras, totalizou 3.455.918 toneladas, o que corresponde a um incremento de 14,4% em relação ao ano anterior. Isso ocorreu em virtude dos bons preços praticados no mercado. O produto é cultivado em todo o território nacional, sendo que cinco estados (Paraná, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás) foram responsáveis por cerca de 64,2 % do total produzido no País. Minas Gerais é o principal produtor com 818.015 toneladas, equivalentes a 23,7% do total nacional e São Paulo com produção de 296.270 toneladas representando 8,6 % de participação no volume total produzido no Brasil, (IBGE, 2007).

Segundo o Atlas Sócio Econômico Do Rio Grande Do Sul (2007), o Rio Grande do Sul possui a oitava produção de feijão do país, com 109.624 toneladas. A participação na produção nacional vem diminuindo de 5,2 % para 4,8 % e de 4,8 para 3,5 %, considerando a média dos períodos 1998 a 2000, 2001 a 2003 e 2004 a 2006.

As variedades classificadas como feijoeiro do tipo II, apresentam bom potencial produtivo e adequada capacidade de compensação no número de grãos.vagem^{-1} e vagem.planta^{-1}, quando da redução de estande (número de indivíduos na área menor que o recomendado), embora inferior àquela correspondente às plantas do tipo III.

De acordo com Neto e Fancelli (2000), as plantas pertencentes ao tipo II apresentam hábito de crescimento indeterminado sendo que, a haste principal tem tendência de crescimento francamente vertical, apresentado os ramos laterais não numerosos e geralmente

curtos, o que confere o aspecto arbustivo à planta. Como todas as plantas de hábito de crescimento indeterminado, elas continuam crescendo mesmo durante a floração.

As plantas do tipo II propiciam adequada distribuição das flores e, conseqüentemente, das vagens na planta. Isto assegura melhor qualidade dos grãos, mesmo quando da ocorrência de período úmido no final do ciclo da cultura, por não possibilitar o contato da maioria das vagens produzidas com o solo (NETO; FANCELLI, 2000).

A escolha da variedade foi baseada nos resultados obtidos por Hoffmann Júnior et. al., (2007b) que ao avaliar a variedade BRS Valente consideram as suas características fenológicas, reprodutivas e dos componentes da produção apresentam tolerância à alta temperatura do ar durante o sub-período R5 - R7. No entanto, segundo Didonet (2001), esta variedade apresentou um incremento na taxa de abortamento de flores de 20 a 50 % em condições de alta temperatura do ar quando comparado as cultivares “Pérola” e “Valente” sem estresse térmico.

A descrição e a caracterização dos estágios fenológicos segundo Neto e Fancelli (2000) estão apresentados na TABELA 1. A identificação dos estágios fenológico possibilita o estabelecimento de estratégias efetivas de manejo visando à obtenção de rendimentos satisfatórios. Os rendimentos e os riscos climáticos variam de acordo com as condições meteorológicas, com a época de semeadura recomendada para cada região.

A época de semeadura, de acordo com Fancelli e Neto (2000), é determinada pela variação de temperatura e pela distribuição das chuvas. Assim, o conhecimento do comportamento climático da região, dos períodos críticos da cultura e dos limites de conforto térmico da espécie possibilita determinar a melhor época para plantio da cultura.

A cultura de feijão, tradicionalmente, apresenta três épocas básicas de semeadura, ou seja, "época das águas" (agosto a novembro), "época da seca" (janeiro a março) e época de inverno ou "terceira época" (abril a julho). A semeadura de terceira época é realizada em locais que apresentam período de outono-inverno relativamente quente (temperatura mínima superior a 16°C e baixa umidade relativa do ar) e disponibilidade de irrigação. A combinação desses fatores tem propiciado a obtenção de rendimentos elevados, segundo EMBRAPA (2003).

No Rio Grande do Sul a principal safra é semeada na primavera: de agosto a outubro, onde a colheita ocorre entre os meses de novembro a janeiro, ficando com o ciclo de desenvolvimento em um período que pode ocorrer déficit hídrico, principalmente no final do ciclo. A safrinha (safra da seca), semeada entre os meses de janeiro a fevereiro, fica com

maior probabilidade de ocorrência de déficit hídrico, devido a maior demanda evaporativa atmosférica e pela distribuição desuniforme da precipitação pluvial.

TABELA 1 - Escala fenológica do feijoeiro comum proposta por Gepts (1983).

Estágio	Descrição
	Vegetativo
V0	Germinação: absorção de água pela semente; emissão da radícula e sua transformação em raiz primária.
V1	Emergência: os cotilédones aparecem ao nível do solo, separam-se e o epicótilo começa seu desenvolvimento.
V2	Folhas primárias: folhas primárias totalmente abertas.
V3	Primeira folha trifoliada: abertura da primeira folha trifoliada e aparecimento da segunda folha trifoliada.
V4	Terceira folha trifoliada: abertura da terceira folha trifoliada e formação de RAMOS nas gemas dos nós inferiores
	Reprodutivo
R5	Pré-floração: aparecimento do primeiro botão floral e do primeiro racemo.
R6	Floração: abertura da primeira flor.
R7	Formação das vagens: aparecimento da primeira vagem até apresentar 2,5 cm de comprimento.
R8	Enchimento das vagens: início do enchimento da primeira vagem (crescimento da semente).
R9	Maturação fisiológica: as vagens perdem sua pigmentação e começam a secar.

O momento da colheita constitui um fator de grande importância para a obtenção de grãos de boa qualidade. A colheita deve ser realizada no momento em que as plantas atingem a maturidade fisiológica, que é caracterizado pela mudança de cor das vagens (amarela ou pigmentada) e dos grãos segundo Fancelli e Neto (1997), obedecendo aos padrões da variedade considerada. Lollato (1989) ressalta que, após atingir a maturidade fisiológica, os grãos não mais recebem os produtos da fotossíntese e não mais se evidencia o acúmulo de matéria seca. A partir dessa etapa, os grãos passam a perder água até atingirem o equilíbrio higroscópico com o ambiente. Portanto, para que a colheita seja executada com maior eficiência é necessário que as plantas permaneçam no campo por um período de tempo que permita a redução da umidade dos grãos até atingirem níveis compatíveis à realização da

operação. Fancelli e Neto (2000) relata que a colheita de feijão deverá ser efetuada no momento em que as plantas apresentarem 70 - 80 % de desfolha.

A viabilidade da irrigação do feijão da safra das águas foi demonstrada por Caixeta (1978), Garrido et al., (1979), Azevedo (1984), Costa (1987) e Paz et al., (1997), sendo possível obter produtividades consideradas muito superiores às tradicionais, além da estabilidade na produção devido à minimização das incertezas relativas à distribuição desuniforme da precipitação pluvial.

2.2 ASPECTOS EDÁFICOS NO CULTIVO DO FEIJOEIRO

Os solos soltos, leves, de textura areno-argilosa, mais ou menos profundos, ricos em matéria orgânica e em elementos fertilizantes são recomendados para a cultura do feijoeiro porque eles possuem seu sistema radicular pouco desenvolvido. Portanto, os solos arenosos e permeáveis possibilitam maior capacidade no desenvolvimento do sistema radicular. A adubação do feijoeiro é uma prática indispensável nos solos brasileiros, devendo-se sempre levar em conta à complexidade dos fatores inerentes a esta prática e às peculiaridades de solo, clima e de aspectos sócio econômicos de cada região.

2.2.1 CONDIÇÕES FÍSICAS

As condições físicas do solo eram muito desprezadas na agricultura, mas na atualidade os produtores que buscam utilizar melhor capacidade produtiva de suas áreas têm alterado algumas das atribuições físicas do solo para melhorar as condições de cultivo.

A matriz do solo é a base de formação, devido às diversas configurações que formam cada solo, onde as partículas sólidas variam muito em forma, tamanho, distribuição, arranjamento, composição química e composição biológica. Para tanto o solo forma um sistema trifásico onde os fatores levados em consideração são: sólidos, líquido e gasoso.

Nos estudos da física dos solos, a avaliação qualitativa e quantitativa, proporciona entender os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos. A importância prática de

se entender o comportamento físico do solo está associada ao seu uso e a forma de manejá-lo apropriadamente para manter a sua condição ou para providenciar as melhorias necessárias para o melhor desenvolvimento das culturas e melhor aproveitamento da água.

2.2.2 CONDIÇÕES QUÍMICAS

As condições químicas de um solo podem ser alteradas a partir da utilização de adubos e corretivos de pH, proporcionando condições mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura. A lavoura deve ser instalada em solos com acidez fraca a mediana ($pH_{água}$ entre 5,5 a 6,5). Em solos pobres em matéria orgânica normalmente não favorecem a produtividade satisfatória do feijoeiro (concentrações entre 11 e 15 g/kg solo com textura arenosa e de 31 a 45 g/kg solo com textura argilosa), segundo Cargnin (2002).

Na profundidade entre 0 a 20 cm, o solo deve apresentar teores adequados de cálcio, magnésio, potássio e fósforo para se obter boa produção. Para isso, o solo deve favorecer o crescimento radicular em profundidade, pois raízes mais profundas oferecem à planta melhores condições para sobreviver aos veranicos que normalmente ocorrem no Rio Grande do Sul. Todavia, o crescimento radicular em profundidade pode ser impedido por uma barreira química, ou seja, abaixo de 20 cm de profundidade, onde a correção da acidez pela calagem é menos eficaz, implicando em altos teores de alumínio que geram problemas nutricionais ao feijoeiro (exemplo do alumínio impede a absorção de fósforo pela planta e dificulta a divisão celular das raízes). Neste caso, o condicionamento do solo pela gessagem é bastante recomendável.

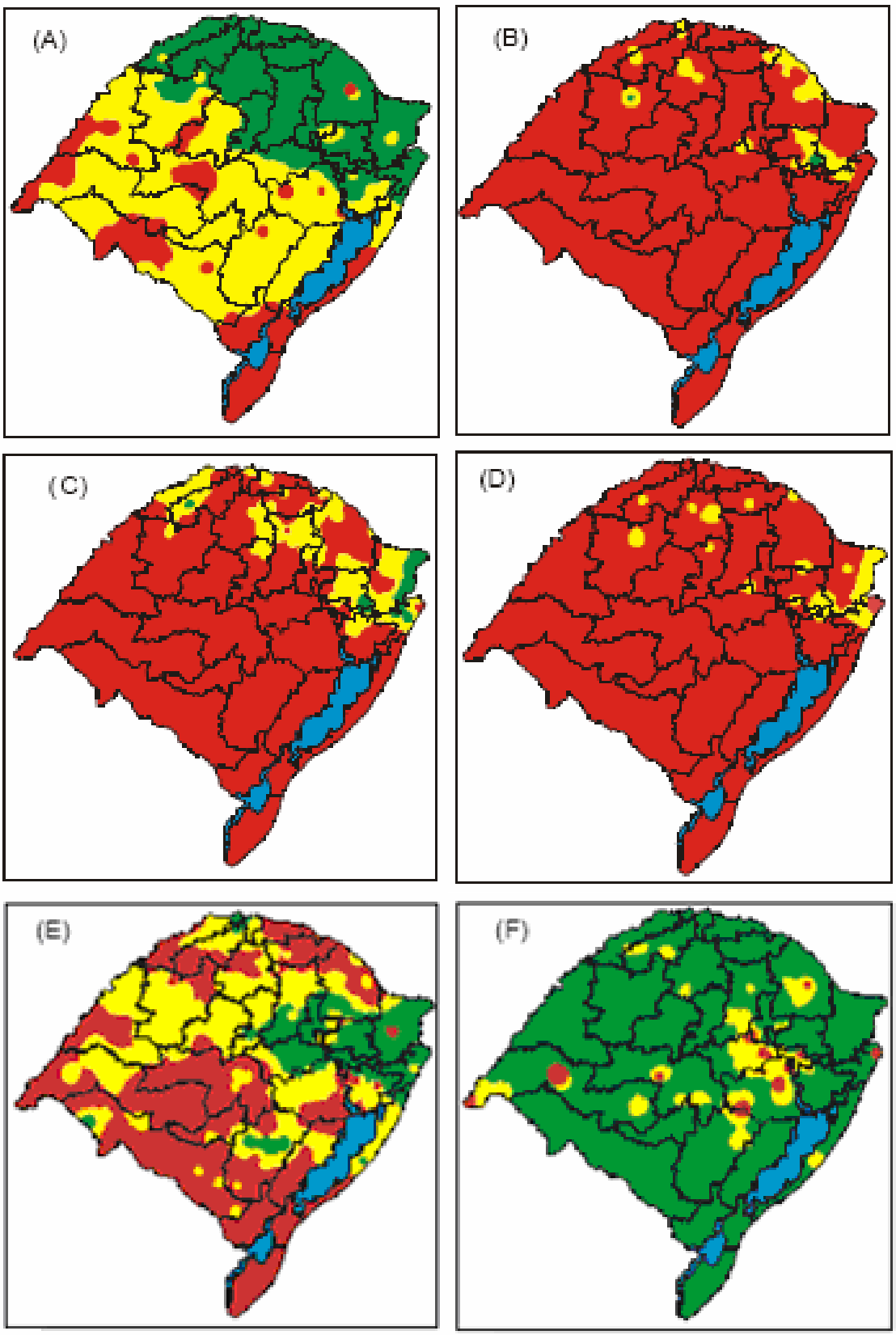
De acordo com Neto e Fancelli (2000), o parcelamento da adubação nitrogenada será necessário quando a cultura for instalada em solo com teor de argila inferior a 30 % e a quantidade de nitrogênio (N) a ser utilizada for superior a 60 $kg.ha^{-1}$.

2.3 ÉPOCA DE SEMEADURA RECOMENDADA

A época de semeadura da cultura do feijão segundo Zoneamento de Riscos Climáticos Para a Cultura de Feijão no Rio Grande do Sul realizado por Maluf et al., (2001) é apresentada na FIGURA 1. caracteriza os riscos climáticos pelo Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) para uma cultivares de feijão com ciclo de 100 dias no estado do Rio Grande do Sul, considerando a CAD no solo de 35 mm, nas épocas de semeadura de 15 de agosto (A), 15 de setembro (B), 15 de outubro (C), 5 de novembro (D), 15 de janeiro (E) e 15 de fevereiro (F).

Segundo Gonçalves et al., (1997) e Massignam et al., (1998 b), ocorre queda na produtividade do feijoeiro submetido a temperaturas máximas superiores a 28 e 30 ºC durante o período floração (R6), sendo que a diminuição da produtividade é potencializada se no mesmo período a planta estiver submetida ao déficit hídrico.

Na busca de minimizar os efeitos das altas temperaturas deve-se evitar que a as plantas estejam no estágio de floração no terceiro decêndio do mês de janeiro. Neste período existe a maior probabilidade de que isto venha a ocorrer, segundo Cargnelutti Filho et al., (2005). Para isso deve-se evitar o plantio fora das épocas recomendadas para o cultivo.



ISNA > 0,60 – Favorável ISNA 0,50 - 0,60 – Intermediário ISNA < 0,50 - Desfavorável

FIGURA 1 – Mapas relacionados a índices de satisfação necessidade de água (ISNA) para a cultura do feijoeiro no período de 15 de agosto a 15 de fevereiro; FONTE: Maluf et al., (2001).

2.4 ASPECTOS CLIMATICOS NO CULTIVO

As variáveis climáticas são de grande importância para todos os cultivos. De acordo com Neto e Fancelli (2000), o clima constitui-se em fator preponderante no desenvolvimento das plantas, visto que determina condições para a manutenção da dinâmica da vida. No caso do feijoeiro, os fatores que mais interferem na duração das etapas de desenvolvimento são a temperatura e a disponibilidade de água.

A temperatura média ideal para a cultura do feijão corresponde a 21 °C, sendo consideradas regiões aptas para o seu cultivo aquelas que apresentem valores médios de temperaturas entre 15 e 29,5 °C conforme Neto e Fancelli (2000).

As lavouras de feijão em condições de acentuado calor poderão apresentar maior predisposição a doenças e menor rendimento. O calor acentuado resulta em uma somatória calórica elevada, comumente relacionada às épocas de final de primavera ou início de verão, principalmente em regiões baixas, gerando a redução do ciclo da cultura, bem como ocasionando franco desequilíbrio entre a fase vegetativa e reprodutiva devido à exuberância de folhagem. Em locais com a ocorrência de temperaturas noturnas elevadas (superior a 24 °C) por período prolongado e durante o estádio R5 (botões florais) e R7 (enchimento de vagens), poderá prejudicar significativamente o desempenho das plantas, segundo Maluf e Caiaffo (1999).

Maluf e Caiaffo (1999) na elaboração do zoneamento agroclimático para feijoeiro no estado de Santa Catarina, recomendam utilizar como variáveis importantes, a temperatura do ar, a probabilidade de ocorrência de geadas tardias (para plantio na safra) e os períodos de deficiência hídrica.

De maneira geral o regime térmico no Rio Grande do Sul satisfaz as exigências da cultura do feijoeiro. No entanto, as regiões do estado de maior altitude apresentam períodos com menor disponibilidade térmica ideal, tornando o período de semeadura mais restrito, podendo ocorrer maior risco por baixa temperatura segundo Maluf et al., (2002).

2.5 OS TRATOS CULTURAIS NA CULTURA DO FEIJOEIRO

A produtividade média do feijoeiro comum no Brasil é considerada baixa devido a várias causas, segundo Arf et al., (1997) entre elas: sensibilidade às variações climáticas principalmente por causa da precipitação desuniforme. Ocasionando deficiência hídrica durante os períodos críticos; uso de sementes com origem e qualidade desconhecidas; cultivo em solos com acidez elevada; população de plantas inadequada, alta sensibilidade a pragas e doenças e a falta de controle e/ou controle tardio das plantas invasoras e de pragas e doenças.

O feijoeiro pode ser afetado por várias doenças, que além de diminuir a produtividade, diminuem a qualidade. As doenças podem ser de origem bacteriana, fúngica, virótica e as causadas por nematóides.

Segundo a Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão: Recomendações Técnicas Para Cultivo No Rio Grande Do Sul (2000), o manejo de plantas invasoras devem buscar não somente a maior produtividade, mas também a conservação do solo. A primeira capina mecânica não deve ultrapassar o 20º dia após a emergência do feijão e a segunda deve ser realizada entre o 25º a 30º dias, sendo que, em muitos casos a segunda capina é desnecessária. Com as tecnologias disponíveis, o controle de plantas daninhas com herbicidas tem sido a alternativa utilizada pelos produtores em lavouras mecanizadas ou quando houver escassez de mão-de-obra.

2.6 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A água é um recurso cada vez mais escasso em nosso meio, tanto em quantidade quanto em qualidade. Os irrigantes devem aplicá-la com a maior eficiência possível, sempre levando em consideração a relação benefício custo que esta atividade requer, conforme López et al., (1992). A quantidade de água aplicada deverá estar relacionada com a necessidade da cultura.

A maioria das culturas possui períodos críticos, durante os quais o suprimento inadequado de água causa reduções na produção e alterações no desenvolvimento das plantas. O manejo do sistema de irrigação necessita de práticas que permitam a distribuição da

quantidade de água a ser disponibilizada de acordo com as necessidades da cultura. As aplicações insuficientes ou excessivas resultam em prejuízos consideráveis para as plantas, o solo e a rentabilidade do cultivo.

O feijoeiro é sensível às condições de disponibilidade hídrica, tanto a deficiência quanto o excesso hídrico, principalmente na fase de florescimento. O déficit hídrico ou o excesso de água no solo é crítico para o feijoeiro, principalmente no sub-período compreendido entre o início do florescimento e enchimento de grãos (MASSIGNAM et al., 1998a).

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 (Bergamaschi et al., (1989); Faria et al., (1997); Maluf e Caiaffo (1999) e Comissão Estadual De Pesquisa De Feijão (2000).

O déficit hídrico durante a fase vegetativa do desenvolvimento do feijoeiro, tem efeito indireto no rendimento de grãos, pela redução da área foliar das plantas. Se o déficit ocorrer durante a floração, ocorrem abortamento e queda das flores com redução do número de vagens por planta, se ocorrer no enchimento dos grãos, prejudica a formação de grãos ou reduz o seu peso (GUIMARRÃES et al.,1996).

Existem vários fatores que são determinantes para definir o intervalo e a quantidade de água que deve ser distribuída pelo irrigante. Dentre estes fatores podem ser avaliados: distribuição do sistema radicular da planta, capacidade de infiltração do solo, drenagem, capacidade de armazenamento de água no solo, evapotranspiração da cultura e manejo do solo.

Para Carlesso (1995) o aumento do déficit hídrico no solo ocasiona diferenças na distribuição e atividade das raízes, podendo variar a quantidade e disponibilidade de água às plantas, devido à capacidade destas em aprofundar ou expandir o sistema radicular aumentando o volume de solo explorado.

Para Matzenauer et al., (1999), o feijoeiro tem o consumo de água de aproximadamente 300 mm durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, tendo um consumo médio diário de 3,5 $mm.dia^{-1}$. Valadão e Klar (1996) verificaram um consumo de 348 mm e média diária de 3,75 $mm.dia^{-1}$. Por outro lado, Steinmetz (1997) observou valores de consumo médio diário de 4,5 $mm.dia^{-1}$, atingindo valores máximos de 6 $mm.dia^{-1}$ na floração.

Macedo Júnior et al., (1994), verificaram que as maiores produtividades ocorreram quando a disponibilidade de água para as plantas era máxima. Guimarrães et al., (1996a,

1996b) definem como irrigação adequada ao feijoeiro uma tensão de 35 kPa medida a 15 cm de profundidade. Chagas et al., (1994) verificaram que a maior eficiência de uso de água para o feijoeiro ocorreu com a aplicação de baixas lâminas de irrigação.

O manejo da irrigação, segundo Carlesso (1998), é importante no estabelecimento de lâminas adequadas de irrigação, possibilitando a determinação precisa do momento de acionar o sistema de irrigação e na quantidade de água em cada aplicação, através do controle da lâmina de água evapotranspirada do feijoeiro.

A evapotranspiração da cultura pode ser quantificada por métodos baseados na estimativa ou através de medidas diretas ou indiretas do conteúdo de água no solo, para avaliar a disponibilidade de água no solo às plantas, permitindo determinar o requerimento de irrigação pelas culturas (RITCHIE; JOHNSON, 1990).

Para Pereira e Allen (1997), a medida direta da evapotranspiração é extremamente difícil e onerosa. Difícil, porque exige instalações e equipamentos especiais e, onerosa, porque tais estruturas são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais. Entretanto, de acordo com Oliveira e Silva (1990), a identificação da evapotranspiração real (ETr) contribui para melhor eficiência no manejo da água de irrigação e, conseqüentemente, evita que se coloque à disposição da cultura água em excesso ou em déficit.

2.7 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Os sistemas de irrigação localizada são importantes no cenário agrícola brasileiro com aplicações voltadas principalmente para a horticultura e fertirrigação (MATOS et al., 1999). Geralmente, esses sistemas são mais utilizados em culturas perenes que apresentam maior espaçamento entre plantas e entre fileiras. Mas hoje existem áreas de produção de cana-de-açúcar que estão utilizando esta tecnologia para aumentar a produtividade e também por proporcionar maior eficiência na utilização da água segundo Ramos (2003).

Em diversas regiões do Brasil, a quantidade e a qualidade da água disponível para irrigação é um fator que está se tornando limitante à expansão da área agrícola irrigada. Em função da qualidade da água disponível pode ser necessário adotar sistemas de filtragem de água mais complexos. A menor quantidade de água disponível está relacionada à maior eficiência do sistema de irrigação localizada.

A irrigação por gotejamento nada mais é do que a aplicação de água no solo diretamente sobre a zona radicular das culturas em pequenas quantidades, durante um longo período de tempo. Segundo Bernardo (1995), os sistemas de irrigação localizada caracterizam-se por aplicar água somente na zona radicular das culturas, em pequenas intensidades, porém com turno de rega de um a quatro dias, de modo que se mantenha a umidade do solo próximo ao nível da capacidade de campo.

A aplicação da água diretamente no solo de maneira "pontual" torna esse método bastante eficiente, o que possibilita ao produtor alcançar uma ótima utilização dos seus recursos hídricos. Outro aspecto importante é que a água não irá cobrir totalmente o solo, mas apenas parte dele, se comparado com outros métodos de irrigação. Desta forma o princípio de molhar apenas uma parte do solo, variando de acordo com a cultura a ser implantada o sistema de irrigada (FONTES, 2002 e BERNARDO, 1995).

As perdas de água nos sistemas por micro-aspersão são, normalmente, maiores do que na irrigação por gotejamento. Isso ocorre devido à maior superfície molhada de solo e porque, na micro-aspersão, a água é lançada ao ar. Mesmo operando próximo à superfície do solo, os micro-aspersores têm sua uniformidade afetada significativamente pelo vento, resultando em arraste das gotas numa determinada direção (SILVA, 2005). Dentre as inúmeras vantagens desses sistemas, conforme Curtis et al., (1996), destacam-se:

- Maior eficiência no uso da água e fertilizantes;
- Economia de mão-de-obra, por se tratar de sistemas fixos, quando comparados com os sistemas convencionais de irrigação por aspersão e irrigação por superfície;
- Podem ser utilizados nos diferentes tipos de solos e topografia;
- Maior eficiência no controle fitossanitário, por não molhar a parte aérea dos vegetais, o que reduz a incidência de patógenos nas folhagens e frutos, inseticidas e fungicidas;
- A irrigação localizada tem a vantagem de operar sob baixas pressões de serviço.

Os sistemas de irrigação localizada têm como principal limitação o entupimento de emissores, afetando a uniformidade de distribuição de água. Para isso podem ser utilizados sistemas de filtragem para sanar esta desvantagem, mas que aumentam o custo do sistema.

A irrigação complementar é utilizada em regiões onde a precipitação pluvial é desuniforme durante o desenvolvimento das culturas. Sendo assim é necessária a utilização de técnicas de irrigação para que a cultura não seja submetida a déficit hídrico durante a ocorrência de periodos de dias sem chuva. Portanto, há necessidade do uso da irrigação para minimizando o comprometimento do seu potencial produtivo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL

Este estudo foi conduzido em uma propriedade rural no município de Santa Maria - RS, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 29º 50’ S, longitude 53º36’ W e altitude de 108 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é o Cfa (MORENO, 1961).

3.2 VARIEDADE

A variedade BRS Valente foi utilizada devido a sua produtividade, ampla adaptação, qualidade de grão, porte ereto e resistência ao acamamento. São suas características principais:

- Tipo de planta: arbustiva, indeterminado (tipo II);
- Porte: ereto;
- Cor da flor: violeta;
- Número de dias para floração: 40-53 dias;
- Cor da semente: preta;
- Brilho da semente: opaco;
- Ciclo da emergência à maturação fisiológica: 80-94 dias.

O poder germinativo das sementes utilizadas foi de 96 % e pureza de 99 %. Para a variedade em estudo a recomendação de número de plantas por hectare foi de 250.000.

3.3 SOLO

3.3.1 CLASSIFICAÇÃO DE SOLO

As amostras de solo foram retiradas de uma trincheira localizada na área experimental. A classificação do solo realizou-se com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo; EMBRAPA (2006).

3.3.2 AVALIAÇÕES FÍSICAS

3.3.2.1 Infiltração de água no solo

Os testes de infiltração de água no solo foram realizados através da metodologia de duplo anel concêntrico (FIGURA 2). Utilizaram-se anéis com 40 e 20 cm de diâmetro e 10 e 15 cm de altura respectivamente; sendo realizadas 4 repetições na área experimental.

As determinações foram realizadas conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Para a montagem dos anéis foram realizadas as seguintes operações:

- Limpeza do local (capina);
- Instalação do anel maior de forma que fossem enterrados na vertical para não ocorrer deformações na estrutura do solo a ser avaliado e o anel de menor diâmetro enterrado na posição central ao outro anel;
- Colocou-se uma lona plástica na superfície do solo que ficou dentro do anel de menor diâmetro, sendo esta abastecida com água, não deixando a água entrar em contato com o solo;
- Instalou-se o tripé que suporta um reservatório, constituído por um cano plástico de 100 mm de diâmetro e capacidade de 5 litros, com um registro em cada extremidade.

A lâmina de água no anel de 40 cm de diâmetro foi mantida constante.

As leituras foram efetuadas nos tempos: 0, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos após as retirada da lona plástica. Para a leitura utilizou-se de uma escala graduada em intervalos de 10 ml, visualizada através de uma mangueira de silicone transparente que era fixada junto ao tubo de PVC de 100 mm.

FIGURA 2 - Teste de infiltração de água no solo, com a utilização da metodologia do duplo anel concêntrico. Santa Maria – RS (2008).

As observações de infiltração acumulada com o tempo foram computadas e convertidas em taxas de infiltração correspondente. A infiltração de água no solo foi ajustada pelos modelos empíricos de Kostiakov (BERNARDO et al., 2005) (equações 1, 2 e 3) e Horton (BRANDÃO et al., 2004) (equações 4 e 5); no ANEXO A.

3.3.2.2 Textura

A textura do solo foi determinada no laboratório de Física dos Solos da UFSM com a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Para a determinação, foram retiradas amostras deformadas do solo referentes às camadas de 0 – 5 cm, 10 – 15 cm, 30 – 35 cm e de 60 – 65 cm de profundidade. As amostras foram encaminhadas para o laboratório e secas ao ar, sendo posteriormente peneiradas para a determinação da terra fina seca ao ar (TFSA).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da Pipeta conforme EMBRAPA (1997). Para as análises foram utilizadas 20 g de TFSA, 50 ml de água destilada e 10 ml de

hidróxido de sódio na concentração de 6 %, utilizado para dispersar a argila da amostra. Foram preparadas 2 amostras e colocadas em recipientes fechados com duas esferas de nylon e colocadas em um agitador de oscilação horizontal por 2 horas, segundo Suzuki et al. (2004). As amostras foram retiradas do agitador e submetidas à peneira de 0,053 mm e transferidas para provetas de 1000 ml. Na peneira ficou retido a areia total sendo colocada em latas e levadas para a estufa à temperatura de 105 °C onde permaneceram até atingir peso constante e posteriormente separada por peneiras em areia fina e areia grossa.

Na proveta colocou-se o silte e a argila (material que passa pela peneira de 0,053 mm). Foi medida a temperatura nas provetas, para posteriormente ser agitada por um minuto obtendo melhor homogeneização da amostra.

Para determinar a quantidade de argila preparou-se uma prova em branco, colocando 10 ml de NaOH 6 % em uma proveta de 1000 ml e completado o seu volume com água destilada. Esta solução foi agitada manualmente por 1 minuto. Após 90 minutos sifonou-se para um becker de 250 ml os 200 ml da porção superior de solução. Após a medida da sua temperatura foi transferido para uma proveta de 250 ml e feita a leitura com hidrômetro. Os teores de argila eram calculados pela fórmula:

$$\%\text{argila} = (DSAT - DPBAT) * 20f \qquad \text{Equação 6}$$

Sendo:

DSAT - leitura da suspensão

DPBAT - leitura da prova em branco.

A quantidade de silte foi determinada por diferença:

$$\%silte = 100\% - (\%areia + \%\text{argila}) \qquad \text{Equação 7}$$

3.3.2.3 Curva característica de retenção de água no solo

As amostras utilizadas para determinação da curva foram obtidas com auxílio de anéis com volumes conhecidos. Retiraram-se amostras em torrões que foram colocados para secar ao ar e posteriormente peneirados, ficando assim determinada a terra fina seca ao ar. No laboratório realizou-se o toalete das amostras e posteriormente colocadas para saturar em um recipiente com água pelo período de 24 horas.

As amostras depois de saturadas foram colocadas na mesa de tensão sendo mantidas a tensões de 10, 60 e 100 cm de coluna de água. Posteriormente colocavam-se em panelas de pressão e submetidas a tensões de 33 e 100 kPa. Posteriormente as amostras foram submetidas a análises no "dewpoint potentiometer" WP4 (DECAGON, 2000), para a determinação das tensões de 500 e 1500 kPa através de equações. Após cada medida as amostras foram pesadas para a determinação da umidade gravimétrica. No final das avaliações as amostras foram colocadas para secar em estufa a 105 ºC por 24 horas, segundo a metodologia proposta por Libardi (1995).

3.3.3 AVALIAÇÃO QUÍMICA

A avaliação química do solo da área experimental foi realizada a partir da retirada de 10 sub-amostras de solo na camada de 0,0 à 0,1 m, que foram uniformizadas para uma amostra, e encaminhada para a análise química do solo no Laboratório Central de Análises de Solos do Departamento de Solos da UFSM, vinculado a ROLAS.

A adubação de base foi determinada a partir da análise de solo e as recomendações de adubação para a cultura do feijão foram efetuadas segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

3.4 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos obtidos através da estação meteorológica do Departamento de Fitotecnia da UFSM que compõe a rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estes dados estão disponíveis na rede internacional de computadores (internet) através do endereço eletrônico: www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php estação Santa Maria - RS.

Os dados coletados na estação climatológica foram: temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima a precipitação, velocidade média do vento, a umidade relativa do ar, radiação solar e a insolação diária. Todos os dados foram observados de hora em hora.

A temperatura média foi determinada a partir das médias horárias, a temperatura máxima a partir da máxima diária e temperatura mínima a partir da mínima diária.

As precipitações pluviométricas foram coletadas com auxílio de pluviômetro instalado na área experimental.

3.5 SEMEADURA

3.5.1 PREPARO DO SOLO

O solo foi preparado através de duas gradagens leves com o objetivo de minimizar o movimento do solo na camada superficial e descompactar a camada superficial, sendo realizada no dia 13/01/2008. Foi utilizado este tipo de preparo do solo porque a área estava sendo utilizada como pastagem natural para bovinos.

3.5.2 SEMEADURA

A semeadura ocorreu no dia 15 de janeiro de 2008. A semente foi depositada a uma profundidade de 0,03 m e o adubo a 0,08 m de profundidade, com a distribuição de 13 sementes por metro linear para proporcionar uma população inicial de aproximadamente 250.000 plantas por hectare. A semente não foi tratada com nenhum produto. O espaçamento entre as linhas de semeadura foi de 0,5 m.

3.5.3 DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS

Foram montados dois experimentos conforme a FIGURA 3. O primeiro experimento foi montado com sistema de irrigação por gotejamento, sendo distribuídos em quatro blocos e

cada bloco com os quatro tratamentos. O segundo foi montado com sistema de irrigação por micro-aspersão constituído de quatro blocos com quatro tratamentos.

BORDADURA

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICRO-ASPERSÃO

Bloco 2	
20	40
Test.	60

Bloco 1	
40	Test.
60	20

Bloco 4	
60	20
Test.	40

Bloco 3	
20	60
40	Test.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Bloco 1	
20	40
Test.	60

Bloco 3	
Test.	40
20	60

Bloco 4	
Test.	60
40	20

Bloco2	
Test.	20
60	40

FIGURA 3 - Distribuição das parcelas a campo para os dois sistemas de irrigação e as bordaduras; 20, 40 e 60 correspondem as evapotranspirações acumuladas avaliadas e testemunha (Test). Santa Maria - RS. 2008.

Entre os dois experimentos foi deixado uma área como bordadura de 6 m entre os sistemas de irrigação.

Os tratamentos, as repetições e os blocos foram distribuídos aleatoriamente. Cada parcela foi formada por uma área de 16 m² (4 x 4 m).

3.6 TRATOS CULTURAIS

Durante o ciclo de desenvolvimento do feijoeiro foram realizadas aplicações de herbicida, inseticida e fungicida, e capina.

Nas avaliações de planta foram realizadas medidas de altura de planta até o ultimo nó, além da contagem do número de nós por planta e medida a área de cada folíolo (comprimento e largura) com régua para posterior cálculo da área folhar.

A colheita foi realizada manualmente com a retirada das plantas inteiras, obedecendo as parcelas e posteriormente foram trilhadas separadamente. A trilha foi realizada

mecanicamente com uma trilhadeira acionada pela tomada de potência do trator. Depois de trilhado o material foi secado até atingir 13 % de umidade. A secagem foi realizada sobre lonas plásticas deixando os grãos expostos ao sol durante o dia e durante a noite foram recolhidos para dentro de um galpão.

3.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

A evapotranspiração de referência foi estimada a partir de dados climáticos coletados na estação climatológica do Departamento de Fitotecnia da UFSM. A evapotranspiração de referência diária foi estimada a partir do Método de Penman-Monteith (equação 8) (ALLEN et al., 1998).

$$ETo = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \qquad \text{Equação 8}$$

Sendo:

ETo – Evapotranspiração de referência ($mm.dia^{-1}$);

R_n – Saldo de radiação ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

G – Densidade do fluxo de calor no solo ($MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

T – Temperatura média diária (ºC);

U_2 – Velocidade do vento a 2m de altura do solo ($m.s^{-1}$);

E_a – Pressão real de vapor (kPa);

E_s – Pressão de saturação de vapor (kPa);

Δ - Declividade da curva de saturação de vapor ($kPa^{o}C^{-1}$);

γ – Constante psicométrica ($MJ.kg^{-1}$).

As determinações dos valores diários de temperatura média, máxima e mínima, umidade relativa média, velocidade do vento média, insolação diária, pressão atmosférica média, precipitação acumulada diária e radiação solar foram utilizadas para calcular a evapotranspiração de referência a partir das equações do ANEXO B.

A evapotranspiração de referência diária foi multiplicada pelos coeficientes de cultura (kc) para os diferentes estágios de desenvolvimento do feijoeiro (TABELA 2) conforme Matzenauer et al., (1998), e através disso foram determinadas as evapotranspirações máxima diária (ETm).

TABELA 2 - Coeficiente cultura (kc) para o feijoeiro em diferentes sub-períodos de desenvolvimento.

Sub-período	Coeficiente de cultura (kc)
V0 – V2	0,37
V2 – R5	0,54
R5 – R8	0,73
R8 – R9	0,73
V0 – R9	0,60

Fonte: Matzenauer et al., (1998).

3.8 MONTAGEM DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Os sistemas de irrigação localizada utilizaram uma moto-bomba de marca Schneider modelo BC-98SC com vazão 4,7 $m^3.h^{-1}$ e altura manométrica de 22 mca. Foi instalado uma adutora com diâmetro ¾” e comprimento de 15 m até o início das tubulações principais do sistema de gotejamento e micro-aspersão. Os sistemas de irrigação tiveram as linhas principais distribuídas transversalmente às linhas de plantio. No sistema de irrigação por micro-aspersão foram utilizados os micro-aspersores da marca Tietze com bailarina de bocal na cor azul com vazão de 190 $l.h^{-1}$ e com pressão de serviço de 2,0 $kgf.cm^{-2}$. Os micro-aspersores foram colocados a 1,20 m de altura da superfície do solo, montados em mangueiras flexíveis de ¾” em polietileno da cor preta. Foi colocado um micro-aspersor no centro de cada parcela e um registro de esfera em cada parcela.

O sistema de irrigação por gotejamento foi montado com uma tubulação principal de mangueira flexível de ¾” de polietileno na cor preta e a tubulação secundária foi montada com mangueira flexível de ½” utilizando gotejador auto-compensantes com vazão de 10 $l.h^{-1}$, de marca Agrojet e modelo GA-10. Os gotejadores foram montados a uma distância de 0,5 m entre eles. A distribuição do sistema de irrigação dentro das parcelas foi realizada de forma

que os gotejadores acompanhassem as linhas das plantas e ao final de cada linha dentro da parcela a mangueira retornava na linha ao lado, fazendo assim a cobertura de toda a parcela.

3.9 OS TRATAMENTOS DE IRRIGAÇÃO

Foram pré-determinadas as disponibilidade de 20, 40 e 60 mm de evapotranspiração máxima acumulada (ETma) foram estabelecidas como os tratamentos das lâminas críticas a serem avaliadas. Portanto, foram pré-determinadas quatro disponibilidades hídricas, sendo um tratamento testemunha e três para serem avaliadas no sistema de irrigação por micro-aspersão e no sistema irrigação por gotejamento.

Os tratamentos foram definidos a partir da evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman-Monteith. Depois foi calculada a evapotranspiração máxima diária da cultura (ETm). A ETm foi acumulada a partir da soma dos valores diários, para determinar ETma.

Os tratamentos foram aplicados a partir do somatório das ETm diárias até atingir os valores pré-determinados de 20, 40 e 60 mm de ETma. Quando os valores atingiam os valores pré-determinados eram acionados os sistemas de irrigação localizada para proporcionar ao solo a umidade que correspondia a capacidade de campo. Quando ocorriam precipitações pluviométricas a sua quantidade foi diminuída dos valores da ETma.

No 13º dia após a emergência, em V2, foi aplicado em todas as parcelas, 50 mm de água através do sistema de irrigação para uniformizar as condições iniciais em todas as parcelas que receberam irrigação. Isto proporcionou uniformização das condições iniciais para a avaliação das lâminas críticas de irrigação complementar, ou seja, a umidade no solo foi elevada até a capacidade de campo. Posterior a isso as parcelas foram submetidas aos seus respectivos tratamentos.

O tempo de funcionamento dos sistemas de irrigação foi calculado para cada sistema de irrigação separadamente. No sistema de gotejamento para repor as ETma de 20, 40 e 60 mm o sistema permanecia em funcionamento por um período de 30, 60 e 90 minutos respectivamente para as ETma. No sistema de micro-aspersão utilizou-se a área de maior uniformidade de distribuição do micro-aspersor, ou seja, entre os diâmetros de 3,2 m e 1,8 m. A área útil foi de 5,5 m^2 e 6.0 m^2 para os sistema de micro-aspersão e gotejamento respectivamente.

Na FIGURA 4 está representado o procedimento adotado para avaliar a irrigação complementar em função da ETma para os sistemas de irrigação localizada .

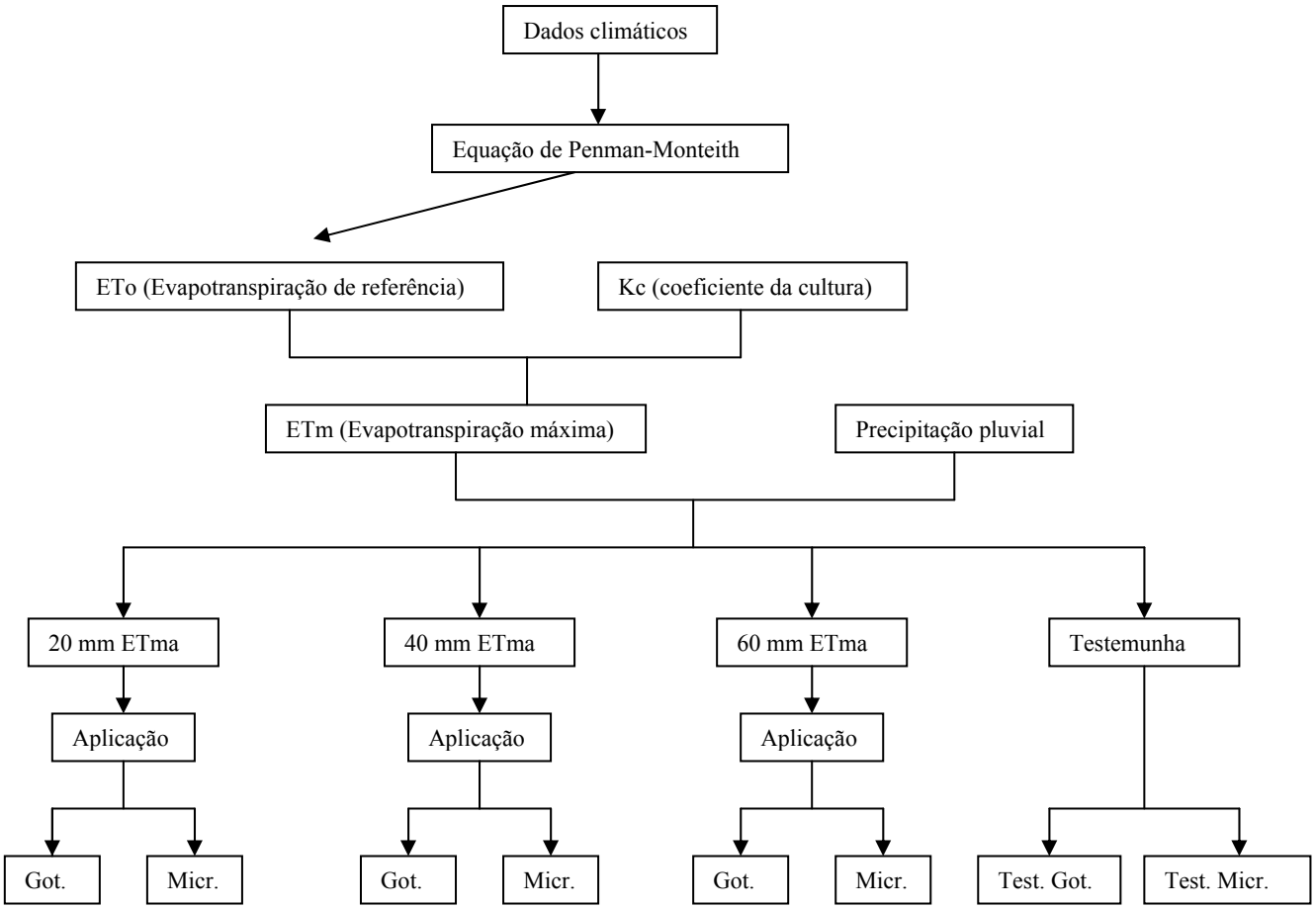


FIGURA 4 – Esquema de estabelecimento dos tratamentos.

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de covariância foi utilizada para verificar a interação entre os sistemas de irrigação. As análises dos sistemas de irrigação foram realizadas a partir de quatro blocos distribuídos ao acaso, formado por quatro tratamentos e com quatro repetições para cada sistema de irrigação. Na avaliação da interação foi utilizado o Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância.

Na determinação da melhor lâmina de irrigação foram realizadas análises de regressão para determinar a lâmina de irrigação complementar em relação a todos os componentes de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SOLO

4.1.1 CLASSIFICAÇÃO DE SOLO

O solo da área experimental foi classificado como unidade de mapeamento Santa Maria e pela classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como: Argissolo Bruno - Acinzentado Alítico úmbrico.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

4.1.2.1 Infiltração de água no solo

A infiltração acumulada verificada nas três repetições apresentou variações (GRÁFICO 1). As diferenças podem ser atribuídas a inúmeros fatores como: umidade inicial, presença ou não de camada superficial compactada, densidade do solo e porosidade do solo. A área foi utilizada anteriormente para pastagem de bovinos, o que influenciou as características que afetam a infiltração de água no solo.

A taxa de infiltração ao final da avaliação tende a estabilizar-se em valores inferiores a 20 $l.h^{-1}$ conforme é apresentado no GRÁFICO 2. Os valores encontrados estão próximos aos encontrados por Aguiar et. al. (2006) que avaliou a infiltração de água no solo franco arenoso em diferentes sistemas de manejo do solo, onde obteve valores de taxa de infiltração básica ao final do levantamento, na média, inferior a 20 $l.h^{-1}$.

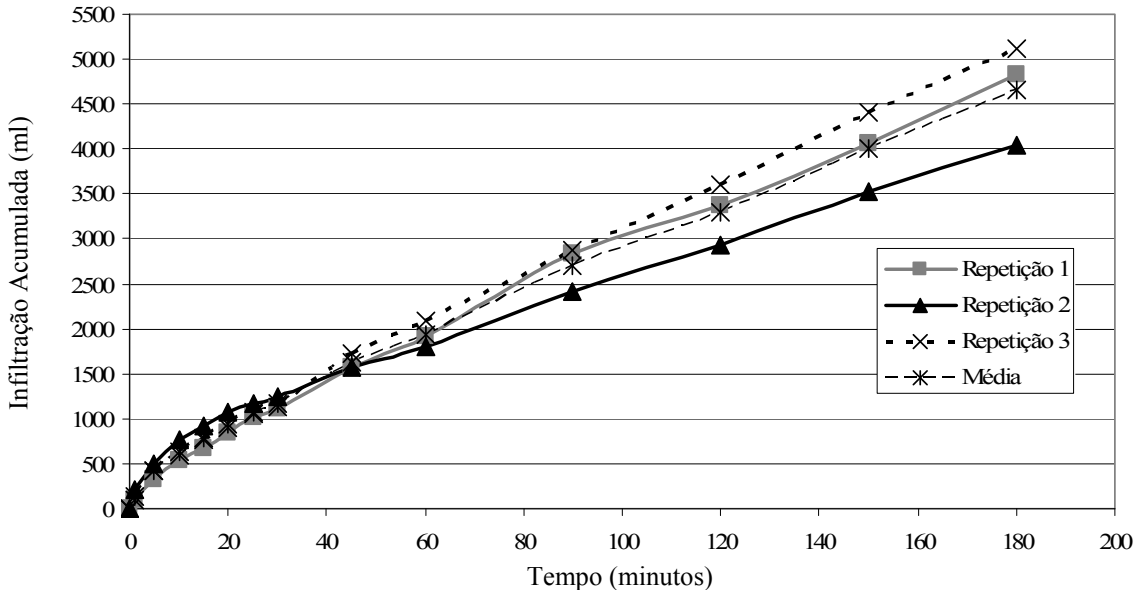


GRÁFICO 1- Infiltração acumulada de água no solo medida através da metodologia de duplo anel concêntrico. Santa Maria - RS.

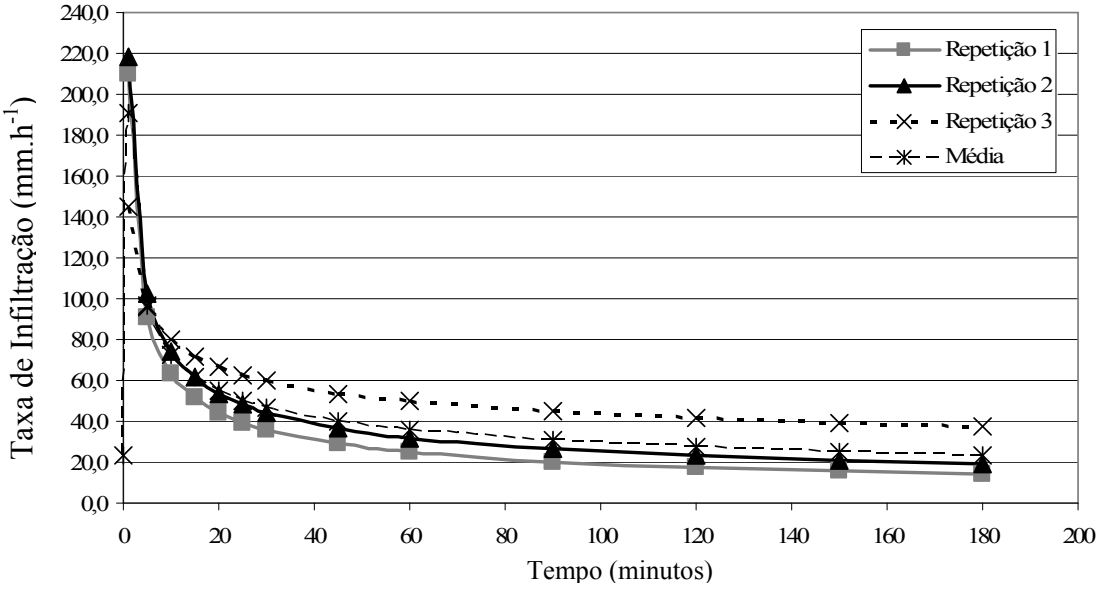


GRÁFICO 2 - Variação da taxa de infiltração de água no solo medida através da metodologia de duplo anel concêntrico. Santa Maria - RS.

4.1.2.2 Textura

O solo da área experimental apresentou as características granulométricas apresentadas na TABELA 3.

TABELA 3 - Análise textural pelo método de Vettori com utilização de agitador horizontal.

Camada avaliada (m)	0,0 – 0,05	0,10 – 0,15	0,30 – 0,35	0,60 – 0,65
Granulometria		(%)		
Areia Grossa	17,70	14,75	11,60	9,55
Areia Fina	46,31	46,15	44,40	49,24
Silte	25,50	27,95	39,10	41,22
Argila	10,47	11,10	4,90	4,50
Classe do solo	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso

4.1.2.3 Curva característica de água no solo

A curva característica do solo da área experimental está apresentada no GRÁFICO 3.

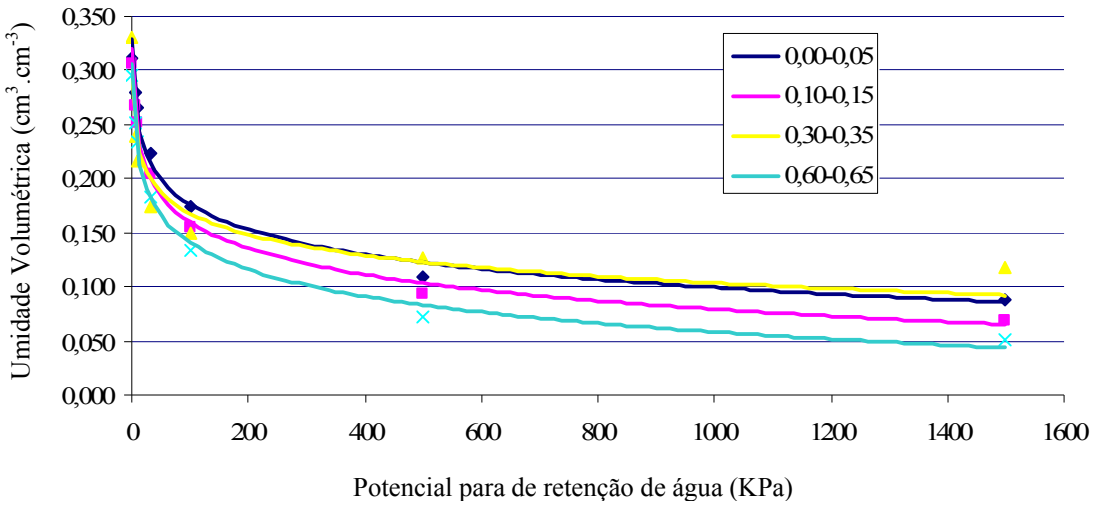


GRÁFICO 3 - Curva característica de água no solo em 4 profundidades ajustada pela metodologia de Van Ginuchten (1980), Santa Maria - RS.

A partir da curva característica de água no solo estimou-se a capacidade de campo a 100 KPa para as diferentes camadas de solo avaliadas, apresentou valores entre 0,133 a 0,174 $cm^3.cm^{-3}$ com uma média de 153 $cm^3.cm^{-3}$, e o ponto de murcha permanente a 1500 KPa com os valores variando entre 0,051 a 0,118 $cm^3.cm^{-3}$ e média de 0,081 $cm^3.cm^{-3}$.

4.1.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Fundamentada na análise de solo apresentada na TABELA 4 foi calculada a recomendação de adubação para o experimento com base na comissão de química e fertilidade do solo (2004) para uma produtividade esperada de 3000 $kg.ha^{-1}$.

TABELA 4 - Diagnóstico para adubação e calagem da análise de solo da área experimental. Santa Maria – RS. 2008

pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC pH7	Saturação (%)		Índice	%MO	%Arg.	P	K
água	Cmolc.dm^{-3}					Al	Bases	SMP	% $m.v^{-1}$		mg.dm^{-3}	
5,7	1,4	1,2	0,0	2,7	5,0	0,0	52	6,4	1,1	10	7,70	136,0

Na semeadura utilizaram-se adubação de base na dosagem de 385 $kg.ha^{-1}$ da formulação 5-30-15 de N, P_20_5 e K_2O. Para a adubação de cobertura foi utilizado 140 $kg.ha^{-1}$ de uréia, que foi aplicada parceladamente em doses iguais no 7º ou V3 e no 26º DAE ou R5. A adubação de base e de cobertura foram calculadas a partir da análise química do solo seguindo as recomendações da comissão de química e fertilidade do solo (2004).

4.2 TRATAMENTOS CULTURAIS REALIZADOS

As aplicações de inseticida foram realizadas no 4º, 31º e 73º dias após a emergência (DAE). Nas duas primeiras aplicações foi utilizado o produto Metamidofox na dosagem de 0,8 $l.ha^{-1}$ e a última aplicação foi realizada com Endosulfan na dosagem de 0,7 $l.ha^{-1}$. Foi realizada a capina das parcelas no 30º DAE.

A primeira aplicação de nitrogênio em cobertura foi realizada no estágio V4 no 18º DAE, na quantidade de 83 $kg.ha^{-1}$ de uréia. A segunda aplicação de nitrogênio em cobertura realizou-se no estágio R6 no 31º DAE foi realizada a distribuição de uréia na dosagem de 55 $kg.ha^{-1}$ de uréia.

As aplicações de fungicida foram realizadas no 31º e 48º DAE, com o produto Sfher na dosagem de 70 ml e 20 ml de óleo mineral para cada 40 litros de água.

Para o controle e plantas invasoras foi aplicado herbicida pós-emergente Basagran 600 no 18º DAE, o feijoeiro se encontrava no estágio V4, a dosagem 0,6 $l.ha^{-1}$.

A aplicação de herbicida não foi eficiente no controle das plantas invasoras e por isso foi utilizada a capina manual no 28º e 29º DAE. Todas as aplicações foram realizadas com um pulverizador manual costal com capacidade de 20 l.

4.3 CLIMA

4.3.1 TEMPERATURA

A temperatura do ar é um dos fatores climáticos que exerce influência na cultura do feijoeiro. Os valores de temperatura média, máxima e mínima que foram utilizados na equação de Penmam–Montheith estão dispostos no GRÁFICO 4. Estes valores foram observados da emergência até a colheita.

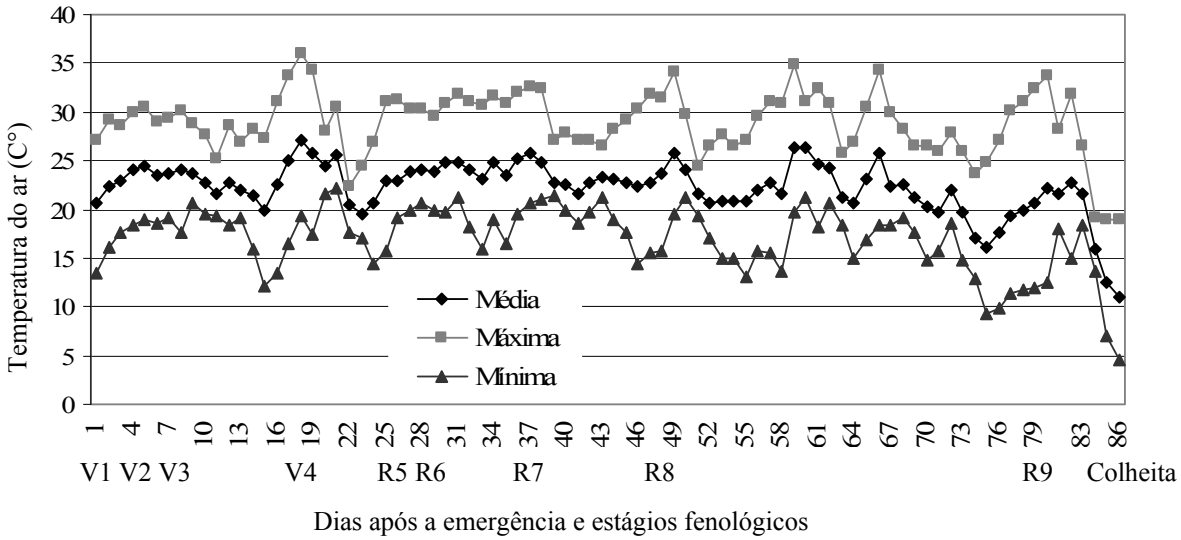


GRÁFICO 4 - Valores de temperaturas do ar médias, máximas e mínimas obtidos na estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008

Conforme observado no GRÁFICO 4, os valores de temperatura média estão dentro dos parâmetros básicos para o desenvolvimento da cultura. A média das temperaturas médias foi de 22,2 ºC que está apenas 0,2 ºC acima do valor citado por Maluf et. al., (2003) determinando que as regiões ideais para cultivo de feijão devem possuir temperatura média, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura entre 20 °C e 22 °C, sendo a ótima de 21 °C.

A temperatura média observada foi de 23,7 ºC durante os estágios fenológico R5 à R8, ou seja, de pré-floração até o início do enchimento das vagens. Desta forma, o valor observado está dentro da faixa de temperatura recomendável, sem afetar a queda das flores e a formação das vagens, que vão interferir na produtividade do feijoeiro, concordando com (MOTA; ZAHLER, 1993; MALUF; CAIAFFO, 1999).

No entanto, verificou-se a temperatura máxima média de 30,0 ºC durante os estágios fenológico R5 até o início de R8. Esta temperatura máxima média demonstra a probabilidade de redução na produtividade. O estudo de Massignam et al., (1998b) constatou a redução na produtividade com temperaturas máxima superiores a 28 ºC. Gonçalves et al., (1997) verificou redução na produtividade com temperaturas superiores a 30 °C durante o estágio fenológico R6.

Diferentes variedades de feijão foram colocadas em câmara controlada na temperatura de 30 ºC durante uma hora por dia a partir do início da floração até o início do enchimento de

grãos por Hoffmann et. al., (2007). Os autores concluíram que a produtividade da variedade BRS Valente não foi afetada significativamente quando foi avaliada sob temperatura de 30 ºC durante uma hora por dia. Eles consideraram que a variedade é resistente as temperaturas elevadas durante a fase reprodutiva.

As reduções na produtividade de grãos no feijoeiro podem ocorrer devido às altas temperaturas do ar entre o estágio de pré-floração (R5) até enchimento de vagens (R8), podendo atingir valores entre 30,7 e 75,5 % conforme Moda-Cirino e Fonseca Júnior (2001); Aguiar e Moda-Cirino (2002a); Aguiar e Moda-Cirino (2002b) e Shonnard e Gepts(1994).

4.3.2 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a principal responsável pela dinâmica da atmosfera terrestre e pelas características climáticas do planeta. A quantidade e a intensidade da radiação dependem, basicamente, da latitude, altitude, declinação solar e da quantidade de nuvens.

Os valores de radiação solar (GRÁFICO 5) registrados na estação meteorológica foram utilizados nas equações para determinar a evapotranspiração de referência através da equação de Penmam–Montheith.

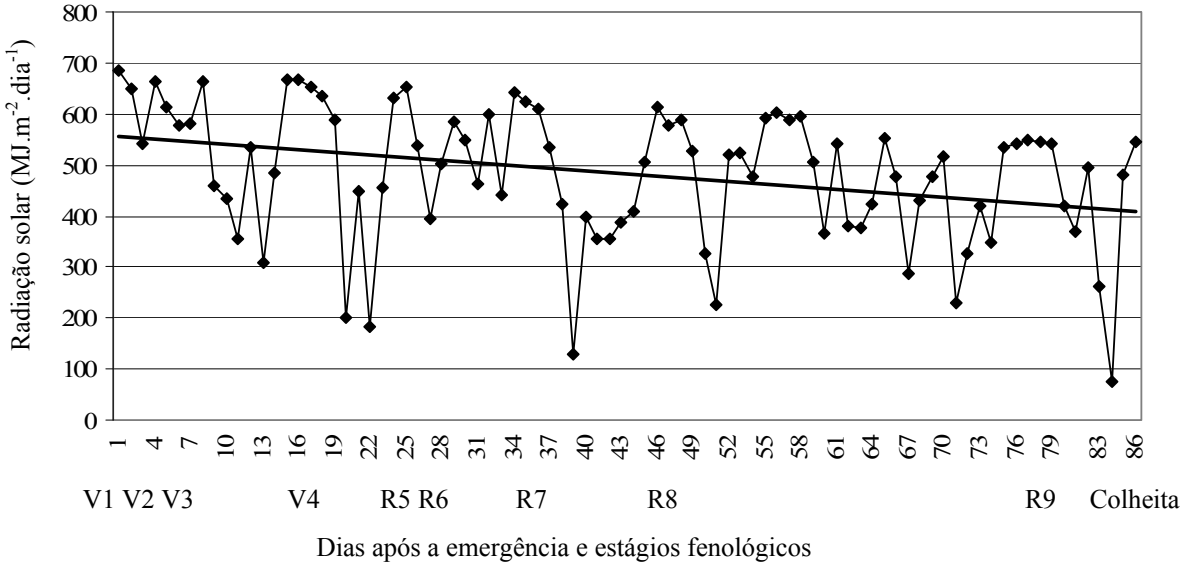


GRÁFICO 5 – Radiação solar medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008

4.3.3 VELOCIDADE DO VENTO

A velocidade do vento pode ser prejudicial à cultura por danificar as folhas, favorecendo o surgimento de doenças nos folhas danificadas. A velocidade do vento apresentada no GRÁFICO 6 foi utilizada como um dos parâmetros na equação Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência.

Verifica-se, no GRÁFICO 6, que no 29º DAE, em R6, a velocidade média do vento foi elevada prejudicando a floração. A temperatura máxima neste dia foi superior a 30 ºC e a umidade relativa do ar mínima no dia de 53 %. Estes três parâmetros são prejudiciais à cultura, principalmente se ocorrerem simultaneamente durante o período de plena floração, prejudicando a cultura do feijoeiro pelo elevado abortamento de flores (EMBRAPA 2003). Posteriormente a este dia de alta velocidade do vento encontrou-se muitas flores distribuídas pelo chão da área experimentas prejudicando a produtividade.

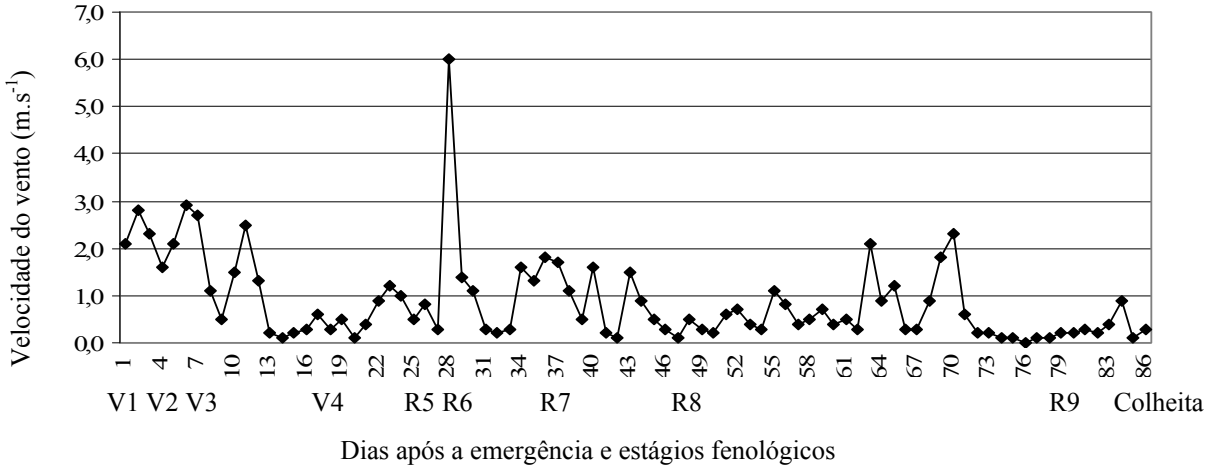


GRÁFICO 6 – Velocidade do vento média diária, medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria _RS. 2008

4.3.4 UMIDADE RELATIVA DO AR

Os valores de umidade relativa do ar registrados na estação são apresentados no GRÁFICO 7. Os dados foram utilizados nas equações para determinar a evapotranspiração de referência através da equação de Penmam–Montheith.

GRÁFICO 7 – Umidade de ar medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008

Analisando o GRÁFICO 7 verifica-se uma tendência no aumento da umidade relativa do ar ocasionado pela mudança de estação do verão para outono. E no 19º DAE em V4 a umidade relativa do ar foi muito baixa. A umidade relativa do ar mínima de 40 % é baixa, no entanto, o feijoeiro neste estágio fenológico é pouco afetado por este fator.

4.3.5 NÚMERO DE HORAS DE SOL

A insolação diária verificada ao longo do desenvolvimento da cultura foi registrada pela estação e está disposto no GRÁFICO 8. Este parâmetro foi utilizado na equação de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência.

A média de número de horas de sol durante o cultivo do feijoeiro foi de 11,45 horas. Verifica-se a linha de tendência de diminuição das horas de sol durante o cultivo. Isto se deve à mudança de estação do ano.

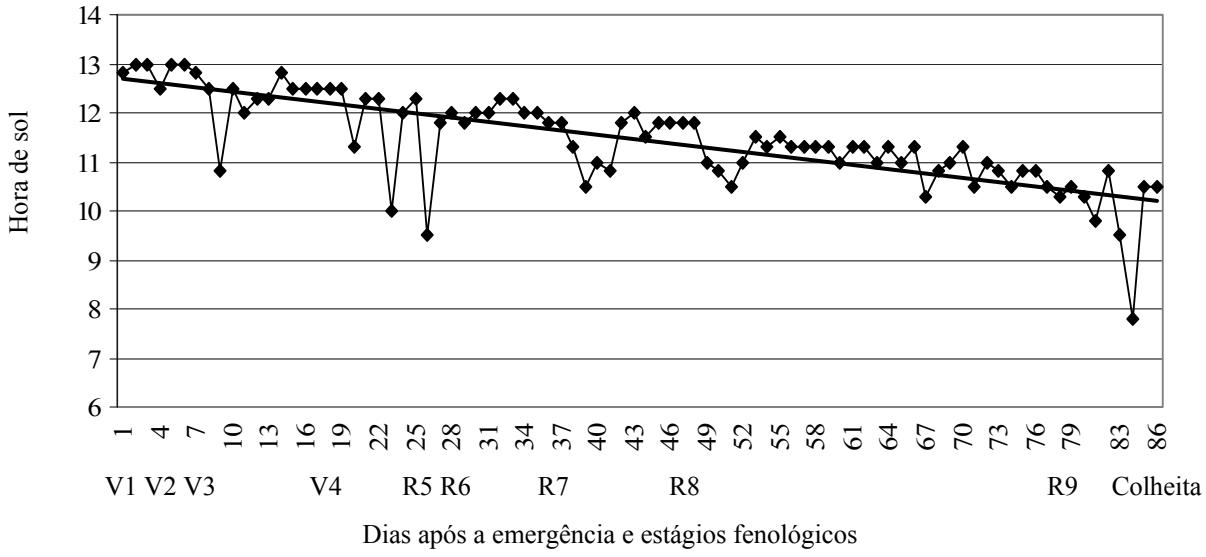


GRÁFICO 8 – Número de horas de sol medida pela estação meteorológica instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008

4.3.6 PRECIPITAÇÃO

A precipitação pluvial é o principal fator que é levado em consideração para se efetuar o zoneamento agroclimático das principais culturas de sequeiro. Os dados registrados no pluviômetro, que estava instalado na área experimental, apresentam-se no GRÁFICO 9.

Durante o período de formação das vagens ocorreram eventos de precipitações intensas (demonstrado no GRÁFICO 9) que contribuíram para o baixo número de vagens por planta, colaborando para a baixa produtividade das parcelas e tendo grande interferência nas lâminas críticas avaliadas. O somatório da precipitação pluvial foi de 267 mm no período compreendido entre a emergência e a colheita do feijoeiro.

Outro fator que pode ser levado em consideração é que o feijoeiro é uma planta que pode ser prejudicada pelo excesso de água no solo devido às precipitações que ocorreram no estágio R7. Isto corrobora com Massignam et al., (1998a) que identificou o excesso hídrico no solo, que é crítico principalmente durante o sub-período compreendido entre início do florescimento e enchimento de grãos.

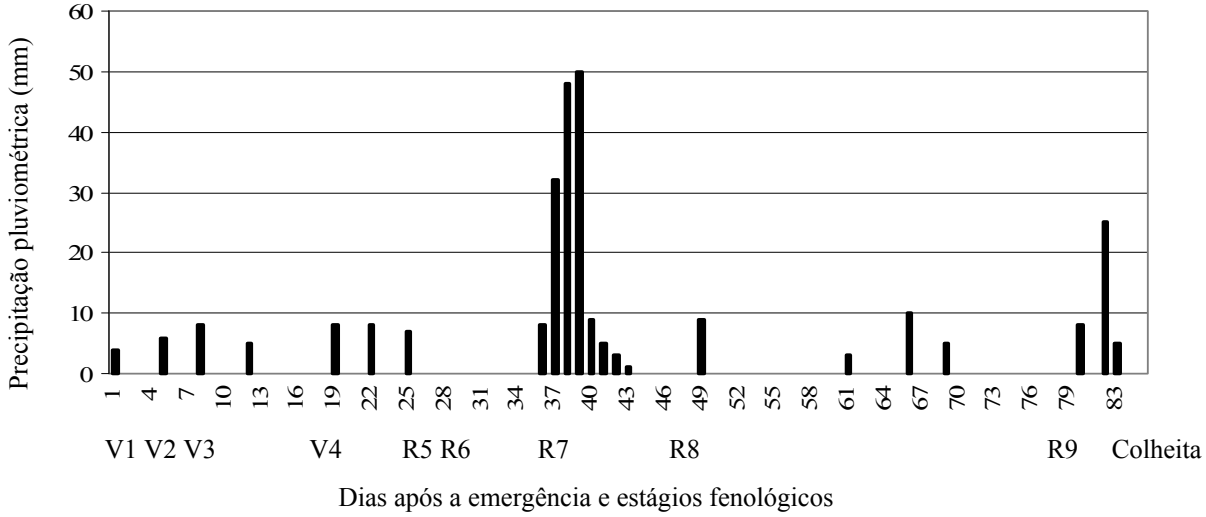


GRÁFICO 9 – Precipitação pluviométrica medida pelo pluviômetro instalado junto à área experimental, no período compreendido entre a emergência (21/01/2008) e a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008

4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

A evapotranspiração de referência foi calculada através da equação de Penmam–Montheith (Equação 8). Foram utilizados os valores registrados pela estação climatológica da UFSM. Os valores de ETo estão dispostos no GRÁFICO 10.

O somatório total da ETm da emergência do feijoeiro até a colheita foi de 250,85 mm.

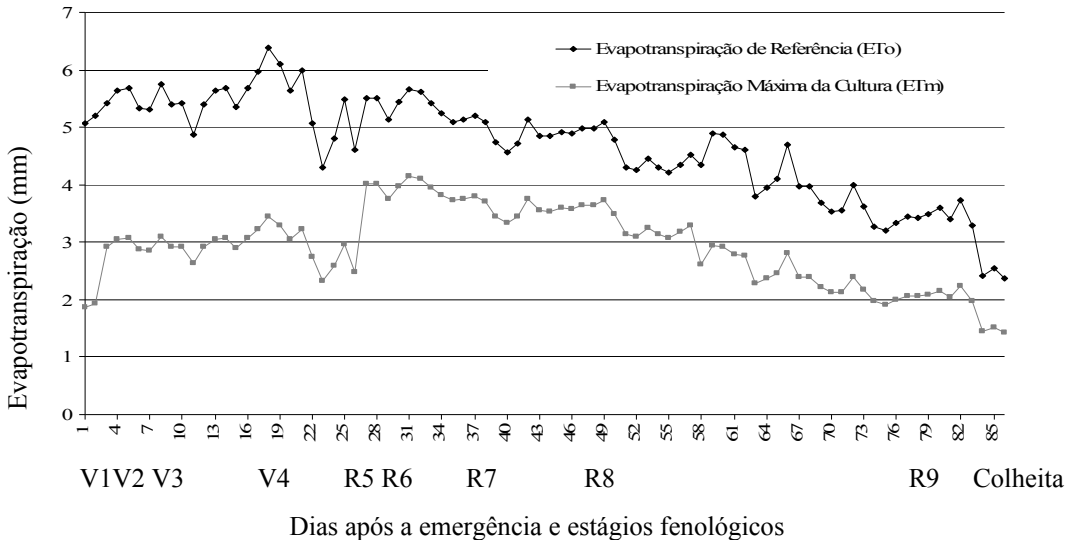


GRÁFICO 10 Valores e ETo e ETm calculados pelos valores observados na estação climatológica, estimados pela equação 8 (Penmam–Montheith) e calculados com os valores do Kc do feijoeiro durante os estágios do feijoeiro, da emergência (21/01/2008) até a colheita do feijoeiro, em Santa Maria - RS.

4.5 A IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR NA CULTURA DO FEIJOEIRO

As irrigações complementares realizadas através dos sistemas de irrigação localizada foram avaliadas através dos componentes de produção do feijoeiro. As irrigações complementares baseadas nas lâminas críticas, na precipitação pluvial e na distribuição de água pelos sistemas de irrigação localizada estão dispostas no GRÁFICO 11.

O GRÁFICO 11 apresenta as ETma para os três tratamentos de lâminas críticas e o tratamento testemunha, e a precipitação pluvial que ocorreu durante o ciclo da cultura. O

somatório da ETma da emergência até a colheita do feijoeiro de 250,85 mm e o somatório da precipitação pluvial 267 mm, durante o mesmo período.

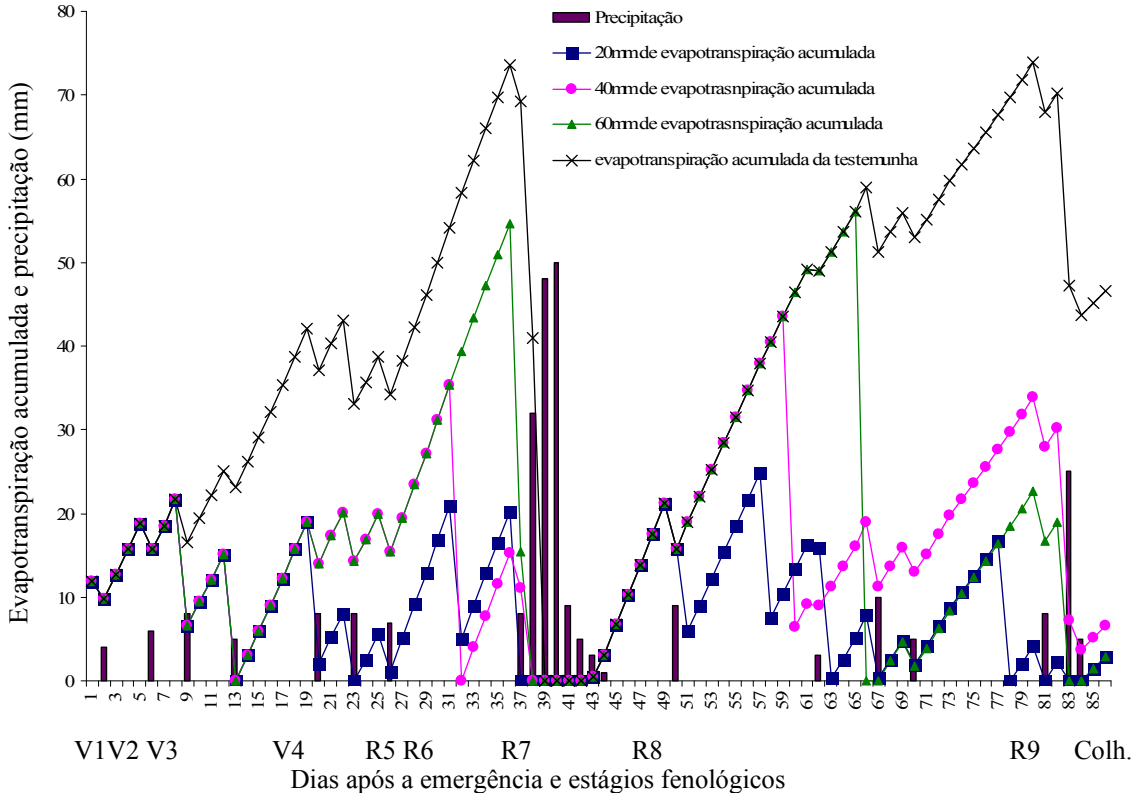


GRÁFICO 11 – Representação das evapotranspirações acumuladas para todos os tratamentos de irrigação complementar, o tratamento testemunha e as precipitações que ocorreram da emergência (21/01/2008) até a colheita do feijoeiro; Santa Maria - RS. 2008

O somatório das precipitações foram superiores à evapotranspiração acumulada durante o ciclo. No entanto, foram verificados três períodos com a ocorrência de deficiência hídrica devido à distribuição desuniforme da precipitação pluvial. Os sub-períodos identificados ocorreram durante os períodos críticos da cultura, ou seja, o primeiro entre o 27º e o 37º DAE (botões florais e floração), e o segundo do 50º ao 62º DAE (início do enchimento de grãos) e o terceiro foi entre 68º e 78º DAE (final do enchimento de grãos).

No GRÁFICO 12 estão representadas as irrigações que cada tratamento recebeu e as precipitações que foram medidas na área experimental, assim como o somatório da ETma durante o experimento para cada tratamento. As lâminas de irrigação complementar que

foram aplicadas nos tratamentos por ambos os sistemas de irrigação localizada foram de 183, 140 e 155 mm nos tratamentos de 20, 40 e 60 mm de ETma, respectivamente.

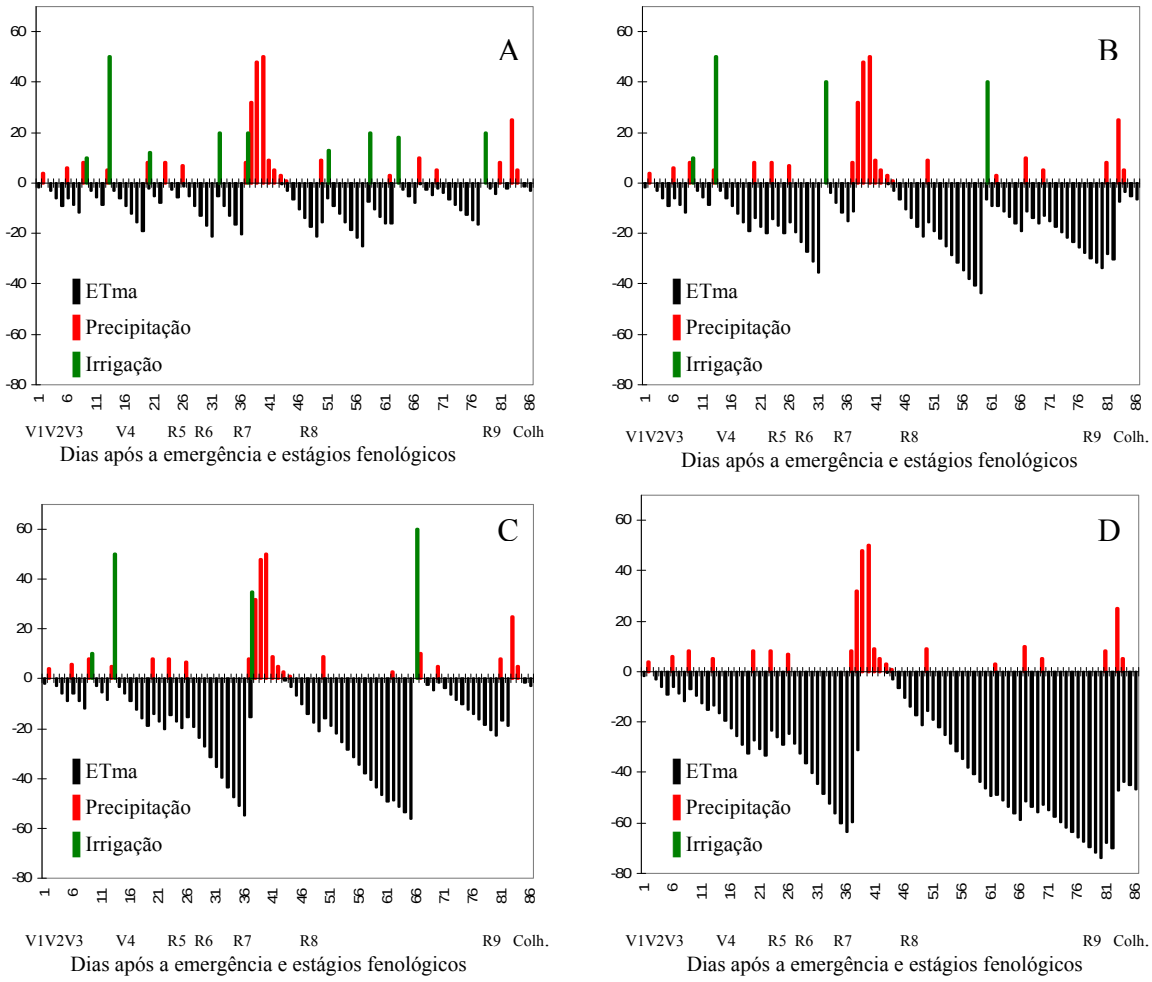


GRÁFICO 12 – Evapotranspirações máximas acumuladas (ETma) durante o ciclo do feijoeiro para os dois sistemas de irrigação complementar e o tratamento testemunha, com as respectivas irrigações e precipitações que ocorreram da emergência (21/01/2008) até a colheita do feijoeiro. Santa Maria - RS. 2008.

O GRÁFICO 12A esta apresentando os valores para o tratamento de 20 mm de ETma. Neste tratamento foram realizadas sete irrigações durante o ciclo de cultivo do feijoeiro a partir do momento que o solo atingiu a capacidade de campo, que ocorreu no 13º DAE em V2. Neste momento foi iniciada a acumulação da ETm até atingir o valor de 20 mm de ETma. Quando a evapotranspiração acumulada atingia valor superior a 20 mm de ETma os sistemas de irrigação eram acionados para proporcionar ao solo atingir a capacidade de campo.

Os valores de ETma para os tratamentos de 20, 40, 60 mm e o tratamento testemunha estão apresentados no GRÁFICO 12A, B, C e D respectivamente.

Dentre as sete irrigações efetuadas no tratamento de 20 mm de ETma, cinco delas foram realizadas nos períodos considerados críticos para a cultura do feijoeiro, fazendo com que a planta não fosse afetada pelo déficit hídrico.

O GRÁFICO 12B apresenta os valores para o tratamento de 40 mm de ETma, onde foram realizadas duas irrigações. A primeira foi efetuada na fase de plena floração e a segunda foi realizada no enchimento de grãos. Antes da primeira irrigação deste tratamento, o feijoeiro foi submetido à lâmina crítica desejada. Com isso a deficiência hídrica desta lâmina afetou negativamente a floração do feijoeiro. O segundo período em que esta lâmina foi proporcionada à cultura, compreende o período de enchimento de grãos. Neste período verificou-se que o feijoeiro apresentou menor massa de grãos.

O GRÁFICO 12C apresenta o tratamento 60 mm de ETma onde foram realizadas duas irrigações. A primeira irrigação neste tratamento foi realizada após o estágio de formação do botão floral, floração até o início da formação das vagens. Isso pode ter afetado a floração e a formação inicial das vagens. A segunda irrigação realizou-se no final do estágio de enchimento de grãos, o que poderá ter influenciado na obtenção de menor massa de grãos.

No tratamento testemunha, representado pelo GRÁFICO 12D, a ETma apresenta valores próximos a 74 mm de ETma durante o experimento.

O tratamento testemunha, submetido à disponibilidade de água pelas precipitações pluviométricas, recebeu o total de 267 mm da emergência até a colheita do feijoeiro. A disponibilidade de água no tratamento de 20 mm ETma foram aplicados 183 mm, no tratamento 40 mm ETma foram aplicados 140 mm e no tratamento 60 mm ETma 155 mm. Os tratamentos de irrigação complementar possibilitaram o aumento na disponibilidade de água, em comparação ao tratamento testemunha, de 73,54 %, 56,34 % e 66,34 % para os tratamentos 20, 40 e 60 mm de ETma, respectivamente.

4.5.1 ALTURA DE PLANTA

O GRÁFICO 13 apresenta as alturas médias das repetições de cada tratamento em cada sistema de irrigação.

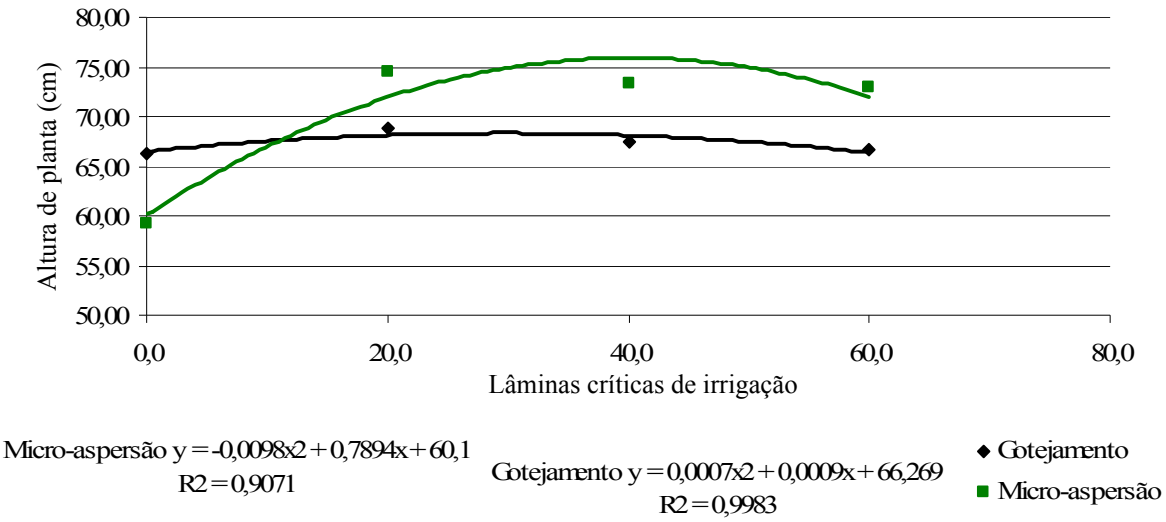


GRÁFICO 13 – Alturas médias de plantas de feijoeiro por tratamento nas parcelas, Santa Maria - RS. 2008.

TABELA 5 - Análise de variância conjunta para altura de planta entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão. Foram avaliados 4 tratamentos com 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	F tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	84,922	21,230	0,413	3,63
Tratamento (T)	3	371,148	123,716	0,410	9,28
Ambiente (A)	1	150887,398	150887,398	467,478	10,13
T x A	3	904,945	301,648	5,863	3,86
Erro médio	9	463,016	51,446		

Com base na TABELA 5 encontrou-se interação entre os tratamentos na análise conjunta entre os sistemas. A interação entre os sistemas de irrigação evidencia que existe diferença entre os sistemas de irrigação. O sistema de micro-aspersão apresentou maior altura média de planta no tratamento de 20 mm de ETma com altura de 74,5 cm. Segundo Cunha et al., (2001) quanto maior for a disponibilidade de água maior será a altura de plantas.

TABELA 6 – Análise de variação para altura de planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	14,125	4,708	0,323	3,86
Tratamentos	3	621,875	207,292	14,241	3,86
Erro	9	131,000	14,556		
Total	15	767,000			

Entre as lâminas de irrigação complementar estudadas foi encontrada diferença estatística apenas no sistema de irrigação por micro-aspersão, conforme avaliado a partir da TABELA 6.

O manejo da água de irrigação ocasionou diferenças na altura média do feijoeiro com a aplicação dos tratamentos de irrigação por micro-aspersão em comparação com o tratamento testemunha. Não ocorreu diferença estatística significativa entre os tratamentos irrigados. O valor correspondente a maior altura de planta através da máxima eficiência técnica foi verificada no tratamento com 40 mm de ETma com a altura correspondente a 76,0 cm e, em valores absolutos, a lâmina que proporcionou a maior altura média foi o tratamento 20 mm de ETma correspondendo a 74,5 cm, que não diferiu estatisticamente dos tratamentos 40 e 60 mm de ETma. Os tratamentos que receberam irrigação diferiram na altura média de planta apenas do tratamento testemunha.

No sistema de irrigação por gotejamento, conforme a TABELA 7, não houve diferença significativa entre altura de plantas no sistema de gotejamento. A maior altura de planta foi encontrado no tratamento 20 mm de ETma, correspondendo a 68,88 cm. A maior disponibilidade hídrica; concordando com os valores observados por Cunha et al., (2001) e por Parize (2007) que utilizou estratégias de irrigação baseada em percentuais da ETo.

TABELA 7 - Análise de variação para altura de planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	70,797	23,599	0,640	3,86
Tratamentos	3	16,172	5,391	0,146	3,86
Erro	9	332,016	36,891		
Total	15	418,984			

4.5.2 NÚMERO DE NÓS.PLANTA^{-1}

O número de nós foi avaliado durante o trabalho e estão apresentados no GRÁFICO 14.

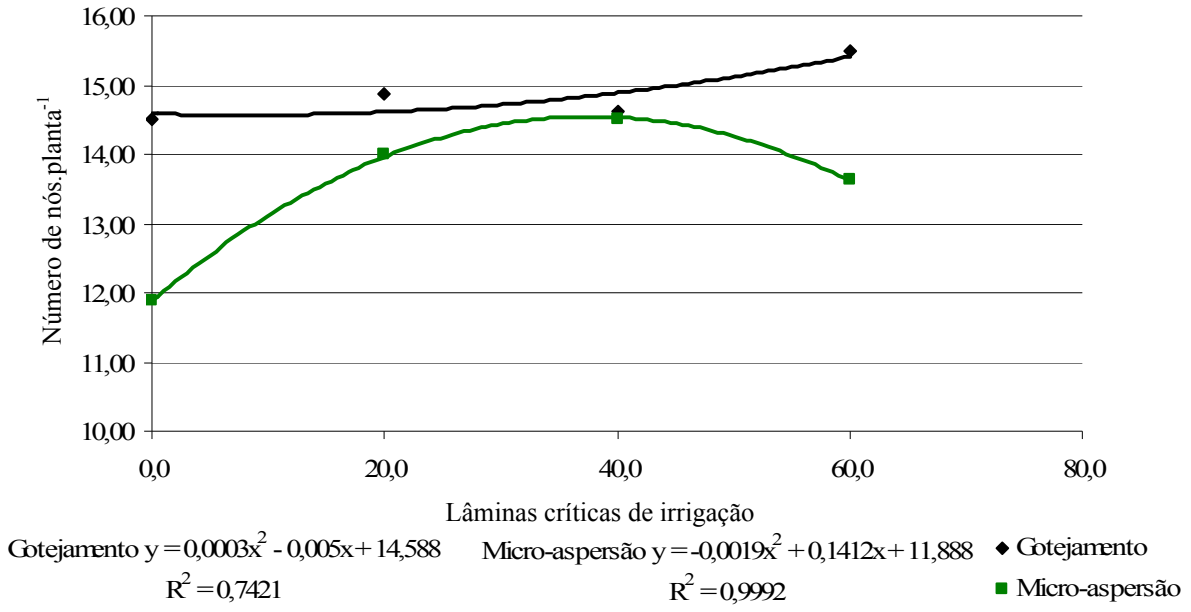


GRÁFICO 14 – Valores médios de número de nós na haste principal de cada tratamento nos dois sistemas de irrigação. Santa Maria - RS. 2008.

Verifica-se que não existe interação entre os ambientes demonstrada no GRÁFICO 14, confirmada pelos valores de F calculado em comparação com o F tabelado 5% (TABELA 8). Isto demonstra que para este fator e nas condições a que o trabalho foi submetido os sistemas de irrigação se comportam de forma diferenciada.

Avaliando os sistemas separadamente verificou-se que não se encontrou diferença significativa no número de nós.planta^{-1} entre as lâminas críticas de ETma e o tratamento testemunha nos dois sistemas de irrigação avaliados, conforme valores observados nas TABELA 9 e na TABELA 10.

TABELA 8 - Análise de variância conjunta para número de nós entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	20,000	5,000	1,029	3,63
Tratamento (T)	3	10,750	3,583	0,426	9,28
Ambiente (A)	1	6471,375	6471,375	482,701	5,99
T x A	3	25,250	8,417	1,731	3,86
Erro médio	9	43,750	4,861		

TABELA 9 - Análise de variação para número de nós em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	5,625	1,875	1,107	3,86
Tratamentos	3	15,625	5,208	3,074	3,86
Erro	9	15,250	1,694		
Total	15	36,500			

TABELA 10 - Análise de variação para número de nós em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F Tabelado 5%
Blocos	3	14,375	4,792	1,513	3,86
Tratamentos	3	2,375	0,792	0,25	3,86
Erro	9	28,500	3,167		
Total	15	45,250			

4.5.3 MASSA SECA DA PARTE AÉREA

No GRÁFICO 15 apresenta as médias de massa seca da parte aérea dos tratamentos em cada sistema de irrigação.

Através da análise conjunta (TABELA 11) dos experimentos verifica-se que ocorreu diferença entre os sistemas de irrigação. Isto indica que os dois sistemas de irrigação podem influenciar na massa seca da cultura de forma diferenciada e nas condições em que foi realizado o experimento.

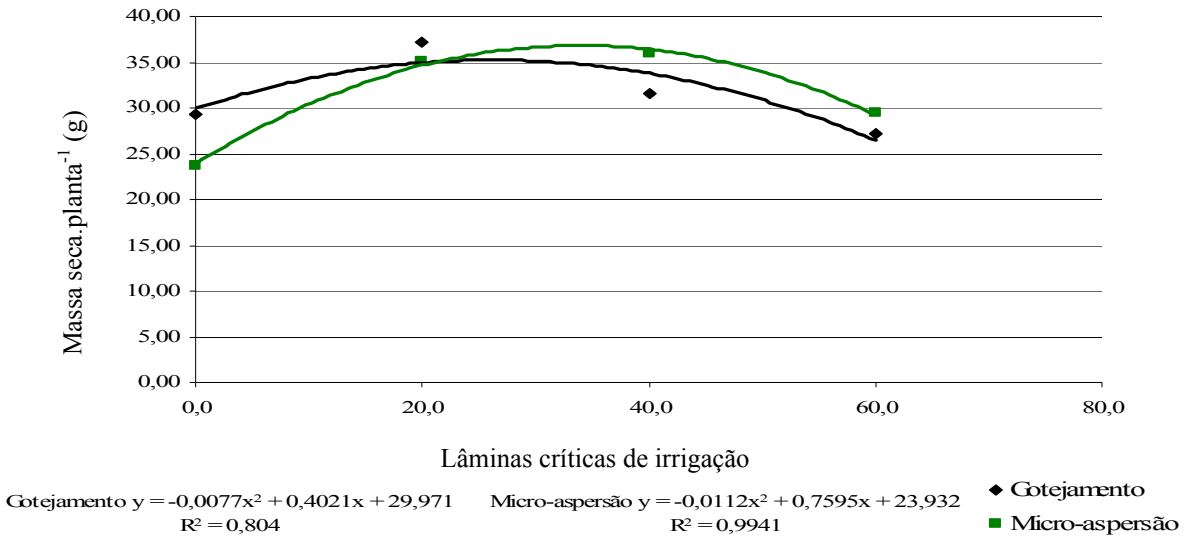


GRÁFICO 15 – Valores médios de massa seca da parte aérea do feijoeiro coletado no início de enchimento das vagens (estágio R8) para os dois sistemas de irrigação. Santa Maria - RS. 2008.

TABELA 11 - Análise de variância conjunta para massa seca da parte aérea entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria – RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	514,445	128,611	0,899	3,63
Tratamento (T)	3	442,816	147,605	1,000	9,28
Ambiente (A)	1	31330,886	31330,886	113,946	5,59
T x A	3	442,816	147,605	1,032	3,86
Erro médio	9	1286,859	142,984		

TABELA 12 - Análise de variação para massa seca da parte aérea em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F Tabelado 5%
Blocos	3	5,625	1,875	1,107	3,86
Tratamentos	3	15,625	5,208	3,074	3,86
Erro	9	15,250	1,694		
Total	15	36,500			

Analisando a TABELA 12 e TABELA 13, verifica-se que nos sistemas separadamente não foi verificado diferença entre os tratamentos.

O tratamento que proporcionou maior valor para massa seca da parte aérea foi com 20 mm de ETma para o sistema de irrigação por gotejamento e de 40 mm de ETma para o sistema de irrigação por micro-aspersão.

TABELA 13 - Análise de variação para massa seca da parte aérea em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	207,292	69,097	1,238	3,86
Tratamentos	3	300,206	100,069	1,793	3,86
Erro	9	502,216	55,802		
Total	15	1009,714			

Pela máxima eficiência técnica verifica-se que a ETma que ajusta a maior massa seca da parte aérea corresponderia a de 34 mm de ETma para o sistema de micro-aspersão e de 23 mm de ETma para o sistema de gotejamento.

Os valores de massa seca total de plantas foram superiores aos encontrados por Parize (2007) que trabalhou com diferentes estratégias de irrigação, sendo que a maior massa seca foi com a maior disponibilidade hídrica para o feijoeiro. A massa seca das plantas avaliada em R5 e R9 não apresentaram diferenças significativas entre as reposições de água no solo, segundo Santana (2007), que efetuou seu trabalho com reposição a percentuais do Kc, concordando com os valores observados neste trabalho.

4.5.4 ÁREA FOLIAR

A área foliar influencia o consumo de água pela cultura, portanto quanto maior for a área foliar maior será a necessidade de água requerida pela planta.

No GRÁFICO 16 são apresentados os valores médios de área foliar por planta em cada tratamento, segundo os dois sistemas de irrigação.

Através de análise conjunta (TABELA 14) encontrou-se diferença significativa na média da área foliar entre os sistemas de irrigação. O sistema micro-aspersão foi o que apresentou maior área foliar ao comparar com o sistema de gotejamento.

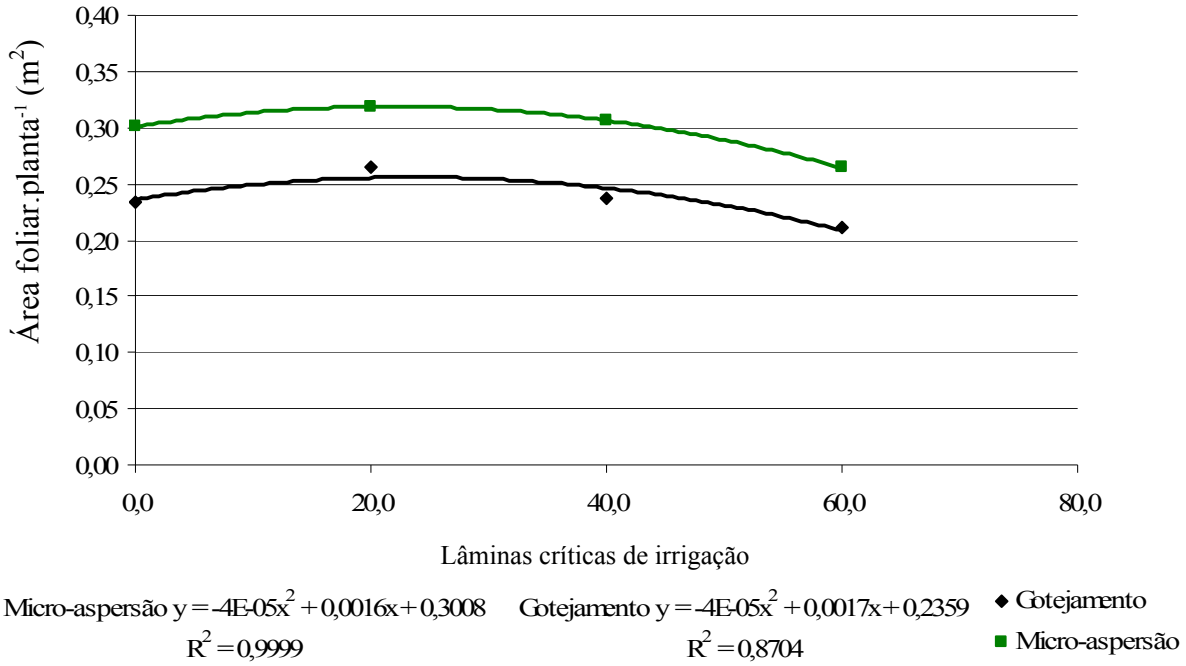


GRÁFICO 16 – Valores médios de área foliar por planta no sistema de gotejamento e de micro-aspersão. Santa Maria - RS. 2008.

TABELA 14 - Análise de variância conjunta para área foliar entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	0,018	0,005	1,261	3,63
Tratamento (T)	3	0,011	0,004	1,000	9,28
Ambiente (A)	1	1,791	1,791	215,419	5,59
T x A	3	0,011	0,004	1,035	3,86
Erro médio	9	0,033	0,004		

Para o sistema de irrigação por micro-aspersão existe diferença significativa entre os valores estudados, conforme apresentado na

TABELA 15. Em valores absolutos, a lâmina que proporcionou maior área foliar foi o tratamento de 20 mm de ETma e que o valor correspondente a análise de regressão para maior área foliar corresponde a 21 mm de ETma.

TABELA 15 - Análise de variação para área foliar em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão , Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F Tabelado 5%
Blocos	3	0,003	0,001	0,375	3,86
Tratamentos	3	0,007	0,002	0,810	3,86
Erro	9	0,024	0,003		
Total	15	0,034			

Analisando os sistemas de irrigação separadamente, verifica-se que nos tratamentos do sistema de gotejamento não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos conforme a TABELA 16. Em valores absolutos medidos o maior valor encontrado foi com a maior disponibilidade hídrica, ou seja, 20 mm de ETma.

TABELA 16 - Análise de variação para área foliar em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F Tabelado 5%
Blocos	3	0,009	0,003	1,682	3,86
Tratamentos	3	0,006	0,002	1,036	3,86
Erro	9	0,016	0,002		
Total	15	0,031			

A existência de relações entre massa seca foliar e produtividade foi encontrada, ou seja, quanto maior for a área foliar maior será a capacidade da planta armazenar carboidratos nos grãos e assim maior será a produtividade.

4.5.5 NÚMERO DE VAGENS.PLANTA^{-1}

Os valores correspondentes a média do número de vagens.planta^{-1} de cada tratamento, estão apresentados no GRÁFICO 17.

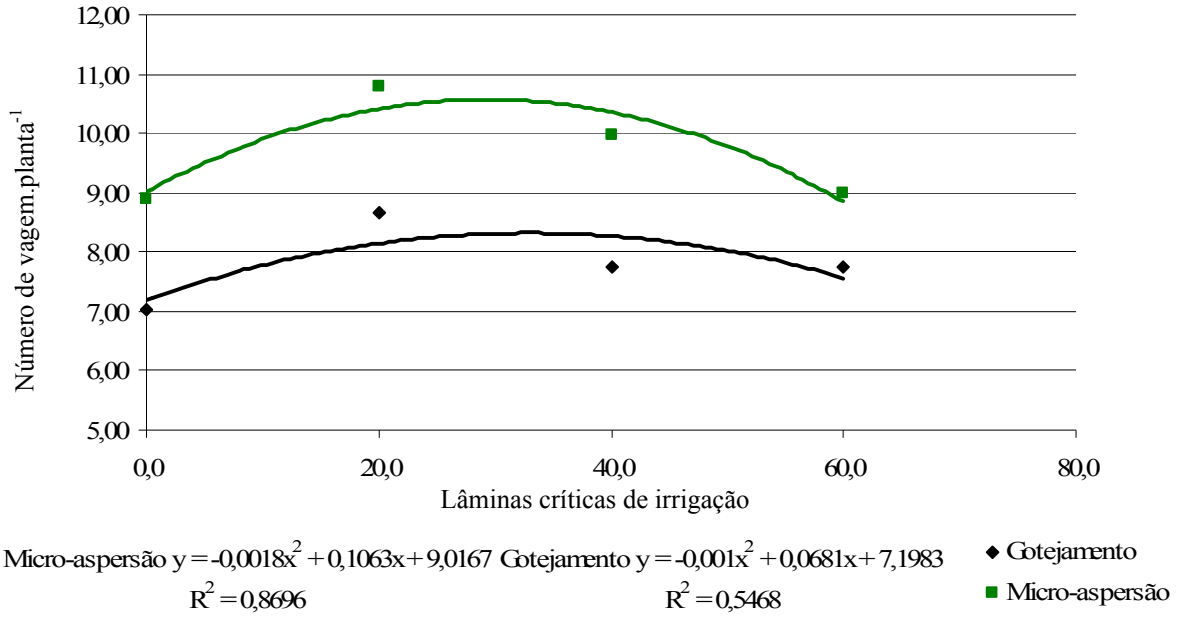


GRÁFICO 17 - Valores médios de número de vagens.planta^{-1} no sistema de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008.

Através da análise conjunta (TABELA 17) verificou-se que não ocorreu interação entre os sistemas de irrigação. Portanto, os dois sistemas se comportam de forma diferenciada para o mesmo manejo de disponibilidade hídrica nas condições as quais o experimento foi avaliado.

TABELA 17 - Análise de variância conjunta para número de vagem por planta entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F Tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	3,524	0,881	0,502	3,63
Tratamento (T)	3	14,125	4,708	0,854	9,28
Ambiente (A)	1	2493,207	2493,207	390,048	7,71
T x A	3	16,547	5,516	3,140	3,86
Erro médio	9	15,806	1,756		

Avaliando os sistemas de irrigação separadamente não se encontrou diferença significativa entre as ETma para os dois sistemas de irrigação (TABELA 18 e TABELA 19). Os resultados conferem com os encontrados por Parize (2007) e Santana (2007); no entanto os resultados encontrados diferem daqueles obtidos por Carvalho et al., (1996), Frizzone (1986), Garrido (1998) e Libardi (1994). Esta diferença pode ser atribuída à precipitação pluvial de grande intensidade ocorrida durante o estágio R7 provocando a queda das vagens.

TABELA 18 - Análise de variação para número de vagem por planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	1,886	0,629	0,602	3,86
Tratamentos	3	9,794	3,265	3,128	3,86
Erro	9	9,393	1,044		
Total	15	21,073			

TABELA 19 - Análise de variação para número de vagem por planta em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F Tabelado 5%
Blocos	3	0,469	0,157	0,588	3,86
Tratamentos	3	1,493	0,498	1,874	3,86
Erro	9	2,390	0,265		
Total	15	4,351			

A lâmina crítica que proporcionou maior número de vagem.planta^{-1} em ambos os sistema de irrigação por gotejamento e micro-aspersão foi com 20 mm de ETma.

A máxima eficiência técnica verificada para o maior número médio de vagem.planta^{-1} corresponde as lâminas críticas de 29 e 33 mm de ETma para os sistemas de micro-aspersão e gotejamento respectivamente.

4.5.6 NÚMERO DE GRÃOS.VAGEM^{-1}

No GRÁFICO 18 estão demonstrados os valores médios do número de grãos.vagem^{-1} para cada tratamento segundo os dois sistemas de irrigação.

Através da análise conjunta (TABELA 20) foi verificado que não existe interação entre os sistemas de irrigação. Os dois sistemas se comportaram de forma diferenciada para o mesmo manejo de irrigação nos dois sistemas de irrigação localizada nas condições em que foram realizados os experimentos.

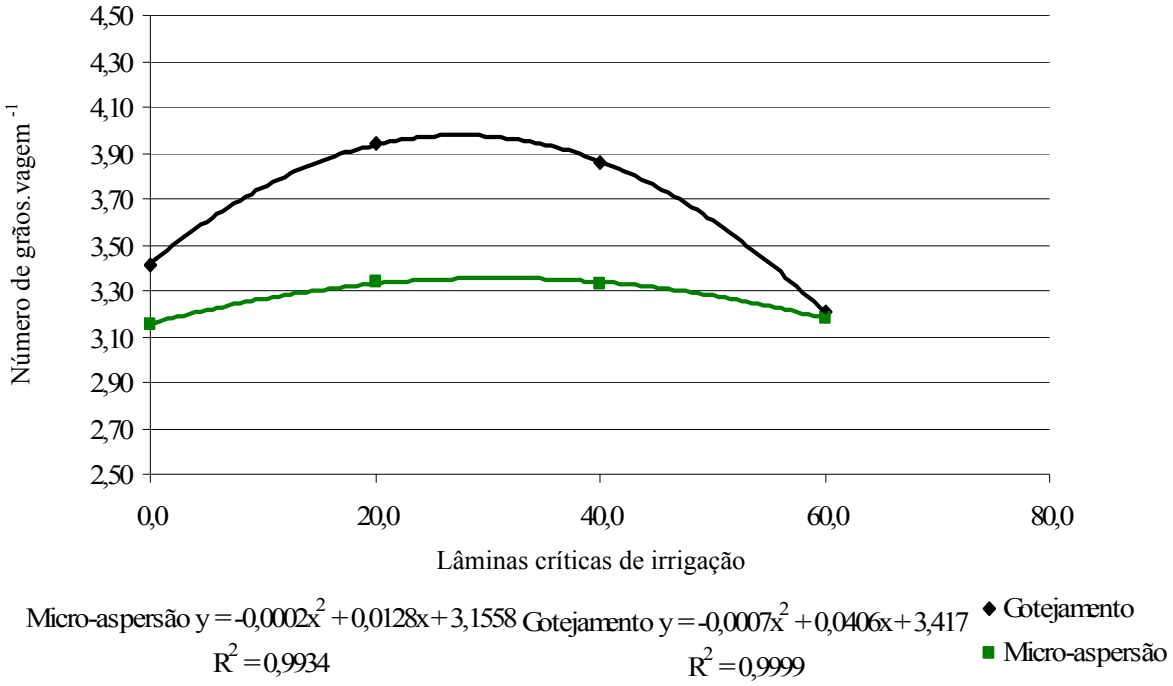


GRÁFICO 18 - Valores médios de número de grãos.vagem^{-1} para cada planta no sistema de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008.

TABELA 20 - Análise de variância conjunta para número de grãos.vagem^{-1} entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F Tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	0,675	0,169	0,383	3,63
Tratamento (T)	3	1,183	0,394	0,583	9,28
Ambiente (A)	1	377,937	377,937	448,083	7,71
T x A	3	2,027	0,676	1,534	3,86
Erro médio	9	3,965	0,441		

TABELA 21 - Análise de variação para número de grãos por vagem em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	0,206	0,069	0,392	3,86
Tratamentos	3	0,112	0,0371	0,213	3,86
Erro	9	1,575	0,175		
Total	15	1,893			

TABELA 22 - Análise de variância conjunta para massa de 100 grãos entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	0,467	0,157	0,588	3,86
Tratamentos	3	1,493	0,498	1,874	3,86
Erro	9	2,390	0,265		
Total	15	4,351			

Ao analisar os sistemas de irrigação separadamente, verifica-se que não existe diferença significativa entre as ETma para os dois sistemas de irrigação (TABELA 21 e TABELA 22), concordando com Parize (2007) e Santana (2007) que encontrou valores superiores ao encontrado neste trabalho; sendo valores entre 4 e 5 grãos por vagem com a variedade BRS-MG-Talismã.

O maior número médio de grãos.vagem^{-1} (3,34 e 3,94) foram encontrados para ambos os sistemas de irrigação gotejamento e micro-aspersão (respectivamente) com a maior disponibilidade hídrica, ou seja, com a lâmina crítica de 20 mm de ETma.

Através da máxima eficiência técnica encontrou-se que o maior número de grãos.vagem^{-}1 nos sistemas de irrigação localizada foram as lâminas de 31 e 26 mm de ETma para os sistemas de micro-aspersão e gotejamento respectivamente.

4.5.7 MASSA DE 100 GRÃOS

No GRÁFICO 19 estão demonstrados os valores médios de massa de 100 grãos em cada tratamento nos dois sistemas de irrigação.

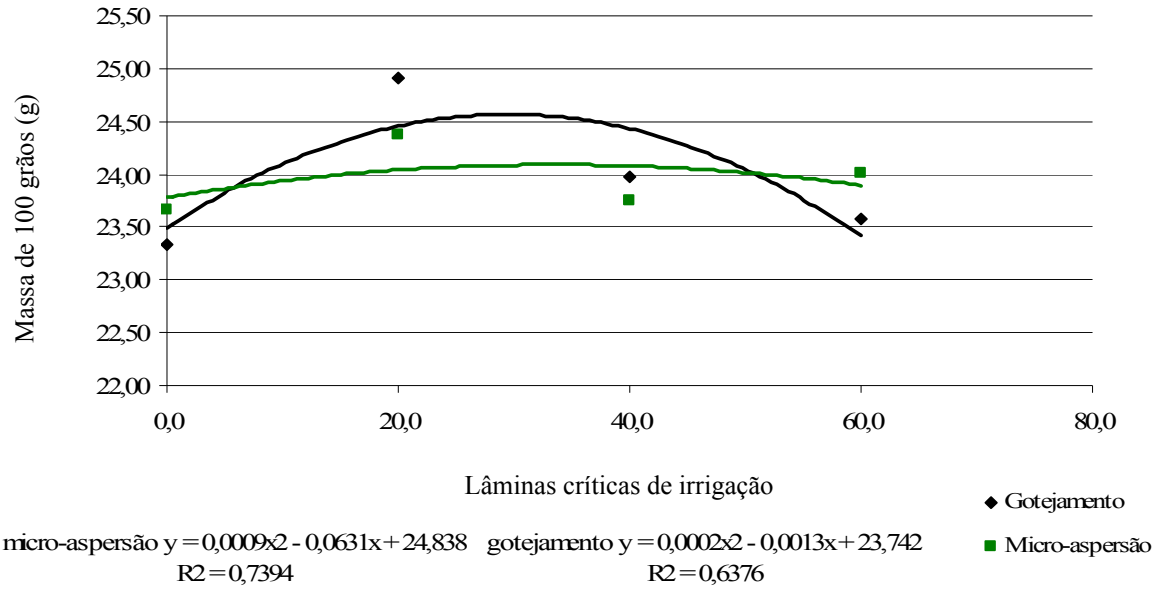


GRÁFICO 19 - Valores médios de massa de 100 grãos para cada planta no sistema de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008.

TABELA 23 - Análise de variância conjunta para massa de 100 grãos entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F tabelado 5%
Bloco/Ambiente	4	9,960	2,490	0,749	3,63
Tratamento (T)	3	8,957	2,986	0,988	9,28
Ambiente (A)	1	18665,539	18665,539	3386,282	5,59
T x A	3	9,070	3,023	0,909	3,86
Erro médio	9	29,924	3,325		

Através da análise conjunta (TABELA 23) foi verificado que não existe interação entre os sistemas de irrigação. Os dois sistemas comportam-se de forma diferenciada nos manejos de disponibilidade hídrica complementar a que foram submetidos

TABELA 24 - Análise de variação para massa de 100 grãos em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	7,667	2,556	6,578	3,86
Tratamentos	3	1,1904	0,397	1,021	3,86
Erro	9	3,4966	0,388		
Total	15	12,354			

Ao avaliar os sistemas de irrigação separadamente não se verificou diferença significativa entre as ETma para os dois sistemas de irrigação (TABELA 24 e TABELA 25), discordando dos dados encontrados por Parize (2007) e por Santana (2007). Isto se deve provavelmente a disponibilidade hídrica que foi proporcionada pelas precipitações no período inicial até enchimento de grãos.

O maior valor de massa de 100 grãos encontra-se com a disponibilidade de 20 mm de ETma para ambos os sistemas de irrigação. Desta forma, concordando com os valores encontrados por Stone e Moreira (2001) que verificou a maior massa de 100 grãos com maior disponibilidade hídrica as plantas.

Através da máxima eficiência técnica verificou-se que a maior massa de 100 grãos corresponderia a lâmina de 29 mm de ETma em ambos os sistemas de irrigação.

TABELA 25- Análise de variação para massa de 100 grãos em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F tabelado 5%
Blocos	3	0,159	0,053	0,075	3,86
Tratamentos	3	5,837	1,946	2,754	3,86
Erro	9	6,358	0,707		
Total	15	12,354			

4.5.8 PRODUTIVIDADE

Os componentes de produtividade do feijão como: número de vagens.planta^{-1}, número de grãos.vagem^{-1} e massa de 100 grãos são as características que influenciaram na produção de grãos.planta^{-1}, sendo considerados como os mais importantes na seleção de plantas para aumento da produção de grãos (OLIVEIRA et al., 2003).

No GRÁFICO 20 estão demonstrados os valores médios produtividade em kg.ha^{-1} para cada tratamento nos dois sistemas de irrigação.

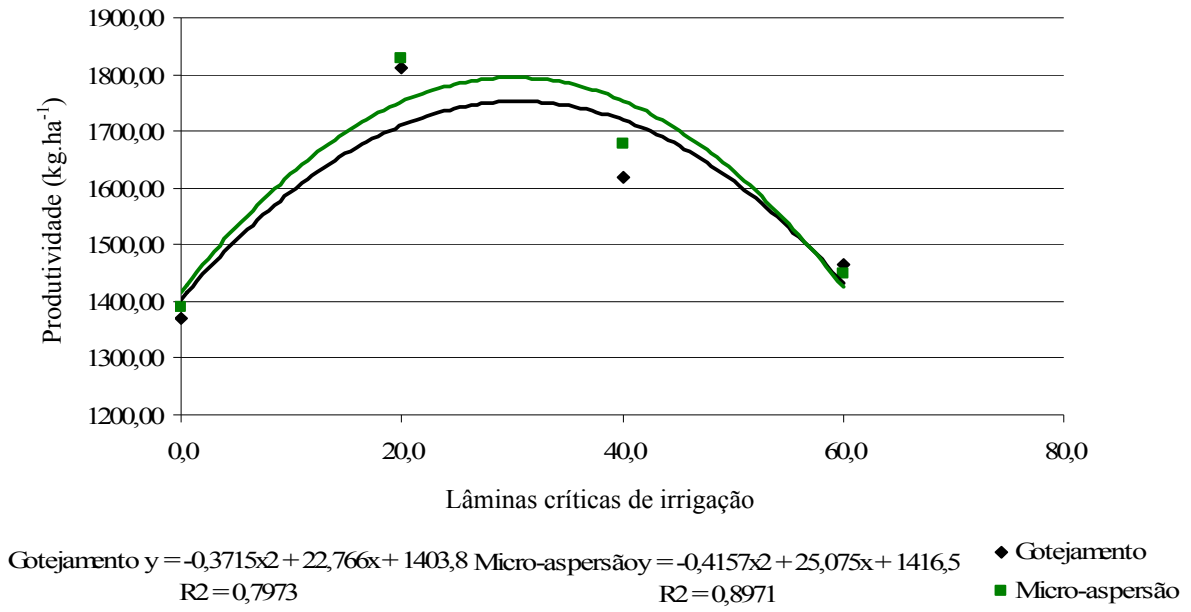


GRÁFICO 20 - Valores médios de produtividade de grãos para os sistemas de irrigação por gotejamento e de micro-aspersão, segundo as lâminas de irrigação complementar. Santa Maria - RS. 2008.

TABELA 26 - Análise de variância conjunta para produtividade de grãos entre os sistemas de irrigação por gotejamento e micro-aspersão que constam cada um de 4 tratamentos e 4 repetições, Santa Maria - RS.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados.	Quadrado Médio	F calculado	F TABELAdo 5%
Bloco/Ambiente	4	25933,673	6483,418	0,897	3,63
Tratamento (T)	3	933053,004	311017,668	0,988	9,28
Ambiente (A)	1	79556170,60	79556170,601	247,580	10,13
T x A	3	944643,420	314881,140	43,567	3,86
Erro médio	9	65046,979	7227,442		

Através da análise conjunta (TABELA 26) verificou-se que não existe interação entre os sistemas de irrigação. Os dois sistemas comportam-se de forma diferenciada para o mesmo manejo de irrigação para as condições as quais foram submetidas.

TABELA 27 - Análise de variação para produtividade em kg.ha^{-1} em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por micro-aspersão, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F Calculado	F TABELAdo 5%
Blocos	3	6210,427	2070,142	0,552	3,86
Tratamentos	3	493347,933	164449,310	43,876	3,86
Erro	9	33732,462	3748,051		

TABELA 28 - Análise de variação para produtividade em kg.ha^{-1} em blocos ao acaso com 4 repetições e 4 tratamentos no sistema de irrigação por gotejamento, Santa Maria - RS.

Causas de Variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F calculado	F TABELAdo 5%
Blocos	3	19723,246	6574,415	1,889	3,86
Tratamentos	3	445500,279	148500,090	42,680	3,86
Erro	9	31314,517	3479,391		
Total	15	496538,042			

Ao avaliar os sistemas de irrigação separadamente verifica-se que diferença significativa entre as ETma para os dois sistemas de irrigação (TABELA 27 e TABELA 28).

Os maiores valores de produtividade média foram observados nos tratamentos de maior disponibilidade hídrica, ou seja, quando o feijoeiro foi submetido a lâmina crítica de 20 mm de ETma para ambos os sistemas de irrigação localizada. Estes valores são semelhantes aos observados por Stone e Moreira (2001) que ao trabalhar com 5 tratamentos de lâminas de irrigação (326,4; 310,2; 304,6; 283,8 e 259,8 mm); verificaram que a maior produtividade foi alcançada com a maior disponibilidade de água ao feijoeiro.

Através da máxima eficiência técnica estima-se que a maior produtividade média seria obtida com as lâminas crítica de 30 mm de ETma em ambos os sistemas de irrigação, proporcionando a produtividade de 1802 e 1794 kg.ha^{-1} para os sistemas de irrigação localizada por micro-aspersão e pelo sistema de gotejamento, respectivamente.

O valor de 30 mm de ETma esta muito próximo do valor encontrado por Jadoski et al., (2003) de 33 mm correspondendo à máxima eficiência técnica para o rendimento de grãos de 2045 kg.ha^{-1}.

5 CONCLUSÕES

De acordo com as variáveis analisadas e condições verificadas durante a realização deste estudo conclui-se que:

- a irrigação complementar apresentou diferença significativa de produtividade em relação ao tratamento testemunha;
- o manejo de água de irrigação complementar da cultura do feijoeiro com a aplicação de 35 mm de ETma apresentou a maior eficiência técnica para o componente de produtividade para o sistema de irrigação por gotejamento;
- o manejo de água de irrigação complementar do feijoeiro com a aplicação de 31 mm de ETma proporcionou maior eficiência técnica para a produtividade no sistema de irrigação de micro-aspersão;
- o número de vagens.planta^{-1} foi superior no sistema de irrigação localizada por micro-aspersão para todas as lâminas críticas de irrigação complementar;
- o número de grãos.vagem^{-1} foi superior no sistema de irrigação localizada por gotejamento em todas as lâminas críticas de irrigação complementar.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S. et al. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 35-8, Jan. – Abr. 2002.

AGUIAR A. S.; ANDRADE, A. P.; FRANÇA, I. S. Avaliação da infiltração da água no solo como indicador de modificações edáficas em três sistemas de manejo**. Agropecuária Técnica**, v. 27, n. 2, p. 85–91, Jul. Dez. 2006

AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro do grupo comercial carioca quanto à tolerância ao estresse térmico. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2002a. 842 p. p. 418-420.

AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V. Reação de linhagens promissoras de feijoeiro (***Phaseolus vulgaris*** L.) do grupo comercial preto ao estresse térmico. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, n 7. 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2002b. 842 p. p. 421-424.

ALCÂNTRA, J. P. et al. Avaliação de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes densidades de semeadura e condições de ambiente. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 15 n° 4, p. 331-428, out./dez. 1991.

ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration** – Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Dranaige Paper, FAO 56)

ANDREATTA, J. A. et al. Monitoramento da irrigação e da aplicação de defensivos agrícolas em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. IAC-Carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, n 7., 1991, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 268-270.

ARF, O. et al. Efeito de diferentes espaçamentos e densidades em feijoeiro (***Phaseolus vulgaris* L.**) adubado de acordo com a área e a população de plantas. **Científica,** São Paulo, v.25, n.1, p.45-57, jan./jun. 1997.

AZEVEDO, J. A. **Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Piracicaba, 1984. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura ”Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1984.

BALARDIN, R. S. et. al. Coordenador. **Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão**: recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 2000. 80 f.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relação com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 387-392, out./dez. 1989.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro – I: análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.733-743, 1988.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657 p.

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

BERTRAND, A. R. Rate of water intake in the field. In: BLACK, C. A., (Ed.) **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, cap. 12, p. 197-209. (Agronomy, 9).

BRANDÃO, V. S., PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo.** Viçosa. 2° ed. UFV, 2004. 98 p.

CALHEIROS, C.B.M et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.7, p.509-515, jul./dez. 1996.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; BACHI, O. O. S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão, cv. Imbabello. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10. 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. p. 668-670.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; ANDRADE, A. S. J., Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.4, p. 399-405, abr. 1997.

CARGNIN, A. P. **Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul. Secretaria do Planejamento e Gestão** - SEPLAG / Departamento de Planejamento Governamental – DEPLAN. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=633> Acessado em 18 de set. 2008.

CARGNELUTTI et al. Temperaturas máximas prejudiciais ao feijoeiro no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Ciência Rural,** v. 35, n. 5, set./out. 2005.

CARVALHO, A. M. de et al. Influência da fertirrigação no rendimento de grãos e componentes de produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 503-511, out./dez. 1992.

CARVALLO, H. O. G. **Física dos solos**. 1° ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10° ed. - Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 394 p.

CUNHA, C. A. H. ; ANGULO FILHO, R. ; ALBERTINI, A. Avaliação do comportamento espectral e características agronômicas da cultura do feijão irrigada com diferentes lâminas de água. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, n. único, p. 65-72, 2001.

DECAGON DEVICES. **Operator's manual version 1.3 WP4 dewpointmeter.** USA DECAGON devices, 2000. 70 p.

DENÍCULI, W. et al. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

DIDONET, A. D. **Acúmulo de biomassa, nitrogênio e temperatura na definição do rendimento de grãos do feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 37 f. (Embrapa. Programa 4 – Sistemas de Produção de Grãos. Projeto 04.2001.074. Relatório de Acompanhamento, período 2001).

DIDONET, A. D. et al. Efeitos da alta temperatura do ar. In:_____. **Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. cap. 3, p. 53-66.

DIDONET, A. D.; MADRIZ, P. M. Abortamento de flores e vagens no feijoeiro: efeito da temperatura e da radiação solar. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002. Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 2002. p. 55-58.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.29, n.1, p. 25-32, jan./mar. 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2º ed. 2006. 306p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2º edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA, **Sistemas de Produção 2**. Versão eletrônica Jan/2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FONTESHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm > Acessado em 15 de jul. 2007. Disponível desde janeiro de 2003.

VIANA, F. P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. p. 135-152.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FARIA, R. T. de; FOLEGATTI, M. V.; OLIVEIRA, D. de. Crescimento e desenvolvimento do feijoeiro sob diferentes regimes térmicos e hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. p. 659-661.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação.** 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FONTES, P.C.R; SILVA, D.J.H. **Produção de Tomate de Mesa**, Viçosa, MG 2002. 196p

GARRIDO, M. A. T.; PURCINO, J. R. C.; LIMA, C. A. S. Efeito de diferentes regimes de irrigação sobre o rendimento do feijoeiro na região norte de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto Feijão: relatório 77/78**. Belo Horizonte, 1979. p. 28-30.

GEPTS; M., LÓPEZ. C. **Etapas de desarollo de la planta de frijol común**. Colômbia. CIAT. 1983. 26 p.

GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação**: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento. 3° ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 412 p.

GONÇALVES, S. L. et al. Probabilidade de ocorrência de temperaturas superiores a 30°C no florescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L), cultivado na safra das águas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 99-107, jan./mar. 1997.

HAMAN, S.Z.;et al.,. **Settling basins for trickle irrigation in Florida**. Agricultural Engineering Fact Sheet AE-65. IFAS, University of Florida, 1987. 5 p.

HERNANDEZ, F. B. T. Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24. 1994, Viçosa. ***Anais...*** Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 13 p.

HOFFMANN, L.J. et al. Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo **Ciência Rural.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil v. 37, n° 6. p. 1543-1548.nove./dez. 1998.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal, Cereais, Leguminosas e Oleaginosas 2006**. Rio de Janeiro 2007. 47 p.

JADOSKI, A. et al. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Irriga**. Botucatu. v. 8, n 1. p 1-9, jan./abr. 2003.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation. New York**: Avibook, 1990. 649 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinklers Manufacturing Corp., 1975. 133 p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa - CNPS, 1996. 84 p

LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p. 529-32, maio/ago. 1994.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1995. 497 p.

LOPEZ, J. R. et al. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Centro Nacional de Tecnologia de Regadios, 1992. p. 217-229.

LOUREIRO, B.T. et al. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 37, n. 211, p. 215-226, 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, out./dez. 1994.

MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Zoneamento agroclimático da cultura de feijão no Estado do Rio Grande do Sul: recomendação de períodos favoráveis de semeadura por região agroecológica. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 455-458.

MALUF, J. R. T.; et al. **Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de feijão safrinha no Estado do Rio Grande do Sul: períodos favoráveis de semeadura por município, safra 2003 - 2004**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 13 p.

MASSIGNAM, A. M.; VIEIRA, H. J.; HEMP, S.; DITTRICH, R. C.; FLESCH, R. D.; VICTORIA, F. B. Ecofisiologia do feijoeiro. I – Determinação do período crítico à deficiência hídrica do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 35-39, jan./jun. 1998a.

MASSIGNAM et al. Ecofisiologia do feijoeiro. II - Redução do rendimento pela ocorrência de altas temperaturas no florescimento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 41-45, jan./jun. 1998b.

MASSIGNAM, A. M. et al. Ecofisiologia do feijoeiro. III - Influência de variáveis bioclimáticas na duração de sub-períodos fenológicos e determinação de temperatura-base e graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 47-54, jan./jun. 1998c.

MATZENAUER.; MALUF,J.R.J; BUENO,A.C. Evapotranspiração da cultura de feijão e relação com a evapotranspiração do tanque classe "A". **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. Porto Alegre. v. 4, n. 2, 101-106. jul./dez. 1998.

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MODA-CIRINO, V.; FONSECA JÚNIOR, N. S. Seleção de genótipos de feijoeiro (***Phaseolus vulgaris*** L.) tolerantes a alta temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2001, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA, 2001. CD-ROM.

MOREIRA, J.A.A.; SILVEIRA, P.M. da.; STONE, L.F. Irrigação. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 465-521.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961. 46 p.

MOTA, F. S. da, et al. Análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 133-138, jan./jun 1996.

MOTA, F. S. da; AGENDES, M. O. de O.; SIGNORINI, E. Informação agroclimatológica para planejamento da irrigação do feijoeiro no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 141-148, jan./jun. 1993.

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapour pressure. **Journal of Applied Meteology**. v. 6, n. 1, p. 203-204, 1967.

NETO, D. D.; FANCELLI, A.L., **Produção de Feijão**. Guaíba: Agropecuária. 385 p. 2000.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 317-22, Mar. 1990.

OLIVEIRA, F. J. et al. Caracteres agronômicos aplicados na seleção de cultivares de Caupi. **Revista Ciência Agronômica**, Vol. 34, n. 1, jan./mar. 2003.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 197-200, 1968.

PARIZI, A. R. C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) na região de Santiago, RS**. 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007..

PAZ, V. P. S. et al. Efeito de Diferentes Níveis de Irrigação e do Déficit Hídrico na Produção do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CBEA), 26, Campina Grande. 1997. **Resumos...** Campina Grande:, 1997.

PESSOA, A. C. dos et al. Concentração e acumulação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo feijoeiro cultivado sob diferentes níveis de irrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.26, n.1, p.69-74, jan./mar. 1996.

PHENE, C.J.; RUSKIN, R. Potential of surface drip irrigation for management of nitrate in waster water. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5, 1995, Orlando, *Proceeding*… St Joseph: *American Society of Agricultural Engineers.* 1995.p.155-167.

POZZEBON, E. J. et al. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea do feijoeiro em resposta à irrigação, fertirrigação e micronutrientes. **Ciência Rural,** Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 191-196, abr./jun. 1996.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 55-61, jan./mar. 1996.

RAMOS, R. S. **Técnica de irrigação por gotejamento aumenta produtividade de culturas de cana e laranja**. Informativo, UNESP PROEX, Ano III, Edição 42, Outubro de 2003. disponível: <http://www.agr.feis.unesp.br/unesp102003.htm.>

REICHARDT, K. **A Água em Sistema Agrícolas**. Universidade de São Paulo-USP – Piracicaba - São Paulo, 1990, 186 p.

REIS et al. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**. Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n.2, p 74 - 81, abr./jun., 2005.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO FEIJÃO, 33. **REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DO FEIJÃO,** 4., 2000, Santa Maria. Feijão: recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul. Santa Maria: Comissão Estadual de Pesquisa de Feijão; UFSM, 2000. 80 p.

SANTANA, M. J**. Resposta do feijoeiro comum a lâminas e épocas de suspensão da irrigação**. 102 p. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2007.

SHONNARD, G. C.; GEPTS, P. Genetic of heat tolerance during reproductive development in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 5, p. 1168-1175, 1994.

SILVA, C. A. da**.** Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia.** Ano IV, n°. 08, 2005

SILVA, E. L. **Relação água-solo-planta**. Lavras: ESAL, 1982. 30p.

SILVEIRA, P. M. et al. Lâminas de Água e Turnos de Rega na Cultura do Feijoeiro de Inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 2, p. 219-223, mar./abr. 1984.

SIQUEIRA, O. J. F.; DENARDIN J. E. Equipamento para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, n°** 9: p.73-75, jul./dez. 1985.

SOARES, A. A., RAMOS, M. M., LUCATO JÚNIOR, J. Uso racional de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô-central no estado de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de engenharia agrícola, 22, 1993. Ilhéus. **Anais...**, Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2688- 2702.

SOUZA, L. O. C., **Análise Técnica de Sistemas de Irrigação por Gotejamento Utilizados na Cafeicultura Irrigada**. Viçosa: UFV, 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.3, p.473-81, maio./jun. 2001.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo de água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p. 939-954, nov./dez. 1994.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n 1. p. 83-91, jan./fev. 1999.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; KAISER, D.R.; KUNZ, M. PELLEGRINI, A. REIHERT, J. M e ALBUQUERQUE, J.A. Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: **XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**. 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. (CD-ROM).

USDA - **Soil Conservation Service.** Soil Survey Investigations Report n.1. Whashington, 1972. 63 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A. closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am**. n. 44, p 892-898, jan./jun.1980.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**, Rio de Janeiro, EPFS, 1969. 24 p.

WRIGHT, J. L. e M. E. JENSEN. Peak water requirements of crops in southern Idaho. Proc. **Am. Soc. Civ. Eng., J. Irrig. Drain.Div**. 98(IR2): 1972. p. 193-201.

WU, I. P., GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, St. Joseph, v. 26, n. 1, p. 92-99, jan. 1983.

ANEXOS

ANEXO A: EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O CÁLCULO DA INFILTRALÃO DE ÁGUA NO SOLO

Equações para calculo da infiltração de água no solo.

$$I = aT^{b} \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo:

I - é lâmina infiltrada no tempo;

T, a e *b* - são parâmetros do modelo e dependem do tipo de solo.

$$VI = 60anT^{(n-1)} \qquad \text{Equação 2}$$

Sendo:

VI - taxa de infiltração da água no solo;

a e b - coeficientes foram determinados por regressão linear entre os valores da infiltração acumulada de água e o tempo acumulado.

$$T = 600b \qquad \text{Equação 3}$$

Sendo:

T - tempo estimado;

VI - ser igual a *CI* (Capacidade de infiltração de água no solo).

A taxa de infiltração, segundo o modelo de HORTON, é expressa pela equação abaixo:

$$i = i_f + (i_i - i_f)e^{-\beta t} \qquad \text{Equação 4}$$

Sendo:

i - taxa de infiltração da água no solo;

i_f - valor constante corresponde a taxa de infiltração estável;

i_i - taxa de infiltração inicial;

β - constante de decaimento;

t - tempo, em minutos.

$$i = i_f t + (\frac{I_{ib} - i_f}{\beta})(1 - e^{-\beta t}) \qquad \text{Equação 5}$$

Sendo:

i_i, i_f, e β foram parâmetros determinados empiricamente a partir de pares de valores simultâneos de I e t ou i e t, caso a infiltração seja acumulada equação ou instantânea (equação 4), respectivamente.

ANEXO B: Equações para o calculo da evapotranspiração de referência

A declividade da curva de pressão de vapor na saturação foi obtida derivando a equação de Tetens (Murray 1967), cujo resultado em kPa $^{o}C^{-1}$, e calculada como se segue:

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2} \qquad \text{Equação 9}$$

A constante psicrométrica (γ) representa o balanço entre o calor sensível ganho pela passagem do fluxo de ar no termômetro de bulbo úmido e calor sensível transformado em calor latente, foi calculada como:

$$\gamma = 0.665 * 10^{-3} P \qquad \text{Equação 10}$$

Sendo:
P – Pressão atmosférica (kPa).

A pressão de saturação de vapor com base na temperatura média (e^0)

$$e^0 = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27t}{t+237.3}\right) \qquad \text{Equação 11}$$

A pressão de saturação de vapor com base na média da pressão de vapor para a temperatura máxima $e^0(t_{max})$ e mínima $e^0(t_{min})$.

$$e^0(t_{max}) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27t_{max}}{t_{max}+237.3}\right) \qquad \text{Equação 12}$$

$$e^0(t_{min}) = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27t_{min}}{t_{min}+237.3}\right) \qquad \text{Equação 13}$$

Sendo:

T_{max} – Temperatura máxima diária (ºC);

T_{min} - Temperatura mínima diária (ºC).

$$e_s = \frac{e^0(t_{\max}) + e^0(t_{\min})}{2} \qquad \text{Equação 14}$$

Pressão real de vapor (kPa)

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100}\left(\frac{e^0(t_{\max}) + e^0(t_{\min})}{2}\right) \qquad \text{Equação 15}$$

Sendo:

RH_{mean} – Umidade relativa do ar média diária (%).

Distância relativa entre o sol e a terra

$$D_r = 1 + 0.033\cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \qquad \text{Equação 16}$$

Sendo:

D_r – Distância relativa entre o sol e a terra;

J – Dias juliano;

π – 3,141592654.

Declinação solar

$$\delta = 0.409\sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.39\right) \qquad \text{Equação 17}$$

Determinação do ângulo horário correspondente ao nascer do Sol (ω_s)

$$\omega_s = \arctan\left(-\tan(\varphi)\tan(\delta)\right) \qquad \text{Equação 18}$$

Radiação solar no topo da atmosfera (Ra)

$$Ra = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc}.D_r\left[\omega_s.sen(\varphi)sen(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)sen(\omega_s)\right] \qquad \text{Equação 19}$$

Sendo:

G_{sc} – Constante solar (0.0820 $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$);

ω_s – ângulo horário correspondente ao nascer do Sol (em radiano);

δ – Declinação do sol;

φ – latitude (em radianos);

O número de horas de sol máxima por dia.

$$N = \frac{24}{\pi}\omega_s \qquad \text{Equação 20}$$

Radiação solar (R_s)

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right)R_a \qquad \text{Equação 21}$$

Sendo:

a_s – constante do local (0.25);

b_s – constante do local (0.50);

n – Número de horas de sol medidas diariamente através da estação.

Radiação solar ao nível do mar (R_{so})

$$R_{so} = (0.75 + 0{,}00002Z)R_a \qquad \text{Equação 22}$$

Sendo:

Z - Altitude do local.

Ondas de radiação curta (R_{ns})

$$R_{ns} = (1-\alpha)R_s \qquad \text{Equação 23}$$

Sendo:

α – coeficiente de reflexão da cultura (0.23).

Radiação de onda longa (R_{nl})

$$R_{nl} = \sigma\left[\frac{T_{\max}K^4 + T_{\min}K^4}{2}\right]\left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right)\left[1.35\frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right] \qquad \text{Equação 24}$$

Sendo:

$T_{max}K^4$ – Temperatura máxima diária mais 273.16 para a transformação em temperatura em graus Kelvin;

$T_{min}K^4$ – Temperatura máxima diária mais 273.16 para a transformação em temperatura em graus Kelvin;

σ – Constante de Stefan-Boltzmann (4.903 10^{-9}MJ.K^{-4}.m^{-2}.dia^{-1}).

Saldo de Radiação

$$Rn = R_{ns} - R_{nl} \qquad \text{Equação 25}$$

O fluxo de calor do solo (G) de acordo com Allen et al., (1998) representa a magnitude do fluxo de calor no solo em períodos diários, sendo relativamente baixa e pode ser desprezada (G ≈ 0). Já conforme Wright e Jansen (1963) o fluxo de calor é expressado por:

$$G = 0.38(T_i - T_{i-1}) \qquad \text{Equação 26}$$

Sendo:

T_i – Temperatura média do dia i

T_{i-1} – Temperatura média do dia anterior