

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

**EFEITO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE
IRRIGAÇÃO SOB AS CULTURAS DE FEIJÃO
(*Phaseolus vulgaris L.*) E MILHO (*Zea mays L.*) NA
REGIÃO DE SANTIAGO, RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ana Rita Costenaro Parizi

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

**EFEITO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO
SOB AS CULTURAS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris L.*) E
MILHO (*Zea mays L.*) NA REGIÃO DE SANTIAGO, RS.**

por

Ana Rita Costenaro Parizi

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. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

**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

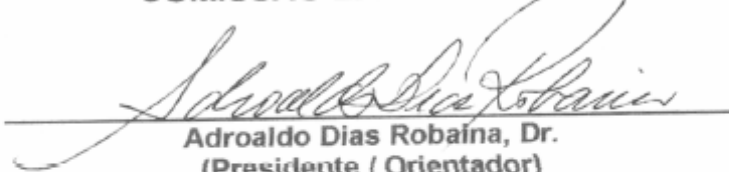
**EFEITO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO SOB
AS CULTURAS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) E MILHO (*Zea
mays* L.) NA REGIÃO DE SANTIAGO, RS.**

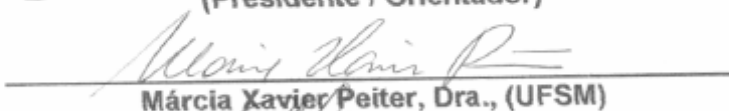
elaborada por
Ana Rita Costenaro Parizi

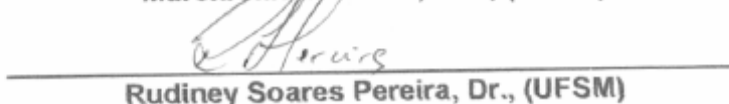
como requisito parcial para a obtenção de grau de

Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:


Adroaldo Dias Robaina, Dr.
(Presidente / Orientador)


Márcia Xavier Peiter, Dra., (UFSM)


Rudiney Soares Pereira, Dr., (UFSM)

Santa Maria, 16 de fevereiro de 2007.

Parizi, Ana Rita Costenaro, 1983-

P234e

Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) na região de Santiago, RS / por Ana Rita Costenaro Parizi ; orientador Adroaldo Dias Robaina. – Santa Maria, 2007.

124 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2007.

1. Engenharia agrícola 2. *Phaseolus vulgaris*
3. Feijão 4. Milho 5. Estratégia de irrigação I.
Robaina, Adroaldo Dias, orient. III Título

CDU: 633.15+635.652

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

Ofereço

*Aos meus amados pais Domingos e Neusa
Pelo constante exemplo de vida;
Por me ensinarem o valor do trabalho, da persistência e da honestidade;
Pelas tantas vezes que abriram mão de seus sonhos em favor dos meus;
nunca medindo esforços para que pudéssemos estudar.
Fica aqui a minha gratidão, o meu carinho, o amor que sinto por vocês!*

Dedico

*Ao meu marido Cláudio
Pelas tantas vezes que não pude estar ao teu lado;
Pelo amor, incentivo, compreensão e confiança durante essa jornada;
A você meu amor meu profundo e sincero agradecimento!*

AGRADECIMENTOS

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

À Universidade Federal de Santa Maria, mais especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

Ao Prof. Adroaldo Dias Robaina pela oportunidade, orientação, dedicação, amizade e paciência, mas principalmente pelo aprendizado e valiosas lições durante este período, meu respeito e admiração.

A Prof^a Marcia Xavier Peiter, pelo constante acompanhamento desde a graduação, pelo carinho, amizade, paciência, aprendizado e auxílio na realização deste trabalho.

À prof^a Ayda Bochi Brum, pelo incentivo desde a graduação.

Aos membros da Comissão Examinadora.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial a Ercelino Martin Bevilaqua pela cordialidade e disposição.

Ao Bibliotecário Luiz Marchiotti Fernandes pela ajuda e solicitude.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores do PPGEA pelos ensinamentos.

Ao Sandro Madeira Cardinal e a sua mãe Tânia de Bem Madeira, pela oportunidade de trabalhar em sua área e auxílio durante a realização do trabalho de campo.

Aos acadêmicos do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus de Santiago: Fátima Cibele Soares, Cleiton Ramão, Karine Lançanova e Leonardo Calegaro pelo incansável auxílio durante o experimento de campo.

Aos funcionários da Fazenda Liberdade: Derli, José, Vilmar, Adão, Rejane e Mailane pelo constante apoio na realização do experimento de campo e coleta de dados meteorológicos.

À URI Campus de Santiago, pela disponibilidade de laboratórios durante a realização deste trabalho.

Ao Sr. Aristóteles Minuzzi pelo auxílio e disponibilidade prestados.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e dedicação em todos os momentos de minha vida.

Ao meu esposo Cláudio Irion, pelo incentivo, carinho e compreensão para que este sonho se tornasse possível.

As minhas irmãs Flávia e Márcia, pelo carinho e presença nesta caminhada.

À toda minha família, pela força e incentivo.

Aos colegas e amigos do PPGEA, em especial à Ana Carla Gomes, presente em todos os momentos; Leonir Ühde, Adriana Biassus, Alexandro Vielmo, Ricardo Schons, David Peres da Rosa e Vanessa Fontana pela amizade e contribuição.

À Tatiane Bernardon e Marcelo Calgaro pela contribuição, amizade e carinho.

Aos amigos do Laboratório de Geomática.

À todos os meus amigos, que estiveram ao meu lado durante esta jornada, pelo carinho, amizade, força e presença.

Enfim a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

*“Todas as pessoas que chegaram aonde estão,
tiveram que começar por onde estavam”.*

Robert Louis Stevenson

RESUMO

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

EFEITO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO SOB AS CULTURAS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) E MILHO (*Zea mays* L.) NA REGIÃO DE SANTIAGO, RS.

Autor: Ana Rita Costenaro Parizi
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 16 de fevereiro de 2007.

A água é um dos fatores de produção que mais limita os rendimentos das plantas cultivadas. Em regiões em que a distribuição das chuvas é irregular, podem ocorrer perdas significativas no rendimento das culturas. Nesses casos a irrigação suplementar é uma tecnologia que pode reduzir os riscos de baixa produção, além de propiciar um maior número de safras durante o ano. O presente trabalho foi realizado em área experimental da Fazenda Liberdade, situada no município de Santiago, RS. Teve como objetivo avaliar o comportamento das culturas de feijão e milho, para obter parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produção sob diferentes estratégias de irrigação e verificar a estratégia que resulte na maior produtividade fornecendo a região de Santiago, RS. Utilizaram-se as cultivares de feijão FT Nobre e de milho AGN 2012. O manejo da irrigação baseou-se no turno de rega prefixado, com intervalo de 7 dias. As lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ciclo vital das culturas foram efetuadas com base nos dados de evapotranspiração medidos em Mini-Tanque evaporimétrico, sendo de 60%, 80%, 100% e 120% do valor da evapotranspiração de referência (ET_o). Em períodos quinzenais foram medidos os parâmetros de crescimento e desenvolvimento, tais como, o índice de área foliar (IAF) e a altura de plantas; em períodos decendiais mediu-se a superfície coberta para o feijão. Na colheita foram determinados para ambas as culturas os componentes de produtividade. Verificou-se também a eficiência do uso da água (EUA). Os resultados foram submetidos a análise da variância e o Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro. As médias foram comparadas entre si pelo Teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os resultados obtidos mostram que não ocorreram diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros de crescimento e desenvolvimento para ambas as culturas; ocorreram diferenças estatisticamente significativas para a maioria dos componentes de produtividade do feijão; para o milho as diferenças foram menos evidenciadas. As culturas submetidas à estratégia de irrigação de 80% da ET_o apresentam maior expansão. A determinação do IAF do feijão pode ser a partir de medidas de superfície coberta ao longo do tempo. A maior produção de grãos para o feijão foi obtida na estratégia de irrigação de 80% e para o milho ocorreu na estratégia de irrigação de 100%, seguidas de maiores valores de EUA. O uso da irrigação suplementar eleva a produtividade das culturas de feijão e milho na região fronteira-oeste do Estado do Rio Grande do Sul para as condições, características do período e fatores considerados.

Palavras-Chave: feijão; milho; estratégias de irrigação

ABSTRACT

Masters Dissertation
Agricultural Engineering Post Graduation Program
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

THE EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION STRATEGIES ON BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.) AND CORN (*Zea mays* L.) CULTURE IN THE REREGION OF SANTIAGO, RS

Author: Ana Rita Costenaro Parizi
Adviser: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, February 16th, 2007.

Water is one of the production factors that limit the most the output of cultivated plants. In regions in which the rain distribution is irregular, it may occur significant losses in the output of cultures. In these cases, the supplemental irrigation is a technology that can be used to reduce the risks of low production, not to mention to propitiate a greater number of crops during the year. This dissertation was developed on the experimental area of Fazenda Liberdade, situated in the municipal district of Santiago, RS. The aim of this work was to evaluate the behavior of the beans and corn cultures in order to obtain growth, development and production parameters under different irrigation strategies, and to verify which strategy results in the highest productivity for the region of Santiago, RS. Bean cultivars FT Nobre and corn AGN 2012 were used. The irrigation manipulation was based on a prefixed shift of irrigation, with an interval of 5 days. The irrigation blades applied along the vital cycle of the cultures were done based on the database of evapotranspiration measured in evapometric Mini-Tank, that being 60%, 80%, 100%, and 120% of the value of evotranspiration (ET_o) as reference. In a fifteen days period the growth and development parameters were measures, such as the leaf area index (LAI) and the plants height; in a period of ten days the covered surface for the beans was measured. The productivity components were determined for both cultures in the crop. It was also verified the efficiency in water use (EWU). The results were submitted to variance analysis and to the F test at 5% probability level. The averages were compared among each other by the Tuckey Test at 5% probability level. The results obtained show that no statistically significant differences occurred in the growth and development parameters for both cultures. There were statistically significant differences for most productivity components of beans; these differences were less evident with corn. The cultures submitted to the irrigation strategy of 80% of ET_o show greater expansion. The LAI determination for beans may be done through covered surface measurements from time to time. The greatest grain production for beans was obtained with the irrigation strategy of 80%, and for corn it occurred with the irrigation strategy of 100%, followed by greater values of EWU. The implementation of supplemental irrigation elevates the productivity of the cultures studied in the West-frontier region of Rio Grande do Sul for the conditions, considered characteristics of the period and factors.

Key Words: beans; corn; irrigation strategies

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Representação esquemática dos componentes do balanço de água no solo.....	38
FIGURA 02 - Vista da área de instalação do experimento antes do plantio. Santiago, RS, 2005.....	42
FIGURA 03 - Abertura da trincheira para coleta de amostras para determinação das características físicas do solo com detalhe do coletor de amostras. Santiago, RS, 2005.....	44
FIGURA 04 - Coleta de amostras para determinação das características químicas do solo. Santiago, RS, 2005.....	45
FIGURA 05 - Estação climatológica automática. Santiago, RS, 2005.....	46
FIGURA 06 - Croqui da área experimental.....	49
FIGURA 07 - Mini-Tanque de evaporação. Santiago, RS, 2005.....	51
FIGURA 08 - Parcelas experimentais instaladas na área experimental das culturas de feijão e milho. Santiago, RS, 2005.....	51
FIGURA 09 - Mesa utilizada na determinação da superfície coberta pelas plantas em períodos decendiais. Santiago, RS, 2005.....	53
FIGURA 10 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	60
FIGURA 11 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio relacionado com a soma térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	61
FIGURA 12 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio dos quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.....	63
FIGURA 13 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio relacionado com a soma	

térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.....	64
FIGURA 14 - Superfície coberta média durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	66
FIGURA 15 - Superfície coberta média em função da soma térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	67
FIGURA 16 - Altura de plantas (cm) média de quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	69
FIGURA 17 - Altura de plantas (cm) média de quatro tratamentos relacionada com a soma térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	70
FIGURA 18 - Altura de plantas de milho. Santiago, RS, 2005.....	71
FIGURA 19 - Altura de plantas (cm) média para o quatro tratamentos relacionada com a soma térmica durante o ciclo vital desenvolvimento da cultura do milho.....	72
FIGURA 20 - Altura de plantas (cm) média para o quatro tratamentos relacionada com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	73
FIGURA 21 - Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com relação ao total de água aplicado (mm) para a cultura do feijão.....	79
FIGURA 22 - Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com relação ao total de água aplicado (mm) para a cultura do milho.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Descrição de alguns componentes seguidos das características da cultivar FT Nobre.....	48
TABELA 02 - Descrição de alguns componentes seguidos das características da variedade Agromen AGN 2012.....	48
TABELA 03 - Características físicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.....	56
TABELA 04 - Características físicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.....	56
TABELA 05 - Características físicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.....	57
TABELA 06 - Características químicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.....	57
TABELA 07 - Valores médios do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) em quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	59
TABELA 08 - Valores médios do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) em quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.....	62
TABELA 09 - Superfície coberta em quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.....	65
TABELA 10 - Valores médios da altura (cm) da cultura do feijão submetida a quatro estratégias de irrigação durante seu ciclo vital de desenvolvimento.....	68

TABELA 11 - Valores médios da altura (cm) da cultura do milho submetidas em quatro estratégias de irrigação durante seu ciclo vital de desenvolvimento.....	71
TABELA 12 - Valores médios de número de plantas.m ⁻² (NPL), número de vagens.planta ⁻¹ (NVP), número de grãos.vagem ⁻¹ (NGR) e massa seca do grão (PMG) para a cultura do feijão aos 101 DAE.....	74
TABELA 13 - Valores médios de massa seca dos grãos.planta ⁻¹ (PPGRAO), massa seca da haste e folhas.planta ⁻¹ (PPHFL), massa seca das vagens.planta ⁻¹ (PPVG), matéria seca total (PPTOTAL) e índice de colheita (IC) em cada estratégia de irrigação para a cultura do feijão aos 101 DAE.....	75
TABELA 14 - Valores de número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação ⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura do feijão para quatro tratamentos de irrigação.....	76
TABELA 15 - Produção (kg.ha ⁻¹) de matéria seca, produção de grãos e eficiência de uso da água (EUA) em cada estratégia de irrigação para a cultura do feijão.....	77
TABELA 16 - Valores médios de número de plantas.m ⁻² (NPL), número espigas.planta ⁻¹ (NE), número de grãos.espiga ⁻¹ (NGR) e massa seca do grão (PMG) para a cultura do milho aos 144 DAE.....	80
TABELA 17 - Valores médios da massa seca dos grãos.planta ⁻¹ (PPGRAO), massa seca do colmo.planta ⁻¹ (PPC), massa seca das folhas.planta ⁻¹ (PPF), massa seca do pendão.planta ⁻¹ (PPP), massa seca da palha.planta ⁻¹ (PPPA), massa seca do sabugo.planta ⁻¹ , matéria seca total (PPTOTAL) e índice de colheita (IC) para a cultura do milho cada estratégia de irrigação aos 144 DAE.....	81
TABELA 18 - Valores de número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação ⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação + precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura do milho para quatro tratamentos de irrigação.....	83
TABELA 19 - Produção (kg.ha ⁻¹) de matéria seca, produção de grãos e eficiência de uso da água (EUA) em cada estratégia de irrigação para a cultura do milho.....	83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Culturas de feijão e milho – Aspectos Gerais.....	18
2.2 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento	18
2.3 Componentes de produção.....	21
2.4 O Clima e Desenvolvimento das Culturas.....	24
2.5 Irrigação	26
2.6 Manejo de Irrigação.....	28
2.5.1.1 Momento da irrigação.....	30
2.5.1.1.1 Indicador Solo.....	30
2.5.1.1.2 Indicador Clima.....	31
2.5.1.1.3 Indicador Planta.....	32
2.5.1.1.4 Turno de rega prefixado e turno de rega variável.....	33
2.5.1.2 Lâmina de irrigação	33
2.5.1.3 Balanço Hídrico.....	36
2.5.2 Relações hídricas das culturas de feijão e milho.....	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 Local e época da realização do experimento.....	42
3.2 Obtenção de dados básicos.....	43
3.2.1 Solo.....	43
3.2.1.1 Caracterização física.....	43
3.2.1.2 Caracterização química.....	44
3.2.2 Elementos Agrometeorológicos.....	45
3.3 Implantação e condução do Experimento.....	46
3.3.1 Semeadura.....	46
3.3.2 Descrição das cultivares utilizadas.....	47
3.3.2.1 FT Nobre.....	47
3.3.2.2 AGN 2012.....	48
3.3.3 Área Experimental.....	49
3.3.4 Irrigação.....	50
3.3.5 Tratos culturais.....	51

3.3.6 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento da planta.....	51
3.3.6.1 Índice de área foliar.....	51
3.3.6.2 Altura de plantas.....	52
3.3.6.3 Superfície Coberta.....	52
3.3.6.4 Componentes de produção de grãos e matéria seca total.....	53
3.3.6.4.1 Cultura do feijão.....	53
3.3.6.4.2 Cultura do milho.....	54
3.3.6.5 Soma Térmica.....	55
3.4 Análise Estatística.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1 Características Físicas dos Solos.....	56
4.2 Características Químicas dos Solos.....	57
4.3 Culturas de feijão e milho.....	58
4.3.1 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento.....	59
4.3.1.1 Índice de área foliar.....	59
4.3.1.2 Superfície coberta.....	65
4.3.1.3 Altura de plantas.....	67
4.4 Componentes de produção, matéria seca total, índice de colheita e produtividade.....	74
4.4.1 Cultura do feijão	74
4.4.2 Cultura Milho	80
5 CONCLUSÕES	87
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS.....	101
APÊNDICES.....	120

1 INTRODUÇÃO

As culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) e milho (*Zea mays L.*) possuem importância mundial, servindo como principal alimento na dieta da população humana e animal.

Dentre os elementos que são importantes para a obtenção de altos índices produtivos nestas culturas, destaca-se a quantidade apropriada de água e nutrientes, além do potencial genético da cultivar utilizada.

Na região fronteira-oeste do estado do Rio Grande do Sul, estas culturas são pouco exploradas em grandes áreas, sendo cultivadas principalmente em pequenas propriedades como culturas de subsistência. Dados do IBGE (2005) relatam para esta região, uma área plantada de 347.400 hectares (ha) destinados para a cultura da soja, 1.078,78 ha destinados à pecuária, enquanto que para as culturas de feijão e milho a área é de 3.200 ha e 29.215 ha, respectivamente.

A irregularidade da distribuição pluviométrica ocorrida nos últimos anos é um dos principais fatores que conduzem a uma área de cultivo significativamente menor que as áreas destinadas a soja e a pecuária.

A água é um dos fatores de produção que mais limita os rendimentos das plantas cultivadas. Em regiões em que a distribuição das chuvas é irregular, podem ocorrer perdas significativas no rendimento das culturas, especialmente, quando a falta de água coincide com períodos críticos de desenvolvimento da cultura. Nesses casos a irrigação suplementar é uma tecnologia que pode reduzir os riscos de baixa produção, além de propiciar um maior número de safras durante o ano.

A irrigação constitui uma alternativa para a melhoria do rendimento de grande parte das culturas, fornecendo água necessária às raízes das plantas, no momento adequado, impedindo que a planta sofra com os efeitos do estresse hídrico e possibilitando o aproveitamento dos nutrientes no solo.

Quando utilizada a prática da irrigação, é de grande importância a adoção de procedimentos para seu controle, dentro de um critério racional. Este consiste em medir ou avaliar a quantidade de água do solo no decorrer do tempo, de forma a proporcionar a cultura, condições de disponibilidade hídrica, determinando o

momento que deve ser efetuada a irrigação e a quantidade de água que deve ser aplicada.

No estado do Rio Grande do Sul, a técnica da irrigação pressurizada não difundiu-se uniformemente. Em algumas regiões da metade norte do estado, tais como o Planalto central e médio, a irrigação pressurizada é uma técnica de uso corrente, enquanto que na metade sul, da qual fronteira-oeste faz parte, esta técnica ainda tem sua difusão incipiente. Nesta região, existe o predomínio de sistemas de irrigação por superfície para a cultura do arroz. Por conseqüência, são escassas as informações relativas ao manejo e a viabilidade de sistemas irrigados por aspersão para as condições destas regiões do estado.

Embora os sistemas de irrigação pressurizados tenham sido adotados por um pequeno número de produtores, deve-se incentivar sua utilização de forma mais abrangente pois a eficiência do uso da água (EUA) neste tipo de sistema é superior a EUA em sistemas por superfície. Bernardo (1989) cita valores de 50 a 60% para sistemas de irrigação por inundação e valores de 70 a 90% para irrigação por aspersão. Para que este incentivo ao uso da irrigação pressurizada seja feito de forma efetiva, são necessárias informações relativas ao manejo de rega para a região fronteira-oeste do estado.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento das culturas de feijão e milho, obtendo parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produção sob diferentes estratégias de irrigação e verificar a estratégia de irrigação que resulte na maior produtividade fornecendo a região de Santiago, RS dados para a utilização da técnica de irrigação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura de feijão e milho – Aspectos Gerais

A origem do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) é sul americana, tendo autores que o consideram de origem Asiática e até desconhecida (EMBRAPA, 2006).

A cultura é uma das mais importantes constituintes da dieta do brasileiro, por ser uma excelente fonte proteica, além de possuir boa quantidade de carboidratos e de ser rico em ferro (VIEIRA et al., 1998).

De acordo com Araújo et al. (1996) é uma leguminosa bastante difundida em todo o território nacional. É plantada, preferencialmente, como cultura de subsistência em pequenas propriedades, embora tenha havido, nos últimos anos, crescente interesse de produtores de outras classes, cujo sistema de produção são adotadas tecnologias avançadas, incluindo a irrigação.

O feijoeiro é a espécie mais cultivada entre as do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies envolvidas nas estatísticas da FAO, o feijão envolve cerca de 107 países produtores em todo o mundo. Considerando somente o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o maior produtor, seguido do México. Entretanto, a produção brasileira de feijão tem sido insuficiente para abastecer o mercado interno, devido à redução na área plantada, de ordem de 35%, nos últimos 17 anos. Mesmo o aumento de 48% na produtividade, verificado neste período, ainda resultou numa diminuição de 4% na produção, portanto, não sendo suficiente para atender a demanda (EMBRAPA, 2006).

A produtividade média nacional da cultura do feijoeiro é de aproximadamente 500 kg.ha⁻¹, enquanto a de outros países como os Estados Unidos, Turquia e Japão é de 1.486 kg.ha⁻¹, 1.471 kg.ha⁻¹ e 1.420 kg.ha⁻¹, respectivamente. No Brasil, com o uso intenso de tecnologia, tem-se obtido normalmente na época de plantio de inverno, algo em torno de 3600 kg.ha⁻¹ (REZENDE et al., 2004).

O Estado do Rio Grande do Sul possui a oitava produção de feijão do país, com 141.467 toneladas. Sua participação na produção nacional baixou de 5,2% para 4,8%, considerando a média dos períodos 1998 a 2000 e, 2001 a 2003 (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta da família Gramineae e da espécie *Zea mays*. Comumente, o termo se refere à sua semente, um cereal de altas qualidades nutritivas. Acredita-se que seja uma planta de origem americana, já que era cultivada desde o período pré-colombiano e desconhecida pela maioria dos europeus até a chegada destes à América.

De acordo com Lisboa et al. (1999) é o segundo cereal em importância no mundo, depois do trigo e seguido pelo arroz. Está entre as principais culturas dos trópicos sub-úmidos e semi-áridos, tendo alta produtividade em condições adequadas de água e fertilidade do solo. Algumas vantagens conferidas a cultura do milho, justificam a sua ampla distribuição, tais como: (i) composição e valor nutritivo; (ii) alta produção por unidade de trabalho e unidade de área; (iii) fonte de nutrição e fácil transporte; (iv) pequenas perdas de produção causadas por pássaros e chuva; (v) período longo de colheita; permite o armazenamento.

A produção mundial de milho em 2004 foi de 705.293 mil toneladas, sendo que os maiores produtores são os Estados Unidos com 42,3% e a China com 18,7%. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho e sua produção corresponde a 5,9% da produção mundial. De acordo com a Embrapa (2006), em 2005 estes países produziram: 280.2; 131.1; e 35.9 milhões de toneladas, respectivamente.

A produção de milho distribui-se pelo Brasil em vários estados. O Rio Grande do Sul passou de terceiro maior produtor brasileiro de milho com 3.837.276 toneladas, no período 1998 a 2000, para segundo maior produtor, no período 2001 a 2003, com 5.153.834 toneladas ou 12,2% da produção nacional, atrás do Paraná que é o maior produtor, com 29,2% do total produzido no país (ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006).

2.2 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento

A grande maioria das plantas de lavoura segue um modelo de crescimento sigmóide, ou seja, no início do ciclo o crescimento é lento, aumentando gradativamente até atingir um ponto máximo, quando se estabiliza. A menor taxa de crescimento inicial é verificada porque o número de células que se dividem é pequeno. Isto proporciona uma pequena área foliar e conseqüentemente um menor

aproveitamento da área fotossinteticamente ativa (LOOMIS & AMTHOR, 1999).

Para Fancelli (2000) no que refere ao aproveitamento de luz, a superfície da folha fotossinteticamente ativa em relação à unidade de superfície de solo é denominada de índice de área foliar (IAF). Sendo assim, o índice de área foliar (IAF, $m^2.m^{-2}$) é a relação existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura (FAVARIN et al., 2002). Esta variável tem sua importância por ser um parâmetro indicativo da produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química, sendo este um processo que ocorre diretamente na folha.

O estudo do desenvolvimento foliar é de grande importância para a avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que as folhas constituem o aparato fotossintético e são responsáveis pela formação de carboidratos que são alocados para os órgãos vegetativos e reprodutivos da planta (BASTOS et al., 2002).

A variação temporal da área foliar em geral aumenta até um máximo, onde permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido a senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (PEREIRA & MACHADO, 1987).

Para Fancelli & Dourado Neto (2000), o rendimento e o número de grãos de milho aumenta, com os incrementos do índice de área foliar variando de três a cinco, segundo dados obtidos no *Corn Belt* americano.

A altura de plantas é um parâmetro de crescimento das culturas. De acordo com Sá et al. (2002) se obtém medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha utilizando-se trena graduada.

Beleze et al. (2003) em pesquisa com híbridos de milho em diferentes estágios de maturação, obtiveram em suas avaliações de produtividade, características morfológicas e correlações, altura de 2,56 metros para híbridos superprecoces e 2,36 metros para o híbrido precoce. Estes resultados contrariaram os de Flaresso et al. (2000) que observaram maior tendência na altura de plantas nos cultivares de milho mais tardios, em relação aos mais precoces.

Souza et al. (2003) em experimentos com feijoeiro cultivar Pérola e Carioca, obtiveram altura de planta de 92 cm e 70 cm para a safra das águas e safra das secas, respectivamente. Meira et al. (2005) testando doses e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado, obtiveram altura média de 80,8 cm.

A maioria das pesquisas realizadas em produção de grãos baseia-se na produção de grãos e matéria seca total, outros componentes que compõem a planta, no caso da cultura do milho, como sabugo, colmo, folhas, palhas e pendão, não têm sido devidamente avaliados (BERNARDON, 2005). Para a cultura do feijão, os componentes de haste, folhas e vagens também seguem esta tendência.

Bernardon (2005) estudando componentes de produtividade de grãos de milho cultivar AG 9020 encontrou valores de massa seca do colmo e pendão que variaram de 83,24 g e 179,60 g; para a massa seca das folhas as variações foram de 36,03 g e 46,85 g; a massa seca da palha variou de 18,96 g a 22,32 g e a massa do sabugo variou de 17,72 g a 21,73 g. Estes valores foram obtidos aos 144 dias após a emergência (DAE).

Galbiatti et al. (2004) realizaram experimentos com diferentes períodos de irrigação no desenvolvimento, produção e qualidade de sementes na cultura do milho. Os tratamentos de irrigação foram: i) durante todo o ciclo da cultura; ii) após a emissão da 12ª folha; iii) até 20 dias após o florescimento. Para os componentes de matéria seca, obtiveram para folhas, valores médios de 35,24 g; 27,55 g e 31,75 g, respectivamente para os três tratamentos de irrigação. Para colmo as médias foram de 22,61 g; 16,17 g e 19,51 g, respectivamente. Para espiga, encontraram médias de 68,487 g; 67,80 g e 56,19 g, respectivamente. Para pendão, as médias foram de 5,17 g; 5,44 g e 4,28 g, respectivamente e matéria seca total, a média encontrada foi de 90,43 g; 79,61g e 83,69 g, respectivamente.

Para a cultura do feijão, Robaina (1992) realizou estudo experimental e de simulação numérica da aplicação de água na produção da cultura, encontrando valores médios de massa seca da haste de 1,8 g; massa seca das vagens por planta de 1,5 g; massa seca das raízes de 0,7 g e massa seca total de 8,9 g.

2.3 Componentes de produção das culturas de feijão e milho

Para a cultura do feijão, a produtividade é função de vários fatores, dentre eles pode-se citar: sementes selecionadas, variedade, clima e aspectos físico-químicos do solo (REZENDE et al., 2004).

Os componentes de produtividade do feijão são: o número de vagens por

planta, número de grãos por vagem e peso dos grãos. Este conjunto de caracteres tem mostrado diferenças de resultados para cada cultivar. Os resultados de várias pesquisas mostraram que os caracteres apresentaram efeitos diretos positivos sobre a 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).

Este autor coloca que o estudo dos componentes de produção e de suas relações com a produção de grãos, permite prever alterações nos componentes ao longo dos ciclos de seleção. Estes componentes determinam o rendimento de grãos.

Rezende et al. (2002) testando uniformidade de aplicação de água para a cultivar de feijão lapar, encontraram médias de rendimento de grãos de 2.759,1 kg.ha⁻¹, número de vagens por planta (vagens.planta⁻¹) igual a 10, número de grãos por vagem (grãos.vagem⁻¹) de 6,1 e massa do grão de 0,22 g. Estes parâmetros seguiram a mesma tendência mostrando que a irrigação mais favorável à cultura foi a caracterizada como alta uniformidade. Também Rezende et al. (2004) obtiveram produtividade média de 935 kg.ha⁻¹ para cultivo sem irrigação suplementar e 1.239 kg.ha⁻¹ com irrigação suplementar.

Souza et al. (2003) em trabalho com componentes de rendimento do feijoeiro, obtiveram médias de número de vagens.planta⁻¹ de 9,3 e 5,3; o número médio de grãos.vagem⁻¹ foi de 3,6 e 2,5 e a massa de grãos de 0,27 g e 0,20 g, para a safra das águas e das secas, respectivamente. Testando diferentes populações de plantas, Souza et al. (2004) obtiveram máxima produtividade de 1.357 kg.ha⁻¹ no estado do Paraná.

Jadoski et al. (2003), em trabalho com manejo de irrigação do feijoeiro, obtiveram uma produtividade de 2.045 kg.ha⁻¹ para a cultivar Guapo Brilhante na região de Santa Maria, RS. O número médio de vagens.planta⁻¹ foi de 8,8. Acosta-Gallegos & Adams (1987) salientam que este componente de rendimento é determinado na fase inicial do florescimento das plantas, sendo sensível à ocorrência de déficit hídrico neste período. Ressaltam também que o número de vagens.planta⁻¹ e o número de grãos.vagens⁻¹ são influenciados pela população de plantas. Assim reduzindo a população de plantas ocorre um aumento destes componentes.

Para a cultura do milho, Fancelli & Dourado Netto (2000) citam que dentre as estratégias básicas relacionadas para a obtenção da alta produtividade, pode-se destacar, a escolha da época correta de semeadura, o uso de genótipos adequados

para as condições do ambiente de produção, o conhecimento pleno das etapas críticas da cultura, o emprego das recomendações e ações de intervenção fundamentadas em estádios fenológicos e a garantia do equilíbrio e do fornecimento de nutrientes em doses adequadas.

A produção de grãos da cultura é função direta de uma série de caracteres que são denominados de componentes de produção, como é o caso da prolificidade ou número de espigas por planta, peso médio do grão, número de fileiras de grãos na espiga e número de grãos por fileira, comprimento e diâmetro da espiga e profundidade do grão, que se refere à diferença entre os valores dos diâmetros de espiga e de sabugo (BENTO, 2006).

Bernardon (2005) trabalhando com milho irrigado cultivar AG 9020 e P 32R21 encontrou valores de médios de número de grãos.espiga⁻¹ de 325,00 a 525,75 e 414,75 a 533,75, respectivamente; massa seca média do grão de 0,30 g a 0,36 g e 0,27 g a 0,38 g , respectivamente, aos 144 dias após a emergência (DAE). Obteve valores médios de produtividade de 9.076 kg.ha⁻¹ colhidos pela colhedora e de 7.231 kg.ha⁻¹ colhidos manualmente a campo para a cultivar AG 9020 e 8.455,26 kg.ha⁻¹ colhidos pela colhedora e 7.397,70 kg.ha⁻¹ colhidos a campo para a cultivar P 328R21.

O número de grãos por espiga está relacionado com o tamanho da espiga, que será maior tanto quanto maior for a densidade de plantas. Fornasiere Filho (1992) relata que, em baixas densidades a produção individual por planta é máxima, mas a produtividade por área é pequena. Aumentando-se a densidade, a produção por planta tende a declinar, porém a produtividade por área aumentará.

De acordo com estudos de Almeida et al. (2003), com cinco híbridos precoces e superprecoces em duas safras, encontraram número de espigas por planta que variou de 1,08 para a cultivar Cargill 909 (superprecoce), safra 1999/00 e de 0,95 para a cultivar Cargill 901, safra 1998/99; número de grãos por espiga de 470,4 para a cultivar Cargill 909, safra 1999/00 e 358,8 para a cultivar Cargill 505 (superprecoce), safra 1998/99; peso médio do grão de 0,36 g para a cultivar Cargill 901, safra 1999/00 e 0,29 g para a cultivar AS 32 (precoce), safra 1998/99. O rendimento variou de 10.608 kg.ha⁻¹ na safra 1999/00 com para a cultivar Cargill 909 e 7.193 kg.ha⁻¹ para a cultivar Cargill 505, safra 1998/99.

Zimmermann (2001) em experimento com milho irrigado e sob déficit hídrico, com população de 66.000 plantas.ha⁻¹ obteve para o parâmetro grãos.espiga⁻¹

valores de 450 e 268, e a massa do grão de 0,31 g e 0,29 g, respectivamente, sendo que esta última não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos irrigados e sob déficit hídrico.

2.4 O clima e o desenvolvimento das culturas

O clima é um dos fatores mais importante na produção agrícola. O fator climático afeta a agricultura e determina a adequação dos suprimentos alimentícios de dois modos principais. Um é através dos imprevistos climáticos para as lavouras; o outro é através do controle exercido pelo clima sobre o tipo de agricultura praticável ou viável numa determinada área. Os parâmetros climáticos exercem influência sobre todos os estádios da cadeia de produção agrícola, incluindo a preparação do solo, a semeadura, o crescimento dos cultivos, a colheita, a armazenagem, o transporte e a comercialização (OMETTO, 1981).

Segundo Sousa (1993) os registros de dados climáticos permitem a estimativa da precipitação e da evapotranspiração e, conseqüentemente, o balanço hídrico. Com o balanço de água no solo pode-se ter, previamente, as demandas total e diária de irrigação suplementar, em função da época de plantio da cultura. Com esses dados disponíveis, tem-se a possibilidade de planejar o plantio da cultura, de maneira a se utilizar a precipitação natural com maior eficiência.

A automatização da aquisição de dados climáticos tem sido amplamente utilizada pela facilidade, eficiência, qualidade e padronização dos dados coletados, diminuindo assim os erros oriundos de leitura, interpretação e digitação desses dados. Esse sistema automatizado tem sido utilizado para monitorar o controle de irrigação em diferentes culturas (FERNANDES et al., 1995).

De acordo com Wutke et al. (2000) os fatores climáticos que influenciam no desenvolvimento e crescimento vegetal são a temperatura do ar e do solo, fotoperíodo, radiação solar e precipitação pluvial em termos de água disponível no solo. Destes, a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica são fatores preponderantes na sobrevivência e adaptação de qualquer vegetal nas distintas regiões agroclimáticas.

Para a cultura do feijão a temperatura média ótima durante o ciclo é de 18 a

24°C. Temperaturas acima ou abaixo dessa faixa, dependendo da frequência e duração, podem ocasionar sérios prejuízos ao estabelecimento, crescimento e desenvolvimento da cultura, resultando em baixo rendimento de grãos. Temperaturas do ar abaixo de 10°C durante a germinação e desenvolvimento vegetativo causam redução de vigor e lesões na folha (VIEIRA et al. 1998).

Brunini et al. (1998) verificaram que no subperíodo emergência-florescimento e florescimento-colheita da cultura do feijão, a variação de temperatura base com valores entre 6,5°C a 10°C e 6,5°C a 8°C. Segundo este autor a temperatura base necessária para o completo desenvolvimento da maioria das cultivares do feijoeiro é 10°C.

Para um melhor entendimento de temperatura base, cabe conceituar graus-dia, sendo este definido como o acúmulo diário da energia que se situa acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta. A condição mínima ou máxima é definida como temperatura base e a energia acumulada nesse intervalo de condição (graus-dia ou soma térmica) é a energia necessária para a planta completar determinada fase fenológica ou mesmo o seu ciclo total de desenvolvimento (OMETTO, 1981). O conceito de graus-dia considera que para completar uma determinada fase fenológica ou, inclusive, o seu ciclo total, a planta necessita acumular um determinado somatório térmico, a partir de uma temperatura-base favorável ao desenvolvimento, que por sua vez é variável com a espécie vegetal (BRUNINI et al., 1976; BERLATO, 1981).

Camargo et al. (1987) observaram que o método da soma térmica admite uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal e que cada espécie vegetal ou variedade possui como característica uma temperatura base, que pode variar em função da idade ou da fase fenológica da planta, sendo comum, no entanto, adotar uma única temperatura base para todo o ciclo da planta. Para Hamada & Pinto (2001) vários autores têm utilizado desse método a fim de estimar a duração das fases fenológicas de diversas culturas no Brasil, sendo que Manfron et al. (2003) destaca também sua utilização como referência de planejamento.

Para a cultura de milho, vários estudos já se têm realizado sob o ponto de vista de suas exigências climáticas, sempre com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola. De acordo com Doorenbos & Kassam (1994), para a germinação a temperatura média mínima diária fica em torno dos 10°C, estando a

ótima entre 18 e 20°C.

Villa Nova et al. (1972) colocam que a temperatura base da cultura do milho fica na faixa de 10°C. Este resultado foi obtido também por Lozada & Angelocci (1999) e Jones (1986) citado por Ellis et al. (1992) como adequado na estimativa de acúmulo térmico durante o subperíodo semeadura/florescimento. As cultivares normais apresentam exigências térmicas correspondentes a 890-1200 graus-dias, as precoces, de 831 a 890 graus-dia e as superprecoces, de 780 a 830 graus-dia. Essas exigências calóricas se referem ao comprimento das fases fenológicas compreendidas entre a emergência e o início da polinização (CRUZ et al, 2006).

Fancelli & Dourado Neto (2000), ressaltam que, para o desenvolvimento ideal da cultura do milho, esta exige algumas condições ideais, como: (i) na ocasião da semeadura, o solo deverá apresentar-se com temperatura superior a 10°C, aliado à umidade próxima à capacidade de campo, possibilitando o desencadeamento dos processos de emergência; (ii) durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, a temperatura do ar deverá girar em torno de 25°C e encontrar-se associada à adequada disponibilidade de água no solo e abundância de luz; (iii) temperatura e luminosidade favoráveis, elevada disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar, superior a 70%, são requerimentos básicos durante a floração e enchimento dos grãos e (iv) ocorrência de período predominantemente seco por ocasião da colheita.

De acordo com Wutke et al. (2000) para cada espécie vegetal há uma temperatura base que pode ser variável em função do estágio fenológico da planta.

2.5 Irrigação

De acordo com Gomes (1997) a irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as chuvas, ou qualquer outra forma natural de fornecimento, não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas.

Este suprimento das necessidades hídricas é o principal objetivo da irrigação, que durante o crescimento e desenvolvimento das culturas recoloca no solo a quantidade de água consumida através do processo de evapotranspiração. Com a

utilização desta técnica se torna possível realizar mais de uma safra anual, permitindo o aproveitamento intensivo do solo, inclusive dos cerrados e das regiões secas, minimizando as incertezas do clima e elevando substancialmente a produtividade agrícola (SANTANA, 2003).

Para a cultura do feijão, vários pesquisadores (SILVEIRA et al., 1984; FRIZZONE & OLITTA, 1987; SILVEIRA & MOREIRA, 1990) verificaram aumento na produtividade com o incremento da lâmina de água aplicada. Rezende et al. (2004) obtiveram produtividade média de 935 kg.ha⁻¹ para cultivo sem irrigação suplementar e 1.239 kg.ha⁻¹ com irrigação suplementar. Para a cultura do milho, Berconci et al. (2001) em experimento em quatro safras (1993/94; 1994/95; 1995/96; 1996/97) obtiveram produtividades com uso da irrigação correspondentes a 11.950 kg.ha⁻¹, 7.444 kg.ha⁻¹, 10.496 kg.ha⁻¹ e 10.002 kg.ha⁻¹, respectivamente. Nestas mesmas safras sem a utilização da irrigação obtiveram 4.384 kg.ha⁻¹, 6.905 kg.ha⁻¹, 8.945 kg.ha⁻¹ e 3.773 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Bernardo (1995) destaca também a possibilidade de aumento expressivo da produtividade e da demanda de mão-de-obra, com a fixação do homem no meio rural, diminuindo o risco de investimento em virtude do uso de uma agricultura com nível tecnológico mais elevado, além de permitir maior eficiência no uso de fertilizantes e tornar possível a introdução de culturas de maior valor econômico.

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia e de água, usados em um bombeamento desnecessário (LIMA et al., 2006), além do fato do excedente hídrico também ser prejudicial à produção agrícola, uma vez que ocorre redução do espaço aéreo no solo e o processo de respiração radicular é também prejudicado.

Quando se utiliza a técnica da irrigação é necessário levar em consideração a precipitação pluvial. Em algumas regiões esta é bem distribuída durante todas as estações do ano, já em outras regiões torna-se insuficiente para atender a demanda evaporativa das culturas, geralmente ocorrendo nos meses mais quentes do ano, desta forma justifica-se a utilização da irrigação. O Estado do Rio Grande do Sul apresenta variabilidade na precipitação pluvial, ocorrendo períodos de excessos e deficiências hídricas que afetam o desenvolvimento e crescimento das culturas e

assim reduzindo a produtividade das safras agrícolas (MAGGI, 2003).

O setor agrícola é o maior consumidor de água (PAZ et al., 2000). A nível mundial, a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos e aquíferos subterrâneos) e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico. No Brasil, quase metade da água consumida destina-se a agricultura irrigada (CHRISTOFIDIS, 1997).

Paz et al. (2000) salientam que, apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Estima-se que, a nível mundial, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália. Pode-se prever um incremento maior da produção agrícola no hemisfério Sul, especialmente pela possibilidade de elevação da intensidade de uso do solo que, sob irrigação, produz até três cultivos por ano.

2.5.1 Manejo da irrigação

Em agricultura irrigada, o manejo do sistema é uma parcela que contribui significativamente para o sucesso do empreendimento. Muitos sistemas são bem dimensionados e apresentam déficit econômico em função da aplicação inadequada da água, sem consideração dos critérios de solo, planta e atmosfera que indicam o momento e a quantidade ideal da lâmina de irrigação. Lâminas excessivas, além de serem motivo de perda de água e energia, também influenciam no processo erosivo da área através do escoamento superficial. Em contrapartida, lâminas deficitárias podem submeter as plantas a um processo de estresse que conduza a uma redução da produção final.

Para Folegatti et al. (1999), o manejo adequado da irrigação constitui na escolha correta do método de aplicação de água e no estabelecimento de critérios para determinação da necessidade hídrica das culturas, resultando em níveis ótimos de produtividade.

De acordo com Fernandes & Turco (2003) a irrigação, para dar resultados positivos, deve ser bem quantificada. Aplicações de lâminas de água insuficientes repõem água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo toda a zona das raízes, sendo assim, elas se tornam superficiais e incapazes de explorar o volume de solo disponível. Como consequência, diminui consideravelmente a

reserva hídrica útil do solo, prejudicando as plantas, desperdiçando recursos valiosos e aumentando os custos da água aplicada.

Ainda, irrigações excessivas acarretam perdas de água e de nutrientes pela percolação abaixo da zona das raízes, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos. Em casos de solos mal drenados, com impedimentos à percolação, este ficará saturado prejudicando as raízes que poderão parecer por falta de arejamento.

De acordo com Alves Júnior (2006), o manejo da irrigação envolve a tomada de decisão sobre quando irrigar e quanto de água aplicar. Se não houver uma correta definição entre essas duas variáveis, o irrigante estará fazendo um uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta (COSTA, 2006).

A definição do momento certo de irrigar, além de proporcionar melhor distribuição no uso da água, poderá ter como consequência, um aumento de produtividade das culturas (GONDIM et al., 2000).

Para Reichardt (1990), a água deve ser aplicada ao solo quando o seu potencial hídrico ainda está suficientemente alto (menos negativo) sem expor a planta a uma carência de água que afete seu desenvolvimento e, quando a condutividade hidráulica do solo, ainda que estiver suficientemente grande, para atender a demanda evaporativa da atmosfera. Deve ser fornecida na quantidade certa para evitar perdas, tanto por escoamento superficial, quanto por drenagem profunda.

Este autor destaca também que a estimativa da quantidade de água, ou lâmina, a ser aplicada por irrigação é um problema difícil. Normalmente os sistemas de irrigação são dimensionados para atender as necessidades de água da cultura durante os períodos de máximo consuntivo de água. Fora estes períodos, se os sistemas operarem em sua capacidade de projeto, um excesso será perdido por drenagem profunda levando consigo nutrientes para fora da zona radicular.

Sendo que para o manejo de água de irrigação se proceder dentro de um critério racional, é necessário um controle diário de umidade do solo, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados à planta, ao solo e ao clima, só deste modo pode-se determinar o momento oportuno de promover a irrigação e a quantidade de água a ser aplicada.

2.5.1.1 Momento da irrigação

A questão do quando irrigar é um dos pontos mais importantes da irrigação no seu manejo (BERNARDO, 1989). O momento da irrigação pode ser efetuado levando-se em consideração os indicadores de solo, clima e planta.

2.5.1.1.1 Indicador Solo

Os métodos de medidas de água no solo são divididos em gravimétricos, eletrométricos e tensiométricos. O método gravimétrico é um método direto e bastante preciso, mas demanda muita mão-de-obra e necessita de determinações periódicas no campo e equipamentos como, balança de precisão e estufa.

O método eletrométrico é um método indireto, mede a tensão de água retida no solo, sendo de formas diferentes. O método eletrométrico, pode ser aplicado através do aparelho de *Bouyoucos*, o qual possui uma cápsula de gesso que se mantém em equilíbrio com a tensão da água no solo, variando a resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos no bloco de gesso. O aparelho de *Colman* possui o mesmo princípio, porém uma cápsula de fibra de vidro. Este aparelho também mede a temperatura para realizar a correlação do valor da tensão (BERNARDO, 1995).

O método tensiométrico é um método direto para determinar a tensão de água no solo e um método indireto para determinar a percentagem de água no solo. É constituído por uma placa de cerâmica ligada por meio de um tubo a um manômetro, em que a tensão é lida. Para Villagra (1988) o manejo da irrigação baseado no potencial de água no solo é a maneira mais racional de uso da água e, para a determinação do potencial mátrico em condições de campo, o tensiômetro é o equipamento mais utilizado e recomendado (VILLAGRA, 1988 & KLEIN, 2001).

Costa (2004) cita outros aparelhos, como TDR's, raio gama e sonda de nêutrons, sendo equipamentos extremamente caros e ainda os últimos podem causar danos à saúde se usados inadequadamente.

2.5.1.1.2 Indicador Clima

De acordo com Klar (1991) o clima é o fator que mais afeta a perda de água de uma cultura.

Para Bernardo (1995), a evapotranspiração (ETp) e a precipitação efetiva são os dois principais parâmetros para estimar a quantidade de irrigação de uma cultura. O conhecimento da evapotranspiração da cultura é fundamental em projetos de irrigação, pois representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais.

A evapotranspiração é um fenômeno associado à perda conjunta de água do solo pela evaporação e da planta pela transpiração. Por ser esta água o total perdido pelo sistema, ela deve ser reposta para que seja possível manter sempre o sistema de cultivo em condições de máximo relacionamento com o meio (OMETTO, 1981).

Utilizando modelos micrometeorológicos, as técnicas de controle de irrigação baseiam-se na estimativa de evapotranspiração de referência (ETo). Esse termo é definido por Doorenbos & Pruitt (1977) como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

De acordo com Pereira et al. (2001), os métodos de ETo podem ser classificados em diretos e indiretos. Para a medida direta de evapotranspiração os equipamentos mais utilizados para esse fim são os lisímetros. Lisímetro ou evapotranspirômetro é um equipamento que consiste de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo que possibilita conhecer com detalhe alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado. Sendo que os lisímetros mais empregados são: lisímetro de drenagem e lisímetro de lençol freático constante.

Para este autor como medida indireta de ETo os métodos estimados a partir de elementos medidos em estação agrometeorológica são bastante utilizados. Sendo métodos empíricos, pois para sua plena aplicação são necessárias algumas parametrizações empíricas. Destacam-se os métodos de Thorthwaite, Camargo, Hargreaves & Samani, Priestley –Taylor e Penman-Montheith. A escolha do método depende da disponibilidade de dados meteorológicos e da escala de tempo referida.

Ainda para medida indireta de evapotranspiração pode-se utilizar evaporímetros. Bernardo (1989) coloca que os evaporímetros podem ser de dois tipos: um que a superfície d'água fica livremente exposta (tanques de evaporação) e o outro em que a evaporação se dá através de uma superfície porosa (atmômetros).

Este autor coloca como tanques de evaporação: Tanque U.S.W.B. Classe A, onde a evapotranspiração é determinada multiplicando-se a evaporação do tanque por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, “Kp”) a ser determinado para as condições locais (DOORENBOS & PRUITT, 1977), Tanque Colorado e Tanque “Young Screen”. Uma alternativa também é o Mini-Tanque, desenvolvido por Costa (2004), o qual é capaz de estimar a evaporação do Tanque Classe “A” diretamente com médias decendiais, sendo que para médias quinqüidiais deve-se corrigir o parâmetro linear com correção dos coeficientes linear e angular.

Os atmômetros são instrumentos os quais a evaporação d’água se dá através de uma superfície porosa. Sua instalação e operação é feita com facilidade, no entanto apresentam erros em razão da impregnação de sal e poeira em seus poros, sendo mais sensíveis ao vento do que à radiação solar. Os três principais tipos de atmômetros são: Evaporímetro de Piche, Atmômetro de Livingstone e Atmômetro de Bellani (BERNARDO, 1989).

2.5.1.1.3 Indicador Planta

De acordo com Resende & Albuquerque (2002) o momento de se efetuar as irrigações pode ser estimado através de sintomas visuais de déficit hídrico nas plantas. Porém, às vezes são difíceis de ser detectados ou são observados muito tardiamente, para fins de manejo de irrigação, isto é, quando observados, os seus efeitos já comprometeram a produção ou a qualidade do produto.

Peiter (1998) coloca que pode-se classificar os métodos de determinação do estado da planta como: métodos destrutivos, métodos não-destrutivos de contato e métodos não-destrutivos sem contato.

Os métodos destrutivos consistem na remoção de partes de uma planta e na determinação do conteúdo de água ou do potencial de água da estrutura removida. Os métodos não-destrutivos de contato envolvem a instalação de sensores no caule de plantas amostradas, através dos quais determina-se a taxa transpiratória, a atividade fotossintética ou a resistência à difusidade, dependendo do equipamento relacionado (PEITER, 1998). Os métodos não-destrutivos de contato estão relacionados à tonalidade da coloração das folhas, enrolamento de folhas e ângulo da folha. (RESENDE & ALBUQUERQUE, 2002).

Para Peiter (1988) os métodos não-destrutivos sem contato utilizam técnicas de sensoriamento remoto, que podem ser extremamente eficientes na definição do momento da irrigação, quando calibrados de forma adequada. Estes baseiam-se no princípio de que as plantas no momento do déficit hídrico apresentam diferenças na coloração em imagens de satélite e fotografias aéreas com filmes infravermelho.

2.5.1.1.4 Turno de rega prefixado e turno de rega variável

BERNARDO (1989) coloca que para a irrigação com turno de rega prefixado, o turno de rega deve ser definido de modo que atenda somente a 70 a 80% da demanda evapotranspirométrica no período de maior demanda. Sendo que antes do período de maior demanda evapotranspirométrica, a irrigação reporá no solo toda a umidade no intervalo entre duas irrigações, mantendo assim o perfil do solo com máxima disponibilidade de água. No período com maior demanda evapotranspirométrica, já que o sistema não terá capacidade de suprir toda a água necessária, a planta completará suas necessidades retirando água das camadas mais profundas ou das precipitações pluviométricas que por ventura caírem nesse período, sendo que a lâmina real aplicada por irrigação deverá ser igual ao somatório, no período, da evapotranspiração real da cultura para os sistemas com irrigação total, ou igual ao somatório, no período da evapotranspiração real da cultura menos a precipitação efetiva para os sistemas de irrigação suplementar.

Para a irrigação com turno de rega variável, este autor ressalta que o mesmo permite a adequação da irrigação as diferentes fases de desenvolvimento vegetativo da cultura, bem como à variação da demanda evapotranspirométrica ao longo do ciclo da cultura. Este procedimento pode ser feito por todos os procedimentos já citados acima, ou seja, pelos indicadores de solo, clima e planta.

2.5.1.2 Lâmina de irrigação

O quanto de água aplicar é normalmente calculado com base na quantidade de água consumida pela cultura, dividida pela eficiência de irrigação. A quantidade de água consumida pela cultura pode ser estimada por meio da evapotranspiração real ou por meio da variação do teor de água no solo. Sendo que a quantidade de

água a ser aplicada por irrigação tem de ser compatível com a capacidade de retenção de água na zona radicular da cultura (BERNARDO, 1989).

Este autor ressalta que a frequência da irrigação requerida para uma cultura, sob determinado clima, depende grandemente da quantidade de água que pode ser armazenada no solo, após uma irrigação. Faz-se necessário caracterizar a água quantitativamente, para fins de estudo de sua disponibilidade, para as plantas, durante a sua movimentação pelo solo.

Para Benardo (1989) o conceito básico de água disponível nos dá um critério para caracterizar o solo, quanto à capacidade de armazenar água. Em solos profundos e com grande capacidade de retenção de água, pode ser possível cultivar vegetais de sistema radicular bem desenvolvido, até uma profundidade considerável, por época de plantio. Se a capacidade de retenção de um solo é pequena, por ser um solo raso ou de textura grossa, freqüentes irrigações serão necessárias. Este autor ressalta ainda que em geral solos arenosos precisam de menor quantidade de água aplicada por irrigação e solos argilosos podem receber uma quantidade de água aplicada maior, pois a capacidade de retenção de água em solos argilosos é maior que nos arenosos.

A água disponível, classificamente definida como estática, representa a quantidade de água que um solo poderia reter ou armazenar entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), equivalendo a tensões de 1/3 e 15 atm, é considerada água disponível as plantas (BERNARDO, 1989).

De acordo com Resende & Albuquerque (2002) define-se capacidade de campo (CC) como a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido ou cessado em um solo previamente saturado por chuva ou irrigação; é a quantidade de água retida pelo solo quando a condutividade hidráulica não saturada se torna tão pequena que o fluxo de água pode ser considerado como sendo zero; para fins de irrigação, capacidade de campo é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água de -10 a -30 kPa (-0,1 a -0,3 bar).

O ponto de murcha permanente (PMP) é definido como o conteúdo de água no solo retido a um componente matricial do potencial de água tão elevado, em valor absoluto, tal que a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em murcha permanente; para fins de irrigação, o ponto de murcha permanente é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do

potencial de água no solo de -1500 kPa (-15 bar) (RESENDE & ALBUQUERQUE, 2002).

De acordo com Assis (20__?) a partir das definições de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), segue-se que a diferença entre esses dois parâmetros representa a água que as plantas podem extrair do solo, ou seja, a capacidade de água disponível no solo. Quando o reservatório está cheio, o potencial de água do solo é alto e a ela está prontamente disponível para a absorção das plantas. À medida que a quantidade de água do reservatório diminui, a sucção do solo aumenta e a absorção de água pelas raízes se torna crescentemente difícil, até que, no ponto de murcha permanente (PMP), a sucção do solo excede a sucção que pode ser exercida pela planta, e a absorção cessa. Tem sido mostrado que mesmo além do ponto de murcha permanente (PMP), uma quantidade muito pequena de água continua a entrar na planta, mas esta é insuficiente para suportar o crescimento.

Quando a água constitui fator limitante à produção agrícola, a utilização de irrigação com déficit permite maior retorno econômico do que a irrigação completa (ENGLISH, 1990).

De acordo com Bernardo (1989) a irrigação total em uma cultura deve ser realizada quando toda a água necessária à cultura for suprida pela irrigação, sendo que a irrigação suplementar é feita quando a água necessária à cultura for suprida pela irrigação e outra parte pela precipitação efetiva. Para Resende & Albuquerque (2002) é considerada irrigação suplementar quando ocorrem chuvas durante o ciclo da cultura.

Para Andrade Júnior (2001) nas regiões áridas e semi-áridas, a limitação da água deve ser particularmente considerada no planejamento da irrigação, uma vez que é necessário a otimização dos recursos hídricos disponíveis visando à maximização da receita líquida por unidade de volume de água aplicado. Hargreaves & Samani (1984) colocam que em regiões semi-áridas, a irrigação objetiva basicamente suprir a umidade necessária ao crescimento e desenvolvimento das plantas e lixiviar os sais do solo. Mas há regiões onde a água é limitante e a prática da irrigação com déficit é mais rentável que a prática da irrigação sem déficit hídrico. Uma dessas práticas é a suspensão da irrigação mais cedo, desde que haja água suficiente armazenada no solo, a fim de que a cultura

não sofra déficit que restrinja o seu potencial produtivo nem afete a qualidade do produto global.

Paz et al. (2000) coloca que em regiões áridas e semi-áridas a necessidade de água é maior que em regiões úmidas; portanto, os custos, benefícios e o uso propriamente dito da água, devem ser considerados; além disso, os fatores de ordem econômica e social também são importantes. Estes autores destacam a importância do uso eficiente da água, a qual integra vários componentes, considerando-se, entre outros, as perdas que ocorrem nos reservatórios, na condução e na aplicação das parcelas irrigadas. Vários trabalhos apontam baixos valores de eficiência, indicando a necessidade de utilização de estratégias de manejo para estimativa da quantidade de água a ser aplicada e operação adequada de sistemas, proporcionando melhoria dos níveis de eficiência. Os métodos e equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados para reduzir as perdas e induzir ao manejo adequado em conjunto com o solo, a planta e o clima, com ganhos de eficiência do uso da água.

A função de resposta da cultura à água constitui-se no elemento básico utilizado nos estudos econômicos relativos ao planejamento da irrigação, uma vez que a cultura apresenta comportamento produtivo diferenciado em razão da quantidade e frequência de irrigação durante o ciclo fenológico. A questão é encontrar a solução ótima para determinada combinação insumo-produto, que maximiza a receita líquida sujeita às restrições de recursos pré-fixadas, em face da estrutura de preços vigentes e o nível de tecnologia adotado no sistema de produção (ANDRADE JÚNIOR, 2001).

2.5.1.3 Balanço Hídrico

Para determinar a quantidade e a disponibilidade de água para as plantas é necessário um conhecimento da dinâmica de água no solo. O balanço hídrico é um dos métodos utilizados para determinar essa demanda hídrica para os diferentes estágios de desenvolvimento das culturas (SILVA, 2005).

Libardi (2000) define o balanço hídrico de uma cultura, como a “contabilização das entradas e saídas de água num dado volume de solo, durante um certo período de tempo”. Considerando que, o volume de solo depende da cultura em estudo, assim, considera-se como limite superior deste volume a superfície do solo e como

limite inferior, a profundidade do sistema radicular da cultura.

De acordo com Pereira et al. (1997) o balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento da água do solo e resulta da aplicação do princípio de conservação da massa em um volume de solo vegetado. A variação do armazenamento representa o balanço entre as entradas e saídas de água do volume de controle, em um intervalo de tempo.

A equação que representa matematicamente o balanço hídrico de uma cultura é dada por:

$$\Delta h = P + I \pm D - ET \pm R \quad [1.0]$$

onde: Δh é a variação da armazenagem de água; P é a precipitação; I é a irrigação; D é a drenagem interna; ET é a evapotranspiração e R é o deflúvio superficial.

Os componentes do balanço hídrico são expressos em dimensões lineares (L), normalmente em milímetros (mm) de água, e estão representadas esquematicamente na Figura 01.

Ainda, para uma descrição quantitativa da variação do conteúdo da água no solo utiliza-se universalmente a equação da conservação de massa, expressa em Rose (1966), por:

$$AS = P + I - R - (ES + TR) \pm Qz \quad [1.1]$$

na qual, segundo Ferraz (1972), a variação da quantidade de água (AS) em um solo cultivado, é determinada pela soma algébrica das quantidades recebidas nos processos de precipitação (P), de irrigação (I) e ascensão capilar (+Qz) e perdas nos processos de escoamento superficial (R), evaporação do solo (ES), extração de água pelas raízes das plantas ou transpiração real (TR) e drenagem profunda (-Qz).

Os componentes P, I, R e ES são governadas pelas condições da atmosfera e parcialmente pelas condições da superfície do solo.

As componentes $\pm Qz$, que não ocorrem simultaneamente, são determinadas pelas características internas do solo e pelo contorno inferior do volume de solo.

A componente TR é regida pelas condições da atmosfera, capacidade da planta na extração da água e condições físicas e hidráulicas do solo.

A variação do conteúdo da água no solo, durante um intervalo de tempo dt , em um volume de solo, compreendido entre os planos horizontais Z_0 e Z_1 , pode ser determinado integrando-se as variações de umidade ($d\theta$) em relação à profundidade e ao tempo:

$$AS = \int_{t_1}^{t_2} \int_{z_0}^{z_1} (d\theta / dt) \cdot dz \cdot dt \quad [1.2]$$

onde: θ é o conteúdo em volume de água no solo (umidade volumétrica), t o tempo, z a profundidade e os subscritos 0 e 1, representam a superfície do solo e a profundidade do solo considerada para o balanço hídrico, respectivamente.

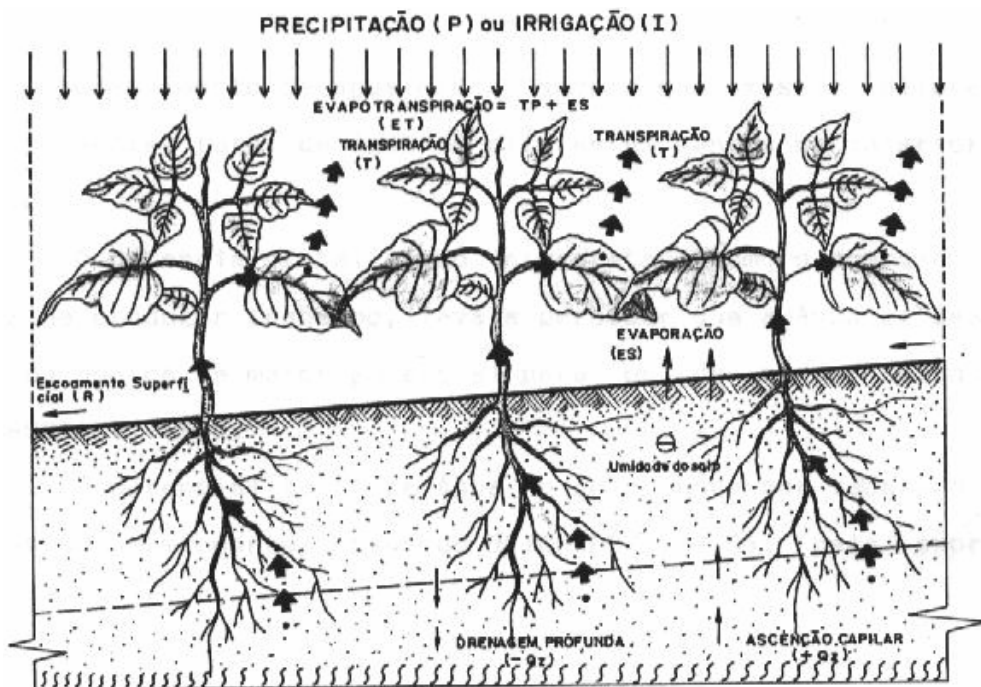


Figura 01 – Representação esquemática dos componentes do balanço de água no solo (ROBAINA, 1992).

O balanço hídrico é empregado em larga escala como ferramenta para estimativa do potencial climático regional quanto à disponibilidade de água as culturas, definindo melhores épocas de plantios, riscos de atendimento da demanda hídrica pelas culturas e, finalmente, possibilitando o zoneamento agroclimático (JACOMAZZI, 2004).

2.5.2 Relações hídricas das culturas de feijão e milho

A exigência hídrica, na cultura do feijoeiro, é satisfatória quando a precipitação pluvial do subperíodo da semeadura à maturidade fisiológica está entre 300 mm e 400 mm, com distribuição uniforme (MALUF & CAIAFFO, 1999).

Por outro lado, verifica-se pequena tolerância à deficiência hídrica nessa espécie em função, principalmente, da baixa capacidade de recuperação após uma condição de acentuado déficit de água no solo e sistema radicular mais superficial (GUIMARÃES et al., 1996).

Quando o suprimento de água não é suficiente para o atendimento das necessidades hídricas dessa leguminosa, observa-se uma demora na resposta da taxa respiratória após a irrigação, isso indica uma recuperação apenas parcial na abertura estomática dos folíolos (SAKAI, 1989).

Segundo Fancelli (2001), a cultura de feijão exige um mínimo de 300 mm de precipitação para que se obtenha rendimentos satisfatórios, sem a necessidade de utilização de prática de irrigação. Assim, as regiões cujas precipitações oscilem entre 300 a 600 mm durante o ciclo são consideradas aptas para a implantação da cultura de feijão, embora tal limitação encontre-se mais diretamente condicionada à distribuição do que à quantidade total de chuvas ocorridas no período.

O feijão é uma cultura altamente susceptível à deficiência hídrica, sendo a fase de germinação da semente considerada uma das mais sensíveis à falta de água (GUIMARÃES, 1988).

De acordo com Fancelli & Dourado Neto (1997), a fase R5 (pré-florescimento) é uma das mais críticas à baixa disponibilidade de água no solo, pois o consumo de água nessa fase de desenvolvimento pode ser superior a $5 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ a em condições de forte calor e reduzida umidade relativa do ar.

Para Guimarães (1988), quando o déficit ocorre durante a fase vegetativa do feijoeiro há redução da área foliar das plantas, na floração provoca abortamento e queda de flores, conseqüentemente redução no número de vagens por plantas e no enchimento de grãos, reduz a massa das sementes. Assim, o período mais crítico de ocorrência de déficit hídrico para as plantas do feijoeiro é no subperíodo do início do florescimento ao início do enchimento de grãos. Nesse período ocorre a maior demanda de água pela cultura, uma vez que coincide com a época de maior índice de área foliar e atividade fotossintética.

Para Vieira et al. (1998) quando o déficit hídrico se instala no período

compreendido entre a semeadura e a emissão da quarta folha trifoliada, há prejuízo na germinação, na emergência e na sobrevivência das plantas, resultando em baixo estande, o que irá se traduzir em redução no rendimento de grãos.

A cultura de milho, segundo Fancelli (2001) exige um mínimo de 400-600 mm de precipitação pluvial para que possa manifestar seu potencial produtivo, sem a necessidade da utilização da prática de irrigação, sendo que seu uso consuntivo, freqüentemente oscila entre 4 a 6 mm.dia⁻¹.

O período compreendido entre a fase de emborrachamento/pendoamento e grãos leitosos, caracteriza-se como a mais sensível ao estresse hídrico, resultando em perda significativa e irreversível de produção (FANCELLI, 2001).

De acordo com Reichardt (1990), para que a cultura do milho atinja máximas produções, cultivares de ciclo médio (90 a 110 dias) necessitam de 500 a 800 mm de água, dependendo das condições climáticas.

Ainda, o milho exige no mínimo de 350 a 500 mm de água para que produza sem necessidade de irrigação. Em condições de clima quente e seco o consumo de água raramente excede 3 mm.dia⁻¹, quando a planta apresenta em torno de 30 cm de altura e, no período que vai da iniciação floral a maturação, pode atingir valores de 5 a 7mm.dia⁻¹ (SBRT, 2006).

Fancelli (2001) destaca que a quantidade de água disponível para a cultura de milho, encontra-se na dependência da capacidade exploratória das raízes, do armazenamento de água do solo e da magnitude do sistema radicular da planta. Assim, o manejo racional do solo e da cultura, é de suma importância para o crescimento e distribuição do sistema radicular, favorecendo o aproveitamento eficiente da água e de nutrientes.

De acordo com Diaz (1991), a deficiência de água, principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos é responsável pela redução do número de espigas, do número de grãos na espiga e do peso de grãos, componentes diretamente envolvidos no rendimento.

Para Paternini (1978), o efeito da falta de água sobre a produção de grãos de milho é particularmente importante em três estágios de desenvolvimento da planta. O primeiro estágio refere-se à iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado, o segundo refere-se ao período de fertilização, quando o potencial é fixado e o terceiro é o do enchimento de grãos.

A falta de água reduz a área foliar (podendo causar até a morte das folhas),

diminuindo a fotossíntese (tendo à menor área foliar devido ao murchamento e enrolamento de folhas e ao fechamento de estômatos), afetando assim a brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos (BERGAMASCHI, 1992).

Além disso, este autor salienta que, a falta de água acarreta alteração do ambiente físico das culturas, decorrentes das modificações no balanço energético pela redução da evapotranspiração que, dá energia a ser transformada em calor latente de evaporação, elevam-se à temperatura do solo e do ar, diminuindo a umidade relativa do ar. Sendo assim, em uma cultura em déficit hídrico, além da menor disponibilidade de água no solo, haverá uma maior demanda evaporativa do ar junto às plantas, acentuando o estresse.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e época da realização do experimento

O trabalho foi desenvolvido em área do município de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul. O campo experimental localiza-se junto a Fazenda Liberdade, 4º distrito Tupantuba, estrada Chica Correia, pertencente ao Sr. Sandro Madeira Cardinal.

O município de Santiago apresenta coordenadas geográficas 29°09'50" de latitude sul e 54°51'32" de longitude oeste (Praça Manoel Viana, localizada no centro da cidade). O local se encontra a 439 m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical úmido, com temperaturas variando entre 13 e 21°C, com média térmica de 17,9°C, ventos predominantes na direção leste com velocidades médias entre 25 e 30 km.h⁻¹ e precipitação pluviométrica de 1.919 mm.ano⁻¹ (GOMES, 2004).

A Figura 02 mostra área onde foi instalado o experimento.



Figura 02 - Vista da área de instalação do experimento antes do plantio. Santiago, RS, 2005.

O experimento foi realizado no ano agrícola 2005/2006, abrangendo o período de setembro/2005 a março/2006.

3.2 Obtenção de dados básicos

3.2.1 Solo

O solo utilizado para a pesquisa é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta (EMBRAPA, 2005).

De acordo com Embrapa (2005) são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. A matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Apresentam saturação por bases baixa ($V < 50\%$) e teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 18% a $< 36\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

3.2.1.1 Caracterização física

As amostras para a determinação das características físicas do solo foram retiradas em uma trincheira aberta na área experimental.

Para a caracterização física do solo no qual o experimento foi conduzido, foram coletadas amostras nas profundidades de 20 a 120 cm, em intervalos de 20 cm e em número de três por profundidade, as quais foram analisadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Em cada um dos pontos de amostragem foram coletadas amostras deformadas para a determinação da densidade de partícula, e as amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, microporosidade, porosidade total e curva característica de água no solo.

Para determinação da densidade de partícula foi utilizado o método do balão volumétrico. Para a densidade do solo as amostras foram coletadas em anel de 6x3 cm ($84,82 \text{ cm}^3$ de volume) e determinadas pelo método do anel volumétrico. Anéis de mesmo volume foram usados para determinação da microporosidade, porosidade

total e curva característica de água no solo. As amostras de solo indeformadas foram saturadas, pesadas e colocadas em mesa de tensão à -6 kPa durante 72 horas, para determinação da microporosidade. Posteriormente as amostras foram secadas em estufa por 24 horas e pesadas, para determinar a umidade. A porosidade total foi obtida pela umidade de saturação. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Para a curva característica de água no solo, as amostras foram saturadas por 48 horas e submetidas aos potenciais de -1 e -6 kPa em mesa de tensão, -33 e -100 kPa em panela de pressão, e -500 e -1500 kPa no medidor de potencial WP4.

A Figura 03 mostra a abertura da trincheira com detalhe do coletor de amostras para a determinação das características físicas do solo.



Figura 03 - Abertura da trincheira para coleta de amostras para determinação das características físicas do solo com detalhe do coletor de amostras. Santiago, RS, 2005.

3.2.1.2 Caracterização química

As amostras para a determinação das características químicas foram retiradas em profundidades de 10 cm e 30 cm da área experimental.

As análises foram efetuadas com amostras deformadas de solo (Figura 04). A adubação do solo foi feita com base nos resultados da análise química do solo processada no Laboratório Central de Análises de Solos do Departamento de Solos

da UFSM, vinculado a ROLAS. A adubação foi feita na linha da semeadura no momento do plantio com 240 kg.ha^{-1} da fórmula 00-25-20. Para a cultura do milho, aos 35 e aos 50 dias após a semeadura realizou-se aplicação de nitrogênio (N) na quantidade de 80 kg.ha^{-1} .

A Figura 04 mostra a coleta de amostras para determinação das características químicas do solo.



Figura 04 - Coleta de amostras para determinação das características químicas do solo. Santiago, RS, 2005.

3.2.2 Elementos Agrometeorológicos

Os dados relativos às condições climáticas foram obtidos em estação climatológica automática da marca Micrometros, localizada a 100 m da área experimental, aproximadamente (Figura 05).

Os elementos agrometeorológicos determinados diariamente foram à precipitação pluvial (mm), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), radiação solar (w.m^{-2}), fotoperíodo (horas) e velocidade do vento (m.s^{-1}) (Apêndices I, II, III, IV e V). Para este trabalho os elementos agrometeorológicos utilizados foram a precipitação pluvial e a temperatura.

A Figura 05 mostra a estação climatológica automática.



Figura 05 - Estação climatológica automática. Santiago, RS, 2005.

3.3 Implantação e condução do Experimento

3.3.1 Semeadura

Antecedente a semeadura, a área foi preparada com a aplicação de herbicida em pré-plantio Glifosato na dosagem de 1.5 l.ha^{-1} . A semeadura foi realizada no dia 31 de outubro de 2005 no Sistema de Plantio Direto sobre palhada de aveia.

Foram utilizadas as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar FT Nobre, desenvolvido pela FT Pesquisa e Sementes, que possui ciclo médio a longo e de milho (*Zea mays* L), cultivar AGN 2012, pertencente à Agromen Sementes, ciclo superprecoce. Na semeadura do milho utilizou-se uma semeadora para plantio direto, quatro linhas, marca Vence Tudo 4200, com espaçamento de 0,45 m entre linhas, totalizando $6 \text{ plantas.metro linear}^{-1}$. Para a cultura do feijão utilizou-se uma semeadora oito linhas, marca Metasa, também com espaçamento de 0,45 m entre linhas, totalizando $18 \text{ plantas.metro linear}^{-1}$.

3.3.2 Descrição das cultivares utilizadas

3.3.2.1 FT Nobre

De acordo com a Apassul (1996) esta cultivar possui recomendação oficial para o cultivo nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. Apresenta boa arquitetura de planta e boa inserção das primeiras vagens, somando-se a alta capacidade produtiva, tolerância as principais doenças e excelente qualidade culinária.

É atualmente a cultivar mais estável e produtiva, dentre as existentes no grupo de feijões pretos. As melhores épocas de semeadura vão de 15 de setembro a 15 de outubro para a safra das águas e 20 de dezembro a 20 de janeiro para a safra das secas. Responde pela sua tecnologia empregada no cultivo, com aumentos significativos de produtividade, superando 3.000 kg.ha^{-1} (APASSUL, 1996).

A população de plantas ideal varia de 200.000 a 250.000 por hectare, isto é: quando plantada em 50 cm entre linhas, a lavoura deverá ter 10 a 12 plantas por metro linear. A cultivar FT Nobre foi avaliada durante a fase de testes com a sigla FT 901849. Trata-se de material de feijão preto, resultante do cruzamento entre os seguintes progenitores: (FT 120 x FT 84 1806) X (FT 84 424) (APASSUL, 1996).

A Tabela 01 mostra a descrição de alguns componentes seguidos das características da cultivar FT Nobre.

Tabela 01 - Descrição de alguns componentes seguidos das características da cultivar FT Nobre.

Descrição	Característica
Cor da Flor	Violeta
Cor da Hipocótilo	Violeta
Cor da tegumento	Preto fosco
Cor da vagem na maturação fisiológica	Palha com leves estrias violáceas
Grupo comercial	Preto
Hábito de crescimento	Indeterminado (tipo II), com arquitetura de planta possibilitando a colheita mecanizada.
Porte:	Ereto
Altura média de inserção da 1ª vagem (cm)	13 (7-20)
Número médio de vagens.plantas ⁻¹	10 (6-12)
Floração inicial	52 dias após a emergência
Floração plena	64 dias após a emergência à maturação
Forma do grão	Elíptica, semicheia
Comprimento (mm)	9,7 (8,5 a 11,4)
Largura (mm)	6,3 (4,5 a 7,0)
Espessura (mm)	4,8 (4,2 a 5,4)
Cor	Preta
Intensidade de brilho	Intermediária
Cor do hilo	Branca
Peso de mil sementes (g)	201,49

3.3.2.2 AGN 2012

De acordo com a Agromen Sementes (2006), é uma cultivar de dupla finalidade, podendo ser utilizada tanto para silagem quanto para produção de grãos, sendo tolerante ao estresse hídrico e às principais doenças ocorridas na cultura do milho.

A Tabela 02 mostra a descrição de alguns componentes seguidos das características da cultivar AGN 2012.

Tabela 02 - Descrição de alguns componentes seguidos das características da cultivar AGN 2012.

Descrição	Características
Tipo	Híbrido duplo
Ciclo	Superprecoce
Cor do grão	Amarelo / Laranja
Textura do grão	Semiduro
Peso de mil sementes (g)	370
Altura da espiga (m)	Média - 1,20
Altura de plantas (m)	2,2
População de plantas/ha	50.000 a 55.000 – verão 45.000 a 50.000 - safrinha

3.3.3 Área Experimental

A área utilizada para instalação do experimento foi de 70 x 15 m, para cada cultura.

Em cada cultura foram colocadas armações de madeira de 1 m² sobre as plantas, as quais foram chamadas de parcelas experimentais ou tratamentos. Utilizaram-se quatro repetições por tratamento, totalizando 16 parcelas experimentais para cada cultura.

No momento da marcação das parcelas experimentais foi realizado um sorteio de localização das mesmas, para que essas fossem distribuídas de maneira aleatória.

A Figura 06 mostra o croqui de instalação do experimento mostrando a distribuição das parcelas experimentais.

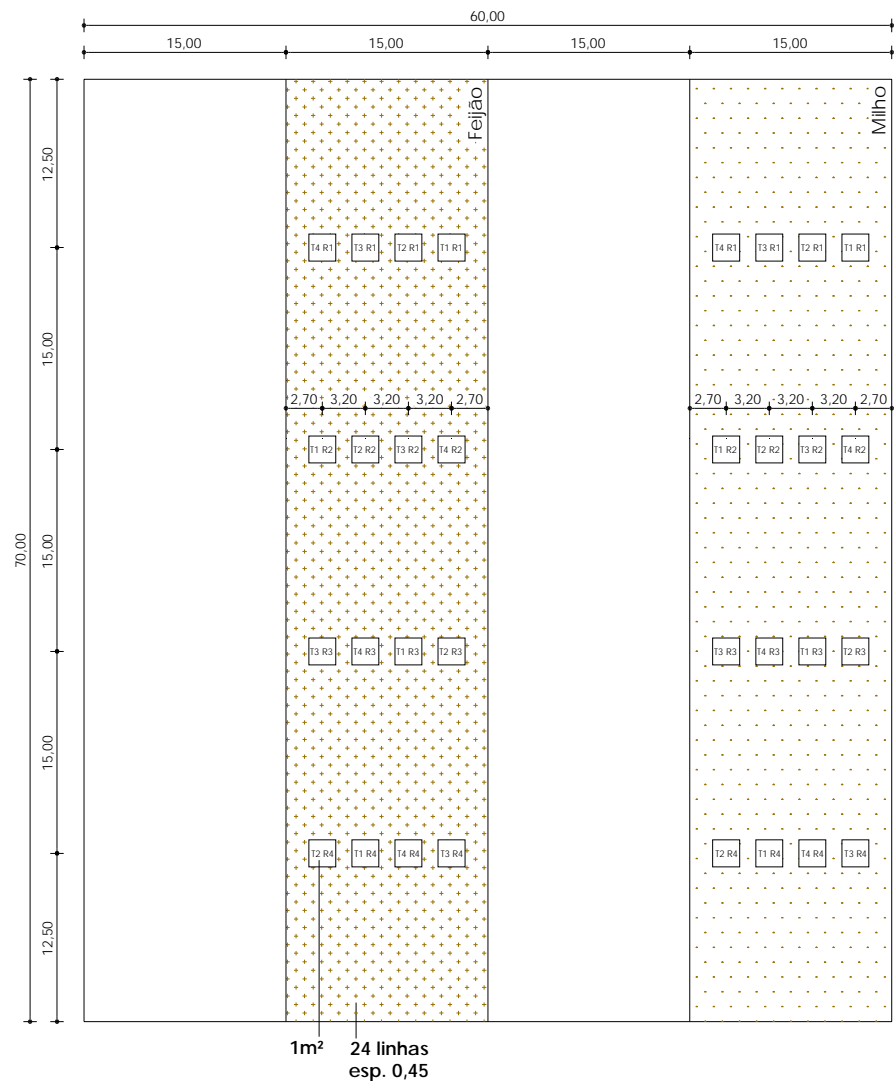


Figura 06 - Croqui da área experimental.

3.3.4 Irrigação

O manejo da irrigação utilizado baseou-se no turno de rega prefixado, com intervalo de 7 dias entre as irrigações quando não ocorria precipitação pluviométrica. As lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ciclo vital das culturas foram efetuadas com base nos dados de evapotranspiração medidos em Mini-Tanque evaporimétrico (COSTA, 2004) localizado aproximadamente 200 metros da área experimental (Figura 07).



Figura 07: Mini-Tanque de evaporação. Santiago, RS, 2005.

Nas 16 parcelas experimentais de cada cultura foram testadas quatro estratégias de irrigação (tratamentos), sendo, 60%, 80%, 100% e 120% do valor da evapotranspiração de referência (ET_o).

As irrigações foram feitas manualmente. A Figura 08 mostra as parcelas experimentais para cada cultura.



Figura 08 - Parcelas experimentais localizadas na área experimental das culturas de feijão e milho. Santiago, RS, 2005.

3.3.5 Tratos culturais

Os tratos culturais foram realizados de forma homogênea em todos os tratamentos, com o objetivo de manter todo o experimento sem interferência de plantas daninhas, pragas e doenças.

Para a cultura do feijão:

- ✓ 30 e 69 dias após a emergência (DAE) realizou-se aplicação de inseticida. Na primeira aplicação utilizou-se Decis na dosagem de 40 ml.20 litros⁻¹ de água e na segunda aplicação Taramon na dosagem de 70 ml.20 litros⁻¹ de água.
- ✓ 45 DAE realizou-se uma capina manual para combate de plantas daninhas.

Para a cultura do milho:

- ✓ 29 e 54 DAE realizou-se aplicação de Rimon na dosagem de 150 ml.ha⁻¹ para combate da lagarta do cartucho.

3.3.6 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento da planta

3.3.6.1 Índice de área foliar

As determinações de área foliar tiveram início aos 15 e aos 16 DAE para o feijão e o milho, respectivamente. As determinações foram realizadas nas parcelas experimentais de cada cultura, utilizando-se um total de cinco plantas.parcela⁻¹. Estas medidas foram realizadas em períodos quinzenais.

A área foliar das plantas foi calculada através do produto das medidas de comprimento e maior largura de cada folha, multiplicada pelo coeficiente de 0,75 (STICKLER et al., 1961).

Para a cultura de feijão, as medidas foram feitas em nove folhas.planta⁻¹, sendo três folhas na parte de baixo da planta, três folhas na parte intermediária e três folhas na parte de cima da planta. Adotou-se este sistema devido haver uma maior uniformidade das folhas.

Para a cultura do milho as medidas foram feitas em todas as folhas das plantas.

A estimativa do índice de área foliar foi determinada através da média do comprimento das folhas (comp. médio), média da largura das folhas (lar. média), fator de correção de 0.75, número de folhas (n° . folhas) e número de plantas.m⁻² (n° . plantas/m²), sendo:

$$IAF = \frac{(comp.médio \times lar.média) \times 0.75 \times n^{\circ}.folhas \times n^{\circ}.plantas / m^2}{10000} \dots\dots\dots [2.0]$$

3.3.6.2 Altura de plantas

Juntamente com as medidas de área foliar realizaram-se as medidas de altura de plantas (cm). Essas foram feitas medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha utilizando-se trena graduada, obtendo-se assim a altura média por planta, de acordo com Sá et al. (2002), citado por Bernardon (2005).

3.3.6.3 Superfície Coberta

Para a cultura do feijão realizou-se a determinação da superfície coberta pelas plantas conforme metodologia usada por Robaina (1992). Iniciou-se as determinações aos 58 DAE em períodos decendiais nas 16 parcelas experimentais, utilizando-se uma mesa retangular (80 x 60 cm) com a parte horizontal de vidro transparente marcado com quadrículas de 1 cm² e tendo os pés ajustáveis, de modo que a parte horizontal ficasse acima das plantas (Figura 09).



Figura 09 - Mesa utilizada na determinação da superfície coberta pelas plantas em períodos decendiais. Santiago, RS, 2005.

A superfície ocupada por cada planta era delineada sobre a mesa com caneta. Pelo somatório do número de quadrículas no interior das superfícies demarcadas foi estimada a superfície coberta pelas plantas em relação à área da mesa.

3.3.6.4 Componentes de produção de grãos e matéria seca total

3.3.6.4.1 Cultura do feijão

Para esta determinação foram obtidas 10 plantas de cada parcela experimental, e 40 plantas testemunhas, colhidas aleatoriamente no experimento, as quais não foram submetidas a estratégias de irrigação. A colheita foi feita aos 101 DAE.

As plantas foram arrancadas e separadas em haste, folhas e vagem. A seguir, foram colocadas em envelopes de papel identificadas e secadas em estufa a 60°C até o peso constante (48) horas para determinação da massa seca em estufa.

Após a retirada da estufa determinou-se o peso da matéria seca da haste e folhas, das vagens, as quais foram debulhadas e realizou-se a contagem do número de grãos por vagem, peso médio do grão e da vagem (sem grãos). Foi determinado o número de plantas por parcela experimental e o número de vagens.planta⁻¹.

A estimativa da produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi realizada com os componentes de produção, da seguinte forma:

$$\text{Produção} = 10 \cdot \frac{n^{\circ} \text{ plantas}}{\text{m}^2} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ vagens}}{\text{planta}} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ grãos}}{\text{vagem}} \cdot \text{massa seca média do grão (g)} \cdot 1,13 \dots\dots\dots [3.0]$$

Utilizou-se o valor 10 para transformar a unidade de $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Com os valores de massa seca total e massa seca dos grãos, obteve-se o índice de colheita, o qual refere-se à fração de massa seca do órgão de interesse (neste caso os grãos) colhido em relação a massa seca total, a qual é obtida em relação aos dados experimentais.

3.3.6.4.2 Cultura do milho

Para as determinações, foram utilizadas todas as plantas de cada parcela experimental, e 10 plantas testemunhas, colhidas aleatoriamente no experimento, as quais não foram submetidas a estratégias de irrigação. A colheita foi realizada aos 143 DAE.

As plantas foram cortadas ao nível do solo e separadas em colmo, folhas e espiga. A seguir, foram colocadas em envelopes de papel identificadas e secadas em estufa a 60°C até o peso constante (5 dias) para determinação da massa seca em estufa. Determinou-se também o número de plantas por parcela experimental.

Após a retirada das plantas da estufa, determinou-se o peso da matéria seca do colmo, folhas, palha, pendão, grãos e sabugo, assim como o número de grãos por espiga. Foi determinado também o número de plantas por parcela experimental e o número de espiga.planta⁻¹.

A estimativa da produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi utilizada com os componentes de produção, da seguinte forma:

$$\text{Produção} = 10 \cdot \frac{n^{\circ} \text{ plantas}}{\text{m}^2} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ espigas}}{\text{planta}} \cdot \frac{n^{\circ} \text{ grãos}}{\text{espiga}} \cdot \text{massa seca média do grão (g)} \cdot 1,13 \dots\dots\dots [4.0]$$

Utilizou-se o valor 10 para transformar a unidade de $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Para a cultura do milho também foi determinado o índice de colheita.

3.3.6.5 Soma Térmica

Foram realizados os cálculos de soma térmica para as culturas de feijão e milho, considerando a temperatura base de 10°C de acordo com Brunini (1998) e Villa Nova et al. (1972), respectivamente.

A expressão utilizada para esta determinação foi:

$$ST = \sum_{l=1}^n T_{\text{méd.}} - T_{\text{base}} \dots\dots\dots [5.0]$$

em que:

ST: soma térmica acumulada no período (°C.dia acumulados);

n: número de dias;

T_{méd.}: temperatura média diária do ar (°C);

T_{base}: temperatura base da cultura (°C).

Os resultados de soma térmica obtidos foram relacionados com os parâmetros de crescimento e desenvolvimento da planta.

3.4 Análise Estatística

Para interpretação dos resultados realizou-se a análise da variância usando-se o Teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro para interpretação do nível de significância. As médias foram comparadas entre si pelo Teste de Tuckey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características Físicas dos Solos

Os resultados das características físicas do solo são apresentados nas Tabelas 03, 04 e 05.

Tabela 03 – Características físicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.

Prof. (cm)	Granulometria (%)			
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila <0,002mm
0 - 20	32,37	17,43	25,63	24,60
20 - 40	29,47	16,30	24,47	29,77
40 - 60	27,90	12,47	21,57	34,77
60 - 80	24,70	13,27	22,27	39,77
80 - 100	18,37	13,10	20,10	48,40
100 - 120	19,40	12,13	19,83	48,60
Média	25,37	14,12	22,31	37,65
Desvio Padrão	5,61	2,20	2,34	9,80

Tabela 04 – Características físicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.

Prof.(cm)	Classe Textural	Densidade (g.cm ⁻³)		
		Solo	Partícula	Porosidade
0 - 20	Franco Argilo Arenoso	1,55	2,60	40,44
20 - 40	Franco Argiloso	1,39	2,60	46,49
40 - 60	Franco Argiloso	1,34	2,63	48,96
60 - 80	Franco Argiloso	1,35	2,62	48,35
80 - 100	Argila	1,33	2,63	49,55
Média		1,39	2,62	46,76
Desvio Padrão		0,09	0,02	3,71

A tabela 04 mostra que o solo em estudo apresenta classe textural predominante de franco argiloso, com densidade média de 1,39, densidade média

da partícula de 2,62 e porosidade total média de 46,76%. Pode-se observar que se trata de um perfil uniforme quanto as características físicas determinadas.

Tabela 05 – Características físicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.

Prof.(cm)	Umidade Volumétrica (cm ³ .cm ⁻³)						
	Satur.	1 (-kPa)	6 (-kPa)	33 (-kPa)	10 (-kPa)	500 (-kPa)	500 (-kPa)
0 - 20	0,42	0,39	0,34	0,29	0,28	0,19	0,16
20 - 40	0,47	0,40	0,34	0,30	0,28	0,20	0,17
40 - 60	0,50	0,44	0,36	0,30	0,28	0,19	0,17
60 - 80	0,51	0,44	0,37	0,31	0,29	0,22	0,21
80 - 100	0,51	0,45	0,39	0,34	0,32	0,23	0,21
Média	0,48	0,42	0,36	0,31	0,29	0,21	0,18
Desvio Padrão	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

4.2 Características Químicas dos Solos

Os resultados das características químicas do solo são apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 – Características químicas do solo Latossolo Vermelho distrófico típico, unidade de mapeamento Cruz Alta – Valores médios para três repetições.

Prof. (cm)	pH	M.O	Teor Trocável em g/100 g Terra							Saturação		Argila	
	H ₂ O (1:1)	%	CTC	K mg/dm ³	Ca	Mg	Al	H + Al	Índice SMP	P Mg. dm ⁻³	Al	V%	%
0-10	5,7	2,2	9,7	268	4,4	1,6	0	2,8	6,4	7,6	0	70	34
0-10	5,5	2,2	9,2	92	4,1	1,4	0	3,5	6,2	4,5	0	62	29
0-10	5,3	1,7	9,7	108	4,3	1,6	0,4	3,5	6,2	3,7	6	64	34
0-30	4,9	1,6	9,7	140	3,2	1,2	1,3	4,9	5,9	2,2	21	49	40
0-30	4,9	1,3	9,5	24	2,9	1,0	1,5	5,5	5,8	1,5	27	42	40
0-30	4,6	1,4	11,4	36	2,8	0,8	1,9	7,7	5,5	2,2	34	32	40

De acordo com os dados apresentados na Tabela 06 pode-se observar que o pH é médio nas duas primeiras repetições de 0-10 cm (valores de 5,5-6,0), sendo que na terceira repetição encontra-se baixo (valores de 5,1-5,4) e posteriormente é

muito baixo (valores menores que 5,0). A matéria orgânica é baixa em todas as repetições (apresenta valores menores que 2,5), sendo este parâmetro indicador de disponibilidade de nitrogênio. A CTC classifica-se como média (valores de 5,1-15,0), com teores de argila baixo e muito baixo nas duas primeiras repetições e nas demais, respectivamente, assim como os teores de fósforo (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

Os teores de potássio são muito altos na primeira repetição de 0-10 cm e na primeira repetição de 0-30 cm (valores maiores que 20), altos na segunda e terceira repetições (valores de 61-120) e baixo nas duas últimas repetições de 0-30 cm (valores de 21-40) (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

Quanto aos teores de cálcio a interpretação é de alto para as profundidades de 0-10 cm (valores de 2,1-4,0) e médio para as profundidades de 0-30 cm. O magnésio é alto nas profundidades de 0-10 cm e na primeira repetição de 0-30 cm (valores maiores que 1,0) e médio para as duas últimas repetições de 0-30 cm (valores de 0,6-1,0) (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

4.3 Culturas de feijão e milho

O feijão teve emergência determinada no 5^o (quinto) dia após a semeadura (05 de novembro de 2005), seu ciclo foi de 106 dias (colhido em 14 de fevereiro de 2006).

O milho teve emergência determinada no 6^o (sexto) dia após a semeadura (06 de novembro de 2005), seu ciclo foi de 149 dias (colhido em 29 de março de 2006), o que ultrapassa o limite de duração de ciclo informado pela Agromen de 130 dias, este fato pode ser explicado pelas temperaturas abaixo de 15°C registradas no mês de março, que de acordo com Fancelli (2000) ocasionam retardamento na maturação do grão.

A seguir são apresentados e discutidos os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produção das culturas de feijão e milho analisadas.

4.3 1 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento

4.3.1.1 Índice de área foliar

A Tabela 07 apresenta os valores experimentais médios dos quatro tratamentos obtidos na determinação do índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) durante o ciclo vital da cultura do feijão.

Tabela 07 – Valores médios do índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em quatro tratamentos durante o ciclo vital da cultura do feijão.

DAE	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4	MÉDIA	D.P.
13	0,13	0,19	0,14	0,12	0,14	0,03
28	2,42	0,41	0,53	1,96	1,33	0,87
44	2,95	2,50	1,47	2,10	2,25	0,55
59	6,93	7,74	6,10	2,99	5,94	1,80
74	3,53	4,26	4,29	3,29	3,84	0,44
89	1,35	1,35	3,80	1,51	2,00	1,04

DAE = dias após a emergência

TRAT 1 = estratégia de irrigação com 60% da ETo

TRAT 2 = estratégia de irrigação com 80% da ETo

TRAT 3 = estratégia de irrigação com 100% da ETo

TRAT 4 = estratégia de irrigação com 120% da ETo

D.P. = desvio padrão

Através da Tabela 07, pode-se observar que o tratamento 2 apresentou o máximo IAF de $7,74 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. O menor IAF deste período foi observado no tratamento 4 com $2,99 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, que foi o tratamento com maior lâmina de água aplicado. Este fato explica que o excesso hídrico no feijoeiro causa reduções no seu crescimento.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gomes et al. (2000) em condições de irrigação, onde obtiveram valores máximos de IAF de $7 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para a cultivar Negro Argel; $6,8 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para a cultivar Carioca e $8,6$ para a cultivar A 320.

Outros autores, como Alvim & Alvim (1969) observaram valores de IAF de $1,4$ a $7,6 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ e Portes (1996) relatou valores experimentais de IAF variando de $0,75$ a $2,20 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ e de $0,80$ a $4,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, respectivamente, durante o ciclo de cultivares de feijoeiro Carioca e Aporé.

Realizou-se a análise estatística para os valores médios das seis medidas de índice de área foliar (repetições) de cada tratamento, onde constatou-se através da análise da variância que não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os

tratamentos (Anexo VI). Obteve-se então a média dos quatro tratamentos para representar o comportamento do índice de área foliar durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Na Figura 10 pode-se visualizar a evolução temporal do índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) médio dos quatro tratamentos para a cultura do feijão durante seu ciclo vital de desenvolvimento.

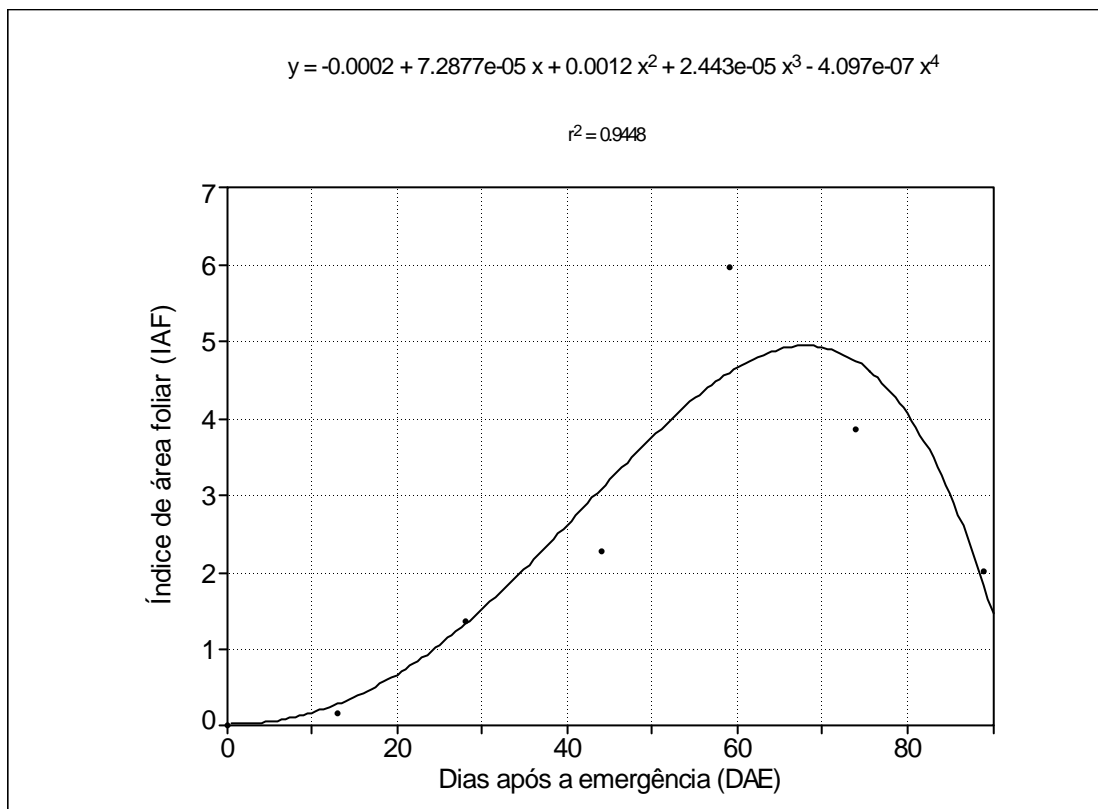


Figura 10 - Índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) médio durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

Pode-se observar que o índice de área foliar (IAF) cresceu até aproximadamente os 60 DAE, coincidindo com o período próximo a formação de legumes (Anexo XXX), com média de $5,94 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. Neste período foram obtidos os máximos valores de IAF. Portes (1996) para as duas cultivares citadas acima encontrou o máximo valor de IAF observado foi ao redor dos 62 DAE.

Após os 74 DAE ocorreu declínio do IAF, que foi menor coincidindo com o período de enchimento de grãos (Anexo XXX), início do amarelecimento e queda de folhas.

Este resultado coincide com dados de Junqueira et al. (2004) que obtiveram crescimento de IAF até os 73 DAE com IAF crescente até o estágio da floração, sendo o estágio da maturação acompanhado de decréscimos nos valores de IAF. Portes (1996) encontrou declínio de IAF aos 85 DAE para as cultivares citadas acima.

A Figura 11 mostra a relação entre o índice de área foliar médio dos tratamentos em função dos resultados obtidos de soma térmica (°C.dia acumulados) (Anexos I, II, III e IV) durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

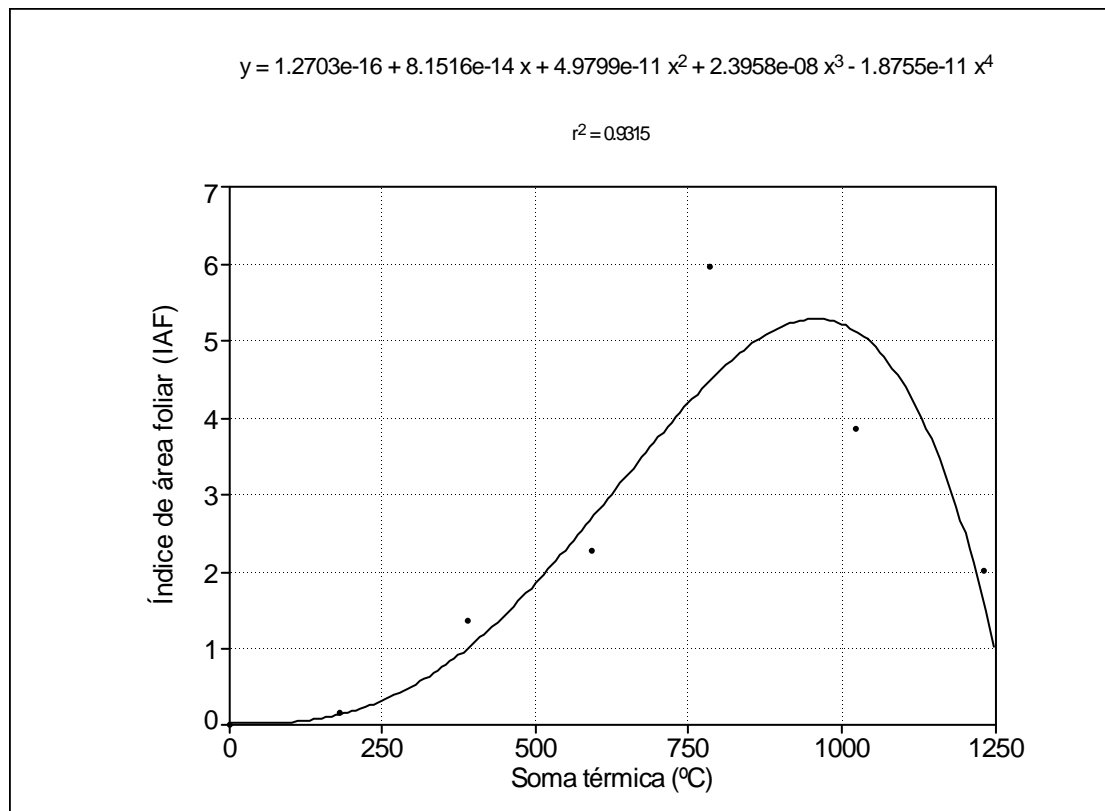


Figura 11 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio relacionado com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão.

Observa-se que a curva que melhor se ajustou aos dados resultou em uma equação de quarto grau com alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9315$) indicando que a curva obtida explica satisfatoriamente a evolução do IAF. Sendo que o IAF apresentou crescimento inicial lento até aproximadamente $250^{\circ}C.dia$ acumulados em seguida, foi crescente até um máximo acúmulo de soma térmica, posteriormente vindo a declinar devido a senescência e queda das folhas.

A Tabela 08 mostra os valores experimentais médios de quatro tratamentos obtidos para determinação do índice de área foliar da cultura do milho no decorrer de seu ciclo vital de desenvolvimento.

Tabela 08 – Valores médios do índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.

DAE	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4	MÉDIA	D.P.
13	0,16	0,15	0,17	0,13	0,15	0,16
28	1,12	2,32	1,35	1,17	1,49	1,12
44	2,44	2,94	3,03	2,67	2,77	2,44
59	5,09	5,73	5,40	4,92	5,28	5,09
74	6,16	6,99	5,48	5,68	6,08	6,16
89	4,63	6,31	4,75	5,57	5,31	4,63
103	4,60	5,16	4,72	4,59	4,77	4,60
116	2,66	2,91	2,36	2,43	2,59	2,66
131	1,26	0,69	0,50	0,73	0,80	1,26

DAE = dias após a emergência

TRAT 1 = estratégia de irrigação com 60% da ETo

TRAT 2 = estratégia de irrigação com 80% da ETo

TRAT 3 = estratégia de irrigação com 100% da ETo

TRAT 4 = estratégia de irrigação com 120% da ETo

D.P. = desvio padrão

Pode-se observar na Tabela 08 que não ocorreu grande variabilidade entre os tratamentos, os quais apresentaram valores médios semelhantes. O maior IAF foi observado no tratamento 2 com o valor de $6,99 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, sendo que o menor IAF deste período foi $0,50 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para o tratamento 3.

Resultados similares foram obtidos por Manfron et al. (2003) que trabalharam com diferentes híbridos de milho, obtiveram IAF máximo de $7,50 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para um híbrido de milho cultivar F 5013.

Os dados da Tabela 08 quando submetidos à análise estatística, não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos na análise da variância (Anexo VII).

Na Figura 12 pode-se visualizar o índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) médio dos quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.

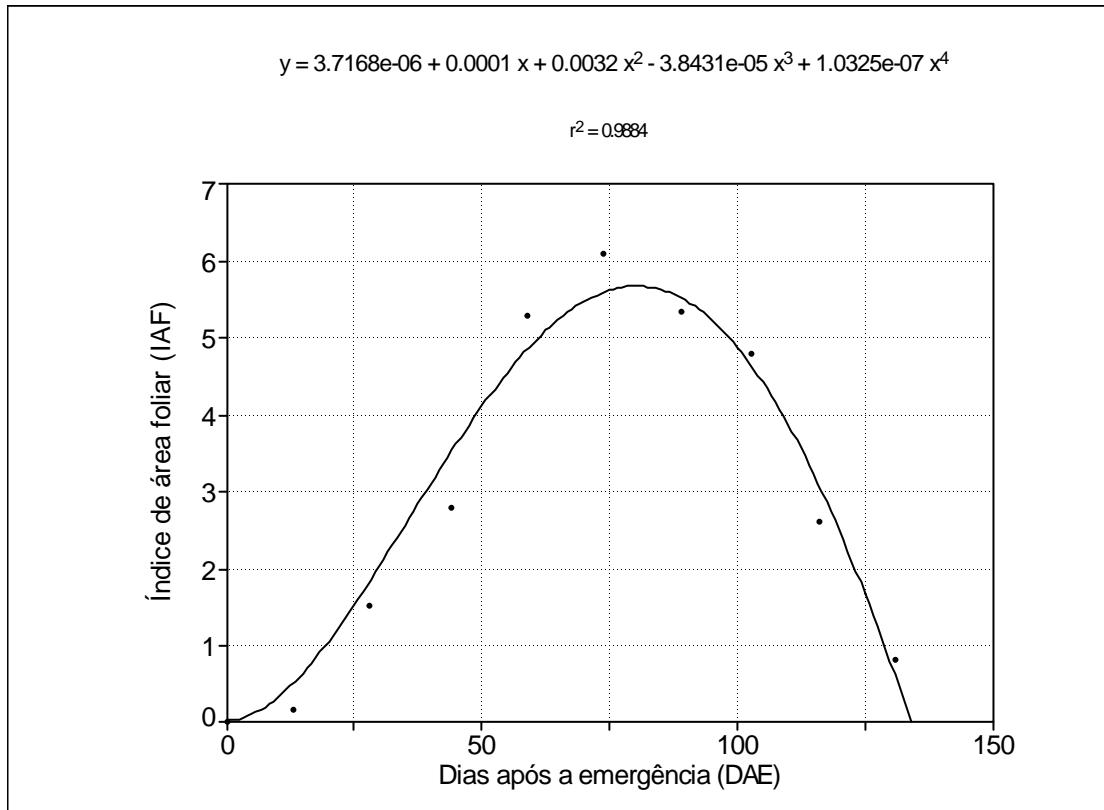


Figura 12 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio dos quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.

Observa-se que o aumento do IAF da cultura do milho ocorreu até aproximadamente os 74 DAE, próximo ao estágio R1 (Anexo XXXII) quando atingiu o maior crescimento de IAF com a maior média de $6,08 m^2.m^{-2}$ para o tratamento 2.

Após esta fase, próximo aos 90 DAE ocorreu um declínio devido à senescência e a queda de folhas, coincidindo com o estágio R3 (Anexo XXXII). Manfron et al. (2003) obtiveram o máximo IAF aos 75 DAE e o IAF começou a decrescer aos 90 DAE. Fiorin et al. (2002) observaram reduções no IAF aos 76 DAE para híbridos semeados em outubro na região de Santa Maria, RS.

A Figura 13 mostra a relação entre o índice de área foliar médio em função dos resultados obtidos de soma térmica (Anexos I, II, III, IV e V) durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.

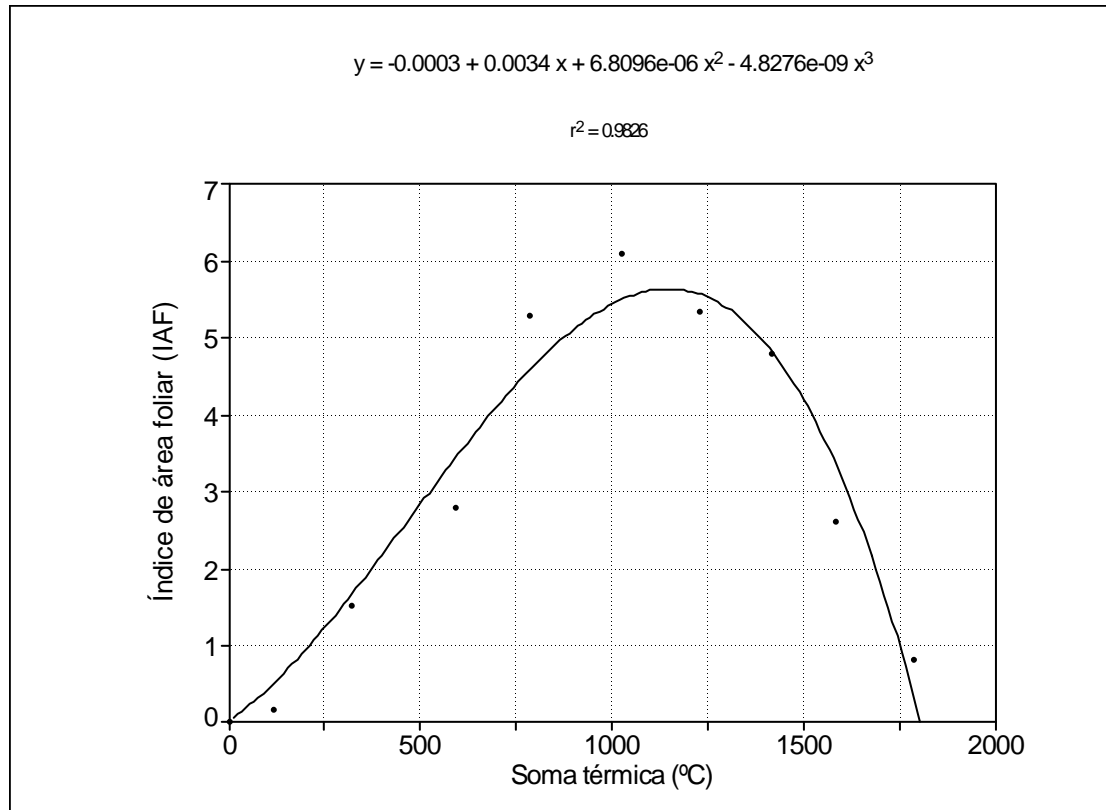


Figura 13 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio relacionado com a soma térmica durante o ciclo de vital de desenvolvimento da cultura do milho.

Através da Figura 14, observa-se que os dados se ajustaram a uma equação de segundo grau, com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9626$), considerado alto. O IAF apresentou crescimento crescente até aproximadamente $1000^{\circ}C.dia$ acumulados, com IAF de $6,08 m^2.m^{-2}$. Estes resultados foram encontrados por Muller et al. (2005) em trabalho com estimativa do IAF do milho em função de graus-dia encontrando crescimento de IAF próximo a $1000^{\circ}C.dia$ acumulados e correspondendo a um IAF de $6 m^2.m^{-2}$.

Após os $1000^{\circ}C.dia$ acumulados, ocorreu um declínio no IAF, conforme já discutido na Figura 13.

França et al. (1999) citado por Schöffel & Volpe (2002) demonstraram que as estimativas do IAF máximo de uma variedade de milho foram atingidas com $1187^{\circ}C.dia$ acumulados em condições de plantas irrigadas, enquanto que em condições não irrigadas o IAF máximo só foi atingido com o acúmulo de $1296^{\circ}C.dia$ acumulados, mesmo assim, o valor obtido (3,4) foi inferior ao da condição irrigada (5,5). Dessa forma, além da deficiência hídrica ter reduzido o IAF, houve maior exigência térmica para a ocorrência do IAF máximo. Com esses resultados, para a

cultura sem déficit hídrico, os autores concluíram que a produção de massa seca e de IAF podem ser estimadas a partir de modelos de relação com a temperatura média do ar através da soma térmica.

4.3.1.2 Superfície coberta

Os valores médios experimentais obtidos na determinação da superfície coberta durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão para quatro tratamentos são apresentados na Tabela 09.

Tabela 09 – Superfície coberta em quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

DAE	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4	MÉDIA	D.P.
59	0,91	0,93	0,84	0,90	0,90	0,03
69	0,96	0,97	0,94	0,93	0,95	0,02
79	0,96	0,90	0,95	0,91	0,93	0,03
90	0,89	0,88	0,92	0,90	0,90	0,01

DAE = dias após a emergência

TRAT 1 = estratégia de irrigação com 60% da ETo

TRAT 2 = estratégia de irrigação com 80% da ETo

TRAT 3 = estratégia de irrigação com 100% da ETo

TRAT 4 = estratégia de irrigação com 120% da ETo

D.P. = desvio padrão

Conforme a Tabela 09 observa-se que a superfície coberta apresentou maiores valores entre os 69 e 79 DAE. O maior valor de superfície coberta foi verificado no tratamento 2 aos 69 DAE, sendo que para esse período a menor superfície coberta foi verificada no tratamento 4. Estes valores coincidem com o IAF, que também foi maior para o tratamento 2 e menor para o tratamento 4, como visto na Tabela 07.

Realizou-se a análise estatística para os valores médios das quatro repetições de cada tratamento, onde constatou-se através da análise da variância que não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos (Anexo VIII). Desta forma fez-se a média dos quatro tratamentos para representar o comportamento da superfície coberta durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura, como mostra a Figura 14.

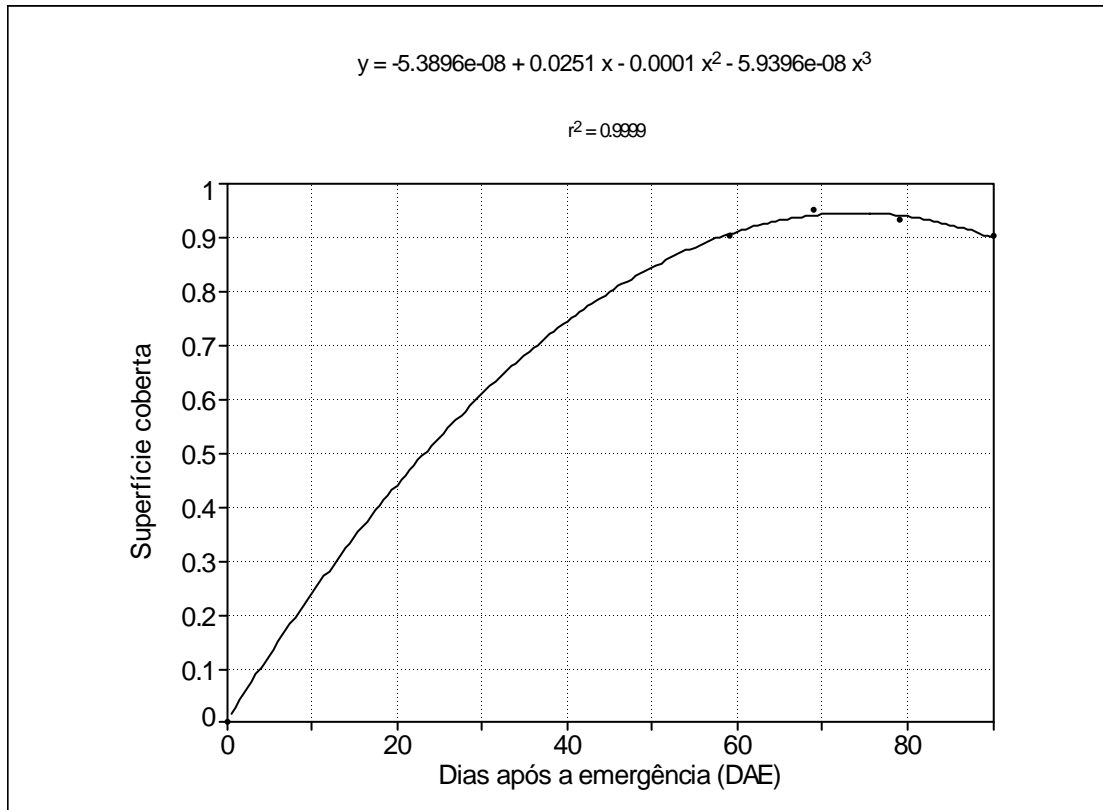


Figura 14 - Superfície coberta média durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

Observa-se que a superfície coberta cresceu até aproximadamente os 70 DAE, após esse período teve início à queda de folhas, diminuindo a área coberta.

Robaina (1992) em trabalho realizado com feijoeiro, cultivar Carioca, observou o aumento da superfície coberta até os 54 DAE, aproximadamente.

Este autor coloca que, uma justificativa para determinação da superfície coberta, seria a possibilidade de estimar o índice de área foliar indiretamente através da determinação da superfície coberta em diferentes épocas, por este parâmetro ser mais fácil de avaliar no campo em culturas de baixo porte.

A Figura 15 mostra a relação da superfície coberta média e os valores de soma térmica acumulados durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

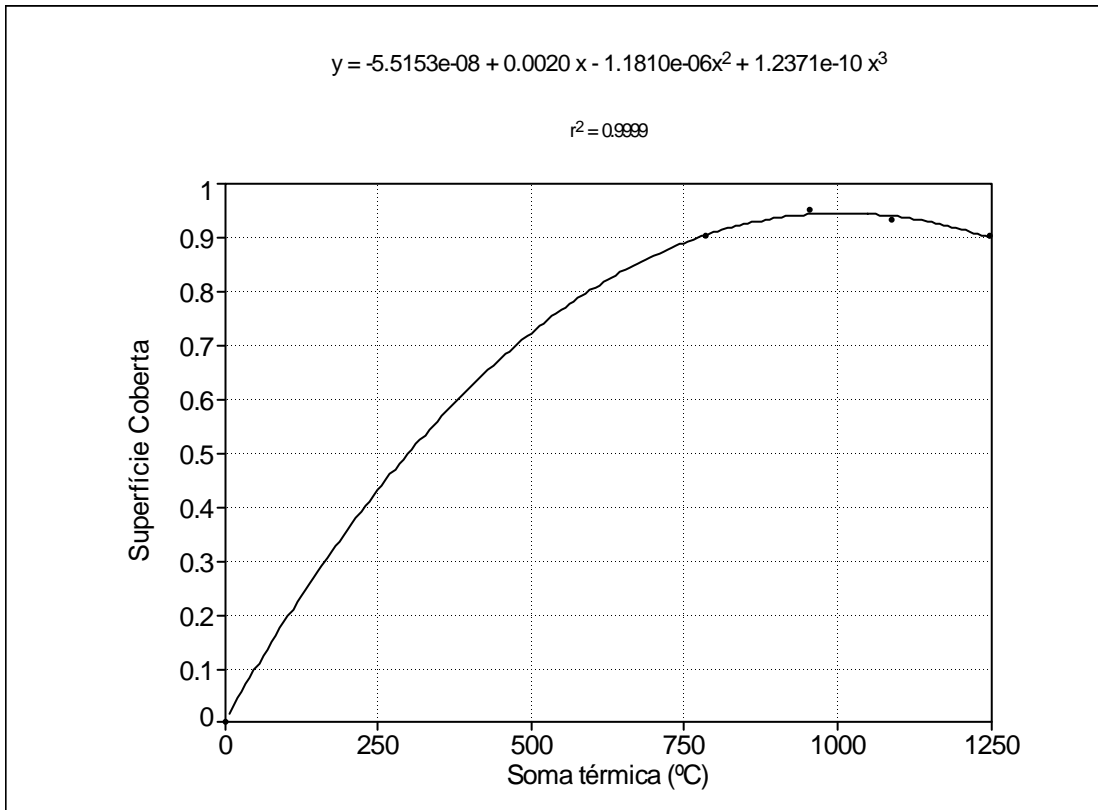


Figura 15 - Superfície coberta média em função da soma térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

A superfície coberta foi crescente até aproximadamente 1000°C.dia acumulados com posterior declínio.

Medeiros et al. (2000) em pesquisas com crescimento vegetativo de feijão cultivar Carioca relacionados com soma térmica, com populações de planta de 28 e 14 plantas.m⁻² em condições de irrigação e populações de 25 e 50 plantas.m⁻² em evapotranspirômetros de nível freático constante, obtiveram fechamento completo da cobertura vegetal com 812 e 800°C.dia acumulados para os tratamentos submetidos a irrigação, 638 e 298°C.dia acumulados para os tratamentos em evapotranspirômetros.

4.3.1.3 Altura de plantas

A Tabela 10 apresenta os valores médios das medidas de altura (cm) para a cultura do feijão no decorrer do seu ciclo vital de desenvolvimento para as quatro estratégias de irrigação.

Tabela 10 – Valores médios de altura de plantas (cm) da cultura do feijão submetida a quatro estratégias de irrigação durante seu ciclo vital de desenvolvimento.

DAE	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4	Média	D.P.
13	8,43	9,25	7,84	7,67	10,80	5,64
28	18,60	19,28	19,50	17,51	18,72	0,89
44	35,08	36,20	36,20	35,70	35,80	0,53
59	42,00	40,00	40,00	43,00	41,25	1,50
74	44,40	46,00	41,75	45,20	44,34	1,84
89	45,00	46,00	42,00	49,00	45,50	2,89

DAE = dias após a emergência

TRAT 1 = estratégia de irrigação com 60% da ETo

TRAT 2 = estratégia de irrigação com 80% da ETo

TRAT 3 = estratégia de irrigação com 100% da ETo

TRAT 4 = estratégia de irrigação com 120% da ETo

D.P. = Desvio Padrão

A altura máxima ocorreu no tratamento 4, aos 89 DAE, oito dias antecedentes da maturação (Anexo XXX) com 49 cm que também apresentou a menor altura aos 13 DAE com 7,67 cm. A menor altura verificada para este período ocorreu no tratamento 3 com 42 cm.

Resultados semelhantes foram obtidos por Horn et al. (2000) avaliando espaçamentos e populações de plantas de feijão cultivar Pampa, que verificaram altura de 48 cm para espaçamentos de 50 cm entre linhas. Souza et al. (2004) testando níveis de adubação para a cultivar Iapar 81 no estado do Paraná obtiveram altura máxima de plantas de 43,6 cm.

Na análise estatística dos dados, verificou-se que não ocorreu diferença estatisticamente significativa, através da análise da variância (Anexo IX). A Figura 16 mostra a altura de plantas (cm) média dos quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

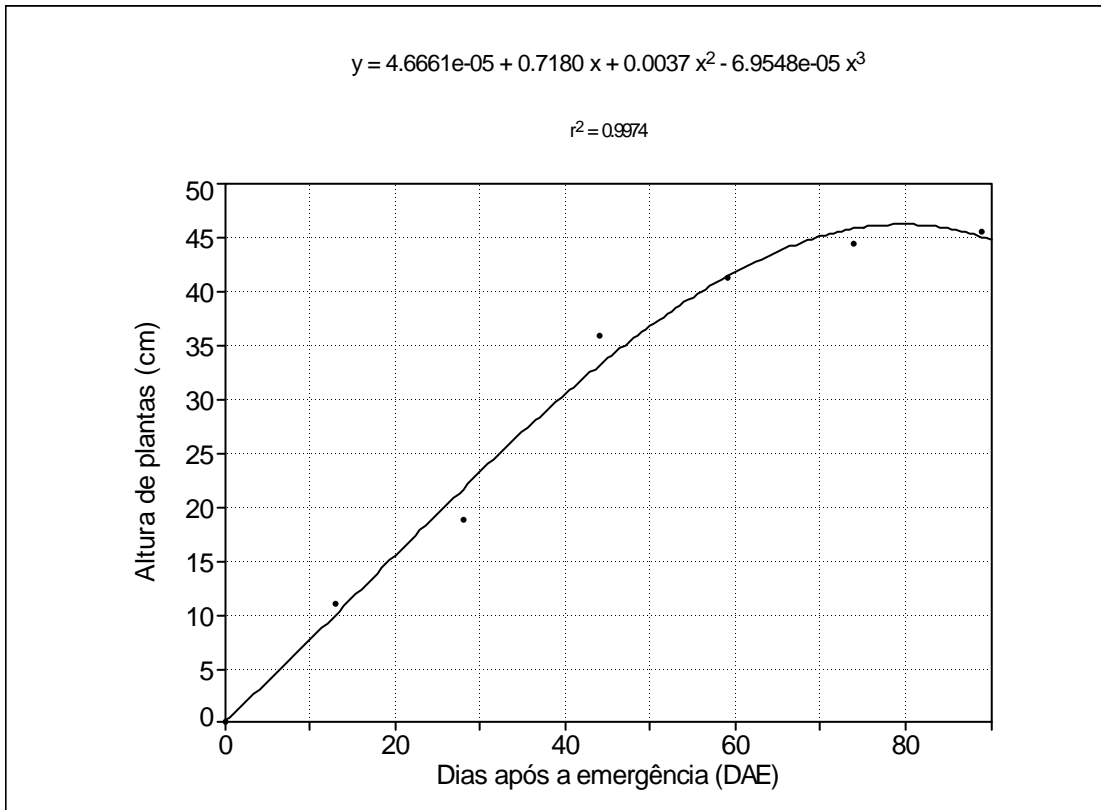


Figura 16 - Altura de plantas (cm) média de quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

Pode-se observar na Figura 16, que a altura de plantas apresentou um crescimento máximo até os 74 DAE, coincidindo com o período enchimento de legumes (Anexo XXX), posterior a esse período a altura apresentou um crescimento mais lento até os 84 DAE, com tendência a estabilização. Rubin et al. (2003) encontraram crescimento crescente da altura de plantas de feijão irrigado próximo aos 60 DAE, sendo que após esse período o crescimento foi estável e lento.

A Figura 17 mostra a altura de plantas (cm) média dos quatro tratamentos em função da soma térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do feijão.

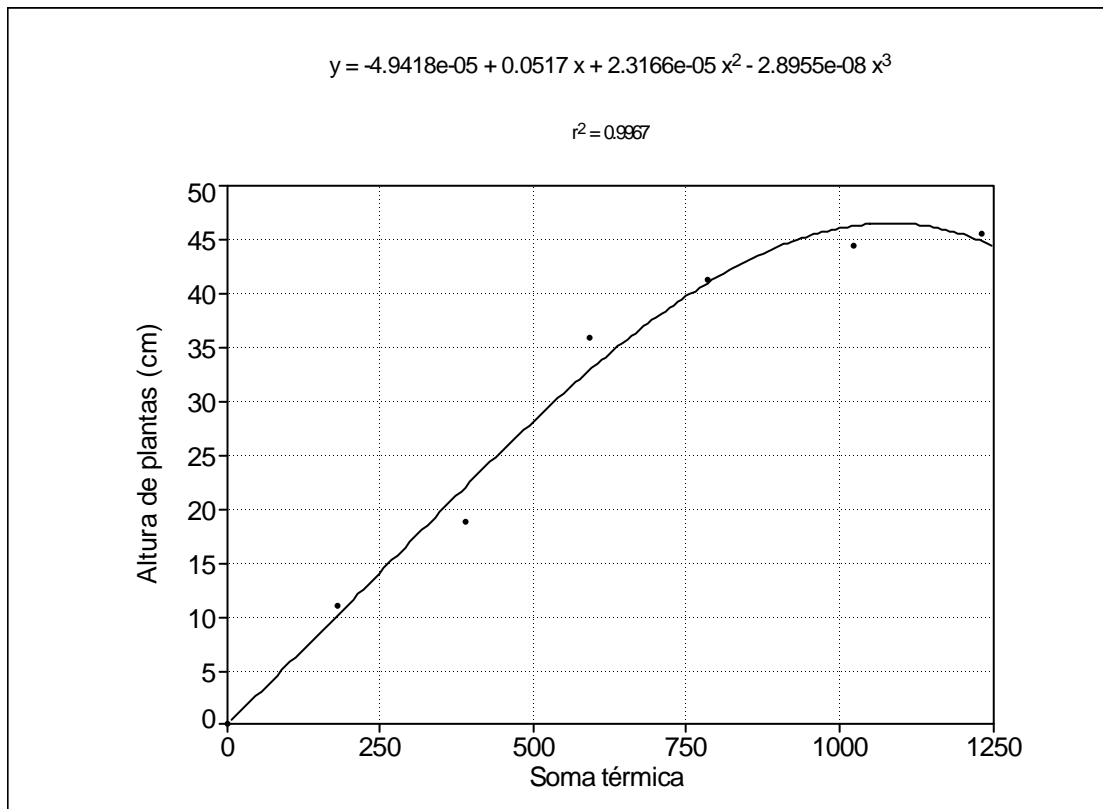


Figura 17 - Altura de plantas (cm) média de quatro tratamentos relacionada com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão.

Através da Figura 17 observa-se que a altura de plantas apresentou um crescimento crescente, próximo aos 1000°C.dia acumulados, após esse período o crescimento apresentou tendência a estabilização quando atingiu 1250°C.dia acumulados, quando já estava em fase de maturação fisiológica. Resultado similar foi mencionado por Brunini (1998), com valor de 1100 °C.dia acumulados até atingir a maturação fisiológica.

A Tabela 11 apresenta os resultados médios das alturas de plantas de milho no decorrer de seu ciclo vital de desenvolvimento.

Tabela 11 – Valores médios de altura de plantas (cm) da cultura do milho submetidas a quatro estratégias de irrigação durante seu ciclo vital de desenvolvimento.

DAE	TRAT 1	TRAT 2	TRAT 3	TRAT 4	Média	D.P.
13	15,35	16,48	16,70	14,23	15,69	1,14
28	59,85	58,60	62,25	58,75	59,86	1,69
44	108,95	116,70	116,60	116,51	114,69	3,83
59	184,80	202,50	189,60	192,36	192,32	7,47
74	235,35	246,95	245,33	244,26	242,97	5,20
89	238,70	249,30	252,17	247,38	246,89	5,80
103	242,40	253,10	255,38	248,89	249,94	5,70
116	244,45	254,20	257,87	250,94	251,87	5,70
131	246,10	257,20	260,32	252,61	254,06	6,18

DAE = dias após a emergência

TRAT 1 = estratégia de irrigação de 60% da ETo

TRAT 2 = estratégia de irrigação de 80% da ETo

TRAT 3 = estratégia de irrigação de 100% da ETo

TRAT 4 = estratégia de irrigação de 120% da ETo

D.P. = Desvio Padrão

O tratamento 3 apresentou a maior altura, com 260,32 cm aos 131 DAE, neste período a menor altura verificada foi no tratamento 1, com 246,10 cm.

A altura máxima (260,32 cm) foi superior 18,32% da altura padrão da cultivar (220 cm).

Valores semelhantes foram obtidos por Bernardon (2005), que encontrou altura máxima de 266,50 cm para a cultivar P 32R21 sob condições de irrigação aos 142 DAE.

A Figura 18 pode-se observar a altura das plantas de milho.



Figura 18: Altura de plantas de milho. Santiago, RS, 2006.

Na análise estatística realizada não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos testados (Anexo X) sendo assim fez-se a média dos quatro tratamentos para representar seu comportamento durante o ciclo vital da cultura do milho, como mostra a Figura 19.

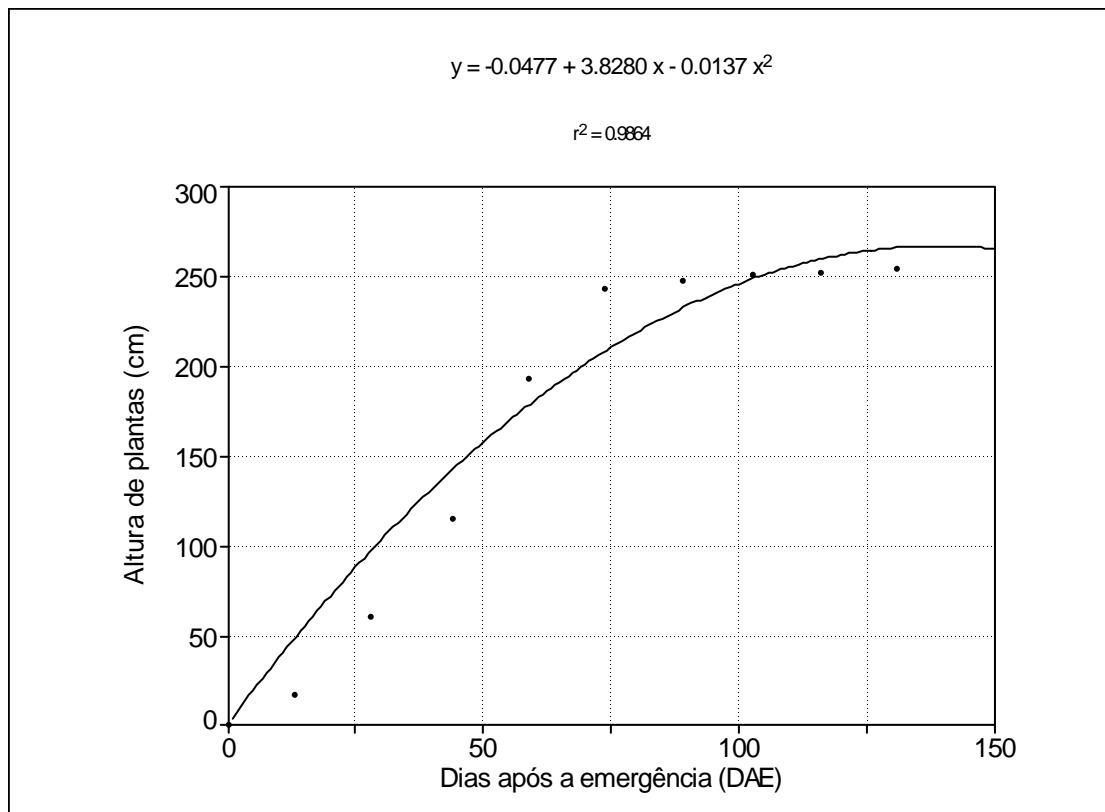


Figura 19 - Altura de plantas (cm) média para quatro tratamentos durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.

Através da Figura 19 observa-se que a altura de plantas apresentou um crescimento mais acentuado até 74 DAE, aproximadamente, o que corresponde ao estágio R1 (Anexo XXXII), após esse período a altura continuou crescendo, mas com tendência de estabilização.

Guissem et al. (2001) encontraram resultados similares com um crescimento crescente da altura de plantas de milho até os 70 DAE para cultivares BR 206 e XL 212 com crescimento lento após esse período.

Ainda Carlesso et al. (2000) em trabalho com manejo de irrigação em milho obtiveram estabilização na altura de plantas próximo aos 60 DAE.

A Figura 20 mostra a altura de plantas (cm) média dos quatro tratamentos em função da soma térmica durante o ciclo vital de desenvolvimento da cultura do milho.

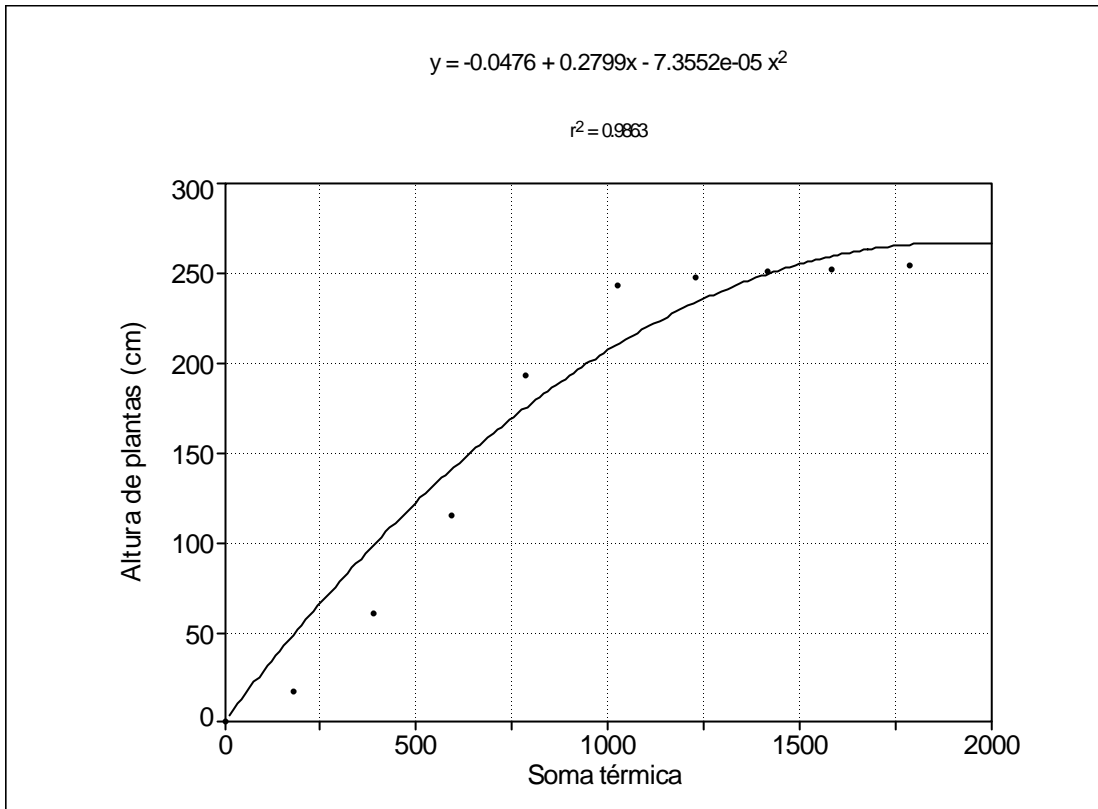


Figura 20 - Altura de plantas (cm) média para o quatro tratamentos relacionada com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

Através da Figura 20 observa-se que a altura de plantas apresentou um crescimento crescente, próximo aos 1000°C.dia acumulados, até atingir o estágio R1, após esse período ocorreu uma tendência de estabilização verificados em 1250°C.dia acumulados, aproximadamente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Guinscem et al. (2001) que verificaram um crescimento da altura de plantas até os 1000°C.dia acumulados, aproximadamente para as cultivares BR 206 e XL 212. Estes autores relataram que estas cultivares necessitam de 912,23 e 984,15 °C.dia acumulados para atingirem o estágio R1.

4.4 Componentes de produção, matéria seca total, índice de colheita e produtividade

4.4.1 Cultura do feijão

A Tabela 12 apresenta os valores médios de número de plantas.m⁻² (NPL), número de vagens.planta⁻¹ (NVP), número de grãos.vagem⁻¹ (NGR) e massa seca do grão (PMG) para a cultura do feijão aos 101 DAE com a aplicação da análise da variância (Anexos XI, XII, XIII e XIV) e o teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Tabela 12 – Valores médios de número de plantas.m⁻² (NPL), número de vagens.planta⁻¹ (NVP), número de grãos.vagem⁻¹ (NGR) e massa seca do grão (PMG) para a cultura do feijão aos 101 DAE.

EI	NPL ¹	NVG ²	NGR ³	PMG ⁴
0%	17,00 a*	8,98 a	4,70 c	0,20 b
60%	18,25 a	9,28 a	5,18 abc	0,21 ab
80%	17,00 a	12,54 a	5,21 ab	0,21 ab
100%	17,50 a	11,00 a	5,43 a	0,23 a
120%	18,50 a	10,44 a	5,30 abc	0,21 b
Média	17,85	10,45	5,16	0,21
D.P⁵	0,78	1,43	0,28	0,01

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferenciam pelo teste de Tuckey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

EI = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

¹NPL= Número de Plantas.m⁻²

²NVG = Número de Vagens.Planta⁻¹ (g)

³NGR = Número de Grãos.Vagem⁻¹ (g)

⁴PMG = Massa Seca Média do Grão (g)

⁵D.P. = Desvio Padrão

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12, verificou-se que o número de vagens.planta⁻¹ apresentou uma média de 10,45 com o valor máximo de 12,54 para o tratamento 2 e mínimo de 8,98 para o tratamento 0, não apresentando diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. A média obtida está de acordo com a média que a cultivar FT Nobre apresenta, que é de 10 vagens.planta⁻¹, desta forma o tratamento 2 foi superior 25,4% a média da cultivar.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silveira et al. (2006), que encontraram média máxima de 10,8 vagens.planta⁻¹ em experimento com feijoeiro irrigado cultivar Pérola, sob diferentes sistemas de preparo de solo e rotação de culturas. Sendo que Rubin (2003) em trabalho com feijão irrigado cultivar FT Nobre verificou uma média de 12,16 vagens.planta⁻¹. Os resultados também conferem com os dados obtidos por Rezende et al. (2002) e Jadoski et al. (2000).

Quanto ao número de grãos.vagem⁻¹, a média obtida foi de 5,16 e peso médio do grão de 0,21 g, sendo superior 0,5% ao peso padrão médio do grão desta cultivar que é de 0,20 g. Estes resultados são semelhantes aos de Rezende et al. (2002), sendo que Robaina (1992) em trabalho com feijão, cultivar Carioca obteve para estes parâmetros (número de grãos.vagem⁻¹ e peso médio do grão) médias de 4,40 g e 0,20 g, respectivamente. Os resultados diferenciam-se pouco dos dados obtidos provavelmente devido a diferença da cultivar utilizada entre os trabalhos.

A Tabela 13 apresenta os valores médios de matéria seca e índice de colheita para cada estratégia de irrigação aos 101 DAE com a aplicação da análise da variância (Anexos, XV, XVI, XVII e XVIII) e o teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Tabela 13 – Valores médios de massa seca dos grãos.planta⁻¹ (PPGRAO), massa seca de haste e folhas.planta⁻¹ (PPHFL), massa seca das vagens.planta⁻¹ (PPVG), matéria seca total (PPTOTAL) e índice de colheita (IC) em cada estratégia de irrigação para a cultura do feijão aos 101 DAE.

EI	PPGRÃO ¹	PPHFL ²	PPVG ³	PPTOTAL ⁴	IC ⁵
0%	9,84 a*	8,43 b	1,58 ab	20,12 c	0,49
60%	12,75 a	9,27 b	1,72 a	23,75 bc	0,54
80%	14,08 a	15,42 a	1,29 c	30,58 a	0,46
100%	14,59 a	10,51 b	1,46 bc	26,42 ab	0,55
120%	13,15 a	8,58 b	1,46 bc	23,33 bc	0,56
Média	12,88	10,44	1,50	24,84	0,52
D.P.⁶	1,85	2,90	0,16	3,91	0,04

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferenciam pelo teste de Tuckey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

EI = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

¹PPGRÃO = Massa Seca dos Grãos.Planta⁻¹ (g)

²PPHFL = Massa Seca de Haste e Folhas.Planta⁻¹ (g)

³PPVG = Massa Seca das Vagens.Planta⁻¹ (g)

⁴PPTOTAL = Matéria Seca Total da Planta (g)

⁵IC = Relação entre a Massa Seca dos Grãos e a Massa Seca Total da Planta

⁷D.P. = Desvio Padrão

O tratamento 3 atingiu a maior massa seca de grãos.planta⁻¹ com 14,59 g. A massa seca de haste e folhas foi mais elevada para o tratamento 2 com 15,42 g e atingiu a maior matéria seca total de 30,58 g.

Este resultado de matéria seca total obtido para o tratamento 2, coincide com o tratamento com o maior IAF. Tanaka (1964) cita, que a produção de matéria seca aumenta proporcionalmente com o aumento do IAF até atingir determinado valor.

O índice de colheita apresentou uma média de 0,52. De acordo com Snyder & Carlson (1984) o índice de colheita do feijoeiro varia de 0,39 a 0,58, dependendo da cultivar plantada. Santi et al. (2006) verificaram índices de colheita de 0,41 e 0,46 para a cultivar TPS Nobre e Pérola, respectivamente.

O maior valor de IC encontrado foi no tratamento 4, coincidindo com a menor massa seca total obtida dos tratamentos irrigados.

A Tabela 14 apresenta o número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura de feijão para quatro tratamentos de irrigação.

Tabela 14 – Valores de número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura do feijão para quatro tratamentos de irrigação.

El	Nº de irrigações	Lâmina média aplicada.irrigação ⁻¹ (mm)	Irrigação Total (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Total de água aplicado (mm)
0%	0	0	0	479	479,0
60%	5	9,3	46,4	479	525,4
80%	5	11,0	55,2	479	534,2
100%	5	12,8	64,0	479	543,0
120%	5	14,6	73,0	479	552,0
Média	5	11,9	47,7	479	526,72

El = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

Através da Tabela 14 pode-se observar que foram realizadas cinco irrigações em cada tratamento, a lâmina média aplicada foi de 11,9 mm e a irrigação total

média foi de 47,7 mm. A precipitação pluvial durante o ciclo vital da cultura do feijão foi de 479 mm com um total de água aplicado médio, ou seja, irrigação e precipitação pluviométrica de 526,7 mm.

A Tabela 15 apresenta a produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de matéria seca, produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) acompanhados da eficiência de uso da água (EUA) em cada estratégia de irrigação para a cultura do feijão.

Tabela 15 – Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de matéria seca e grãos e eficiência de uso da água (EUA) em cada estratégia de irrigação para a cultura do feijão.

EI	Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		EUA ¹
	Matéria Seca	Grãos	
0%	3420,40	1603,03	0,71
60%	4334,37	2107,21	0,82
80%	5198,60	2669,58	0,97
100%	4623,50	2667,65	0,85
120%	4316,05	2397,10	0,78
Média	4378,58	2319,40	0,84

EI = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

$${}^1\text{EUA} = \frac{\text{Matéria seca } (\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1})}{\text{Total de água aplicado } (\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1})}$$

Através da Tabela 15 observa-se que a menor produção de grãos verificada foi de 1.603,03 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que corresponde ao tratamento 0, sem irrigação, somente com a precipitação pluviométrica. A maior produção de grãos foi de 2.669,58 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que corresponde ao tratamento 2 onde foi aplicado 55,20 mm de irrigação suplementar, tendo um total de 534,20 mm de água com a precipitação mais a irrigação. Os resultados de matéria seca seguem a mesma tendência.

O tratamento 2 corresponde também ao maior IAF conforme mostrado na Tabela 07, ao maior número de vagens.planta⁻¹ conforme Tabela 12 e a maior produção de matéria seca total de acordo com a Tabela 13. Para Stone & Pereira (1994) o IAF e o rendimento de grãos têm uma relação positiva, sendo que um elevado desenvolvimento do dossel vegetativo das plantas é condição intrínseca a ser considerada, quando se busca atingir elevado desenvolvimento de grãos no

feijoeiro. Ainda Tanaka (1964) cita que o aumento de IAF devido a maior produção de matéria seca leva a uma maior produção de grãos.

Resultados semelhantes de produtividade foram obtidos por Filho & Silva (2000) testando diferentes doses de adubação e calagem em feijoeiro irrigado, onde obtiveram produtividade máxima de 2.616 kg.ha^{-1} . Pode-se citar também Silva & Silveira (2000) que verificaram rendimento máximo de 3.103 kg.ha^{-1} com feijoeiro irrigado e adubação nitrogenada de cobertura, sendo que Jadoski et al. (2003) e Souza et al (2004) também obtiveram valores similares.

A média de todos os tratamentos de $2.319,40 \text{ kg.ha}^{-1}$ está acima da média nacional que é de 806 kg.ha^{-1} , da média do estado do Rio Grande do Sul de 691 kg.ha^{-1} e da média do município de Santiago de 891 kg.ha^{-1} para o ano agrícola de 2005 (IBGE, 2006).

A eficiência de uso da água (EUA) apresentou uma média de $0,84 \text{ kg.m}^{-3}$, sendo que a maior EUA foi obtida no tratamento 2, com valor de $0,97 \text{ kg.m}^{-3}$, coincidindo com a máxima produção. A menor EUA foi obtida no tratamento 0, com $0,71 \text{ kg.m}^{-3}$.

Calvache et al. (1997) em trabalho com diferentes regimes de irrigação cultura do feijão cultivar INIAP404, tais como, irrigação ótima durante todo o ciclo, irrigação deficiente durante todo o ciclo, irrigação tradicional, estresse no período vegetativo, estresse na floração e formação de vagens, estresse no enchimento de vagens e estresse na maturidade, verificaram para EUA os valores de 0,60; 0,64; 0,71; 0,75; 0,60; 0,46 e 0,61, respectivamente. Observa-se que o tratamento com irrigação ótima durante todo o ciclo da cultura não equivaleu ao valor mais elevado de EUA. Sendo que a maior EUA (0,75) foi o tratamento com estresse no período vegetativo, isto indica que as lâminas de irrigação visando à máxima produção de grãos acima desse nível somente devem ser recomendadas economicamente quando a água não é fator limitante à produção agrícola ou apresentar baixo custo.

Já Andrade Júnior et al. (2002) em trabalho com feijão Caupi obtiveram valores inferiores de EUA os quais variaram de 0,62 a $0,66 \text{ kg.m}^{-3}$ para a cultivar BR17 e 0,41 a $0,60 \text{ kg.m}^{-3}$ para a cultivar BR 12.

De acordo com Doorenbos & Kassan (1979) a EUA pelas culturas agrícolas depende, sobretudo, das condições físicas do solo, das condições atmosféricas, do estado nutricional das plantas, de fatores fisiológicos, da natureza genética e do seu estágio de desenvolvimento.

A Figura 21 mostra a produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação ao total de água aplicado (mm) para a cultura do feijão.

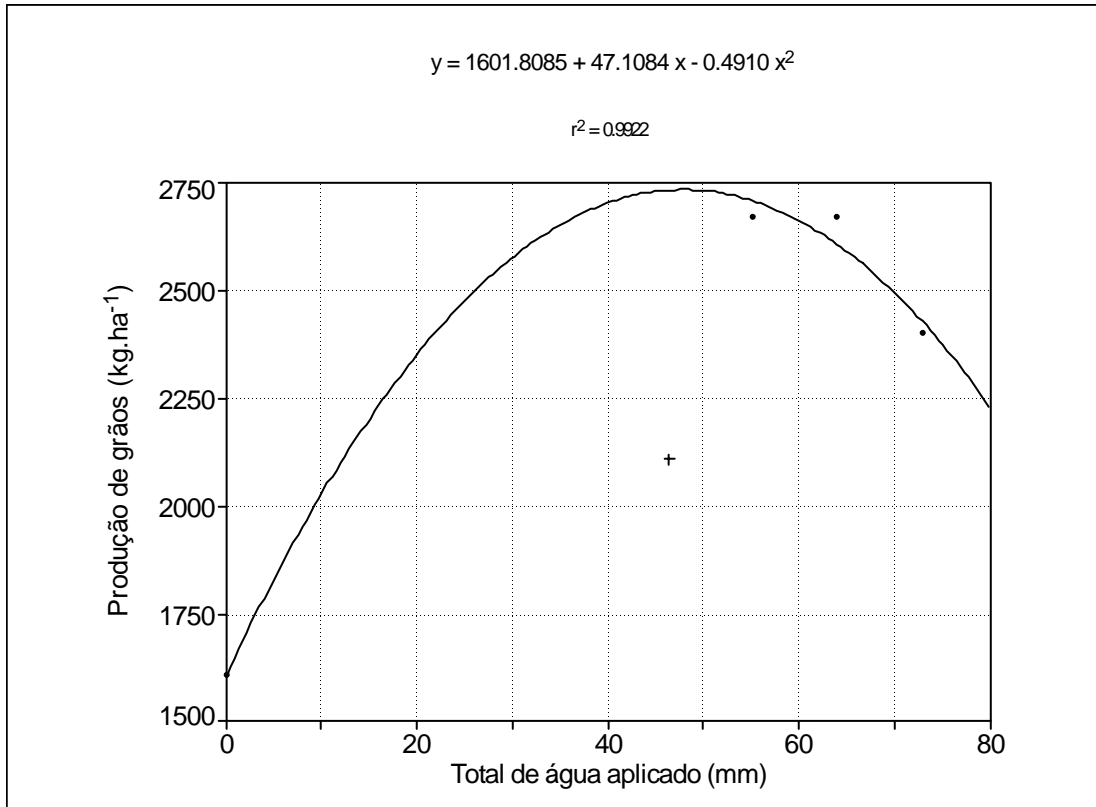


Figura 21 - Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com relação ao total de água aplicado (mm) para a cultura do feijão.

De acordo com Figura 21 observa-se que o acréscimo de produção não é linear com o incremento de lâmina de água aplicada. Segundo o experimento realizado a maior produção foi com lâmina de 80% da ETo, sendo que a partir desta lâmina verificou-se menores produções, seguindo a mesma tendência a eficiência de uso da água.

Este mesmo comportamento foi encontrado por Chagas et al. (1994) e Andrade Júnior et al. (2002) que verificaram maior eficiência de uso de água para o feijoeiro com a aplicação de baixas lâminas de irrigação.

Este fato comprova que o excesso de água no solo, da mesma forma que o déficit, também prejudica a produção de grãos. Menezes & Pinto (1967), citam que para a cultura do feijão, se ocorrer no período de floração/enchimento de grãos, as perdas do rendimento são maiores.

4.4.2 Cultura Milho

A Tabela 16 apresenta os valores médios de número de plantas.m² (NPL), número espigas.planta⁻¹ (NE), número de grãos.espiga⁻¹ (NGR) e massa seca do grão (PMG) para a cultura do milho aos 144 DAE em cada estratégia de irrigação, com a aplicação da análise da variância (Anexos XIX, XX,XXI e XXII) e o teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Tabela 16 – Valores médios de número de plantas.m² (NPL), número espigas.planta⁻¹ (NE), número de grãos.espiga⁻¹ (NGR) e massa seca do grão (PMG) para a cultura do milho aos 144 DAE.

EI	NPL ¹	NE ²	NGR ³	PMG ⁴
0%	8,50 a*	1,00 a	340,60 a	0,28 a
60%	9,00 a	1,00 a	353,09 a	0,30 a
80%	9,00 a	1,00 a	393,35 a	0,31 a
100%	9,00 a	1,00 a	411,52 a	0,31 a
120%	8,50 a	1,00 a	376,65 a	0,30 a
Média	8.80	1,00	375,04	0,30
D.P⁵	0.27	0,00	28,88	0,01

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferenciam pelo teste de Tuckey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

EI = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

¹NPL = Número de Plantas.m²

²NE =Número de Espigas-Planta⁻¹

³NGR = Número de Grãos.Espiga⁻¹ (g)

⁴PMG = Massa Seca Média do Grão (g)

⁵D.P. = Desvio Padrão

Observa-se que em nenhum componente de produção ocorreu diferença estatisticamente significativa.

O maior número de grãos.espiga⁻¹ foi obtido no tratamento 3 com uma média de 411,52 grãos.espiga⁻¹ e o menor número foi no tratamento 0, com média de 340,60 grãos.espiga⁻¹.

A massa seca do grão foi máxima nos tratamentos 2 e 3 com 0,31 g e mínima no tratamento 0 com 0,28 g. Estes valores estão abaixo do peso médio padrão do grão da cultivar que é de 0,37 g.

Resultados similares foram obtidos por Silva et al. (1999) em experimento com densidade de plantas de 50.000, 70.000 e 90.000 plantas.ha⁻¹ de milho irrigado

encontrando para o componente número de grãos.espiga⁻¹, médias de 428, 379 e 315 e peso médio do grão de 0,33 g; 0,32 g e 0,29 g, respectivamente, para o híbrido Pioneer 3063 semeado em agosto; média de grãos.espiga⁻¹ de 449, 410 e 361 e peso médio do grãos de 0,34 g; 0,33 g e 0,31 g para o híbrido Pioneer 3207 semeado em outubro e média de grãos.espiga⁻¹ de 433, 421 e 320 e peso médio do grão de 0,27 g; 0,25 g e 0,27 g para o híbrido Cargill 901 semeado em dezembro.

Pode-se citar também que conferem com os resultados de Bernardon (2005), Almeida et al. (2003) e Zimmermann (2001), com algumas diferenças, que podem ser atribuídas a fatores climáticos, cultivar e espaçamento utilizados.

A Tabela 17 apresenta os valores médios de matéria seca e índice de colheita (IC) para cada estratégia de irrigação aos 144 DAE, com a aplicação da análise da variância (Anexos XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII e XXIX) e o teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Tabela 17 – Valores médios da massa seca dos grãos.planta⁻¹ (PPGRAO), massa seca do colmo.planta⁻¹ (PPC), massa seca das folhas.planta⁻¹ (PPF), massa seca do pendão.planta⁻¹ (PPP), massa seca da palha.planta⁻¹ (PPPA), massa seca do sabugo.planta⁻¹, matéria seca total (PPTOTAL) e índice de colheita (IC) para cada estratégia de irrigação aos 144 DAE.

EI	PPGRÃO ¹	PPC ²	PPF ³	PPP ⁴	PPPA ⁵	PPS ⁶	PPTOTAL ⁷	IC ⁸
0%	120,49 a	29,02 abcd	27,72 a	1,12 a	15,09 a	23,52 a	216,96 a	0,55
60%	120,62 a	38,16 abcd	32,00 a	1,63 a	21,53 a	21,54 a	235,20 a	0,53
80%	127,82 a	42,64 a	32,04 a	1,36 a	20,86 a	23,68 a	248,40 a	0,53
100%	134,61 a	40,39 ab	33,81 a	1,53 a	17,22 a	27,59 a	255,15 a	0,53
120%	122,91 a	39,91 abc	33,69 a	1,42 a	15,44 a	23,96 a	237,33 a	0,54
Média	125,29	38,03	31,85	1,41	18,03	24,06	238,61 a	0,54
D.P.⁹	5,99	5,28	2,47	0,19	3,01	2,19	14,59 a	0,01

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferenciam pelo teste de Tuckey, em nível de 5% de probabilidade de erro.

¹PPGRÃO = Massa Seca dos Grãos.Planta⁻¹ (g)

²PPC = Massa Seca do Colmo.Planta⁻¹(g)

³PPF = Massa Seca das Folhas.Planta⁻¹ (g)

⁴PPP = Massa Seca do Pendão.Planta⁻¹ (g)

⁵PPPA = Massa Seca da Palha.Planta⁻¹ (g)

⁶PPS = Massa Seca do Sabugo.Planta⁻¹ (g)

⁷PPTOTAL = Matéria Seca Total.⁻¹Planta (g)

⁸IC = Relação entre a Massa Seca dos Grãos e a Massa Seca Total da Planta

⁹D.P. = Desvio Padrão

A massa seca dos grãos.planta⁻¹, massa seca das folhas.planta⁻¹, massa seca do sabugo.planta⁻¹ e massa seca total apresentaram valores máximos para o

tratamento 3, com médias de 134,61 g; 33,81 g; 27,59 g e 255,15g, respectivamente.

A massa seca do colmo.planta⁻¹ foi o único componente que apresentou diferença estatisticamente significativa, com média mais elevada de 42,64 g para o tratamento 2. Para massa seca do pendão.planta⁻¹ o valor máximo obtido foi de 1,63 g e para massa seca da palha.planta⁻¹ a maior média observada foi para o tratamento 1, com 21,54 g.

Os resultados obtidos acima apresentam algumas semelhanças com dados obtidos por Bernardon (2005) e Galbiatti et al. (2004).

O IC médio encontrado foi 0,53. Para Fancelli (2000) o IC máximo para a cultura do milho encontra-se próximo de 0,52, em regiões de clima temperado e/ou elevada latitude.

Ferreira et al. (2000) obtiveram IC próximo a 0,50 para a cultivar BR 2121 em Minas Gerais, estes autores verificaram que um déficit hídrico severo provoca decréscimo no IC, podendo chegar a zero; Moura et al. (2006) na região Pré-Amazônia obtiveram IC de 54,6; Almeida et al. (2003) encontraram IC de 50,6 para a cultivar C 909; 47,8 para a cultivar AS 3601; 49,3 para a cultivar D 500; 46,8 para a cultivar AS 32 e 44,3 para a cultivar AS 3466 no município de Lages, SC.

Os maiores valores de IC foram encontrados nos tratamentos 0 e 4 (0,55 e 0,54), coincidindo com as menores produções de matéria seca total.

A Tabela 18 apresenta o número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura de milho para quatro tratamentos de irrigação.

Tabela 18 – Valores de número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo vital da cultura do milho para quatro tratamentos de irrigação.

El	Nº de irrigações	Lâmina média aplicada.irrigação ⁻¹ (mm)	Irrigação Total (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Total de água aplicado (mm)
0%	0	0	0	599	599,0
60%	5	9,3	46,4	599	645,4
80%	5	11,0	55,2	599	654,2
100%	5	12,8	64,0	599	663,0
120%	5	14,6	73,0	599	672,0
Média	5	11,9	47,7	599	638,7

El = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

Através da Tabela 18 pode-se observar que foram realizadas cinco irrigações em cada tratamento, a lâmina média aplicada foi de 11,9 mm e a irrigação total média foi de 47,7 mm. A precipitação pluvial durante o ciclo vital da cultura do milho foi de 599 mm com um total de água aplicado médio, ou seja, irrigação e precipitação pluviométrica de 638,7 mm.

A Tabela 19 apresenta a produção (kg.ha⁻¹) de matéria seca e grãos acompanhados da eficiência de uso da água (EUA) em cada estratégia de irrigação para a cultura do milho.

Tabela 19 – Produção (kg.ha⁻¹) de matéria seca e grãos e eficiência de uso da água (EUA) em cada estratégia de irrigação para a cultura do milho.

El	Produção (kg.ha ⁻¹)		EUA ¹
	Matéria Seca	Grãos	
0%	18441,60	9225,52	3,07
60%	21168,00	10849,73	3,27
80%	22356,00	12207,37	3,41
100%	22963,50	12847,44	3,46
120%	20173,05	10850,72	3,00
Média	21020,43	11196,16	3,29

El = Estratégia de Irrigação

0% = Tratamento 0

60% = Tratamento 1

80% = Tratamento 2

100% = Tratamento 3

120% = Tratamento 4

$${}^1\text{EUA} = \frac{\text{Matéria seca (kg.ha}^{-1}\text{)}}{\text{Total de água aplicado (m}^3\text{.ha}^{-1}\text{)}}$$

Através dos dados apresentados na Tabela 15, observa-se que a menor produção de grãos verificada foi de 9.225,52 kg.ha⁻¹, que corresponde ao tratamento 0, sem irrigação, somente com a precipitação pluviométrica. A maior produção foi de 12.847,44 kg.ha⁻¹, que corresponde ao tratamento 3 onde foi aplicado 64,0 mm de irrigação, tendo um total de 663 mm de água com a precipitação mais a irrigação.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bergamaschi et al. (2006) em trabalho com milho irrigado no município de Eldorado do Sul, RS, onde obtiveram na safra 1993/1994 para o híbrido Pioneer 3230 produtividades máximas de 11.759,00 kg.ha⁻¹ e na safra 1998/1999 12.602 kg.ha⁻¹ para o híbrido Pioneer 3063 com semeaduras realizadas no final do mês de outubro. Almeida et al. (2000) testando diferentes populações de plantas a cultivar Cargil, obtiveram produtividade de 10.500 kg.ha⁻¹ no município de Lages, SC.

A média de todos os tratamentos de 11.196,16 kg.ha⁻¹ está acima da média nacional que é de 3.040,00 kg.ha⁻¹, da média do estado do Rio Grande do Sul de 1.538,00 kg.ha⁻¹ e da média do município de Santiago de 1.586,00 kg.ha⁻¹ para o ano agrícola de 2005 (IBGE, 2006).

A eficiência de uso da água (EUA) apresentou uma média de 3,29, os maiores valores obtidos de EUA para a cultura, foram nos tratamentos que obtiveram maior produção de grãos, com valores de 3,41 e 3,46 para os tratamentos 2 e 3, respectivamente. O menor valor foi obtido para o tratamento 4 de 3,00, sendo este o tratamento com maior volume de água aplicado. Observa-se que a máxima EUA foi obtida na estratégia de irrigação de 100%, que correspondeu a maior produção de grãos. Isto indica que as lâminas de irrigação visando à máxima produção de grãos acima desse nível além de acarretar em menor produção, resultam em maior consumo de água, custos com equipamento e manutenção do mesmo.

Peiter (1998) verificou que as melhores estratégias de irrigação da cultura do milho cultivar Pioneer 3069 conduziram a valores de máxima eficiência de uso da água. Os resultados médios encontrados de EUA variaram 1,80 kg.m⁻³ (para quinze melhores estratégias de irrigação) e 0,85 kg.m⁻³ (para as quinze piores estratégias de irrigação). De acordo com a autora estes resultados destacam a importância da aplicação de água no momento adequado, pois a relação entre a produção de grãos e a água evapotranspirada pode ser duplicada pelo uso de estratégias ótimas de rega.

Para Paz et al. (2000) quanto maior a EUA, menores são os custos com bombeamento, condução e distribuição da água.

A Figura 22 mostra a produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação ao total de água aplicado (mm) para a cultura do milho.

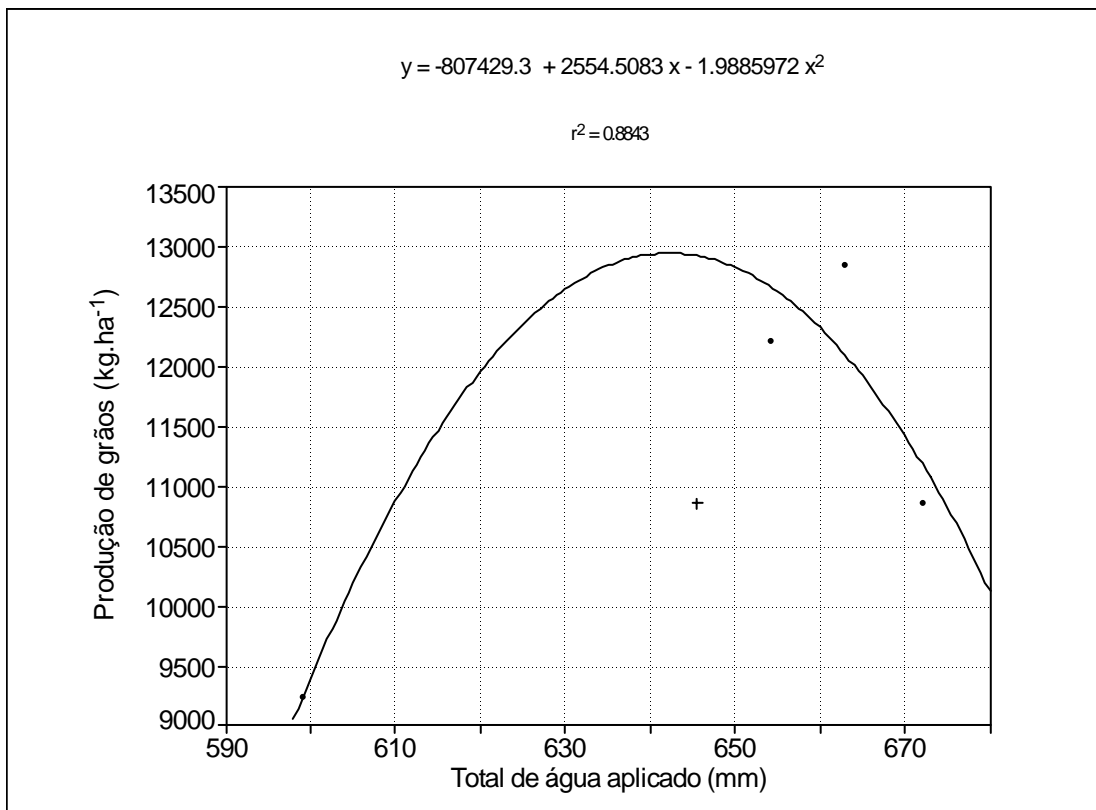


Figura 22: Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com relação ao total de água aplicado (mm) para a cultura do milho.

Conforme a Figura 22 verifica-se um aumento na produção ocorrido com o aumento da lâmina de água aplicado, isto ocorreu até um total 663 mm, posterior a esta lâmina a produção verificada foi menor, ou seja, quando o total de água aplicado foi de 672 mm.

Verifica-se da mesma forma que a cultura do feijão, que o acréscimo de produção não é linear com o incremento de lâmina de água aplicada. Segundo o experimento realizado a maior produção foi com lâmina de 100% do valor da evapotranspiração de referência, sendo que a partir desta lâmina verificou-se uma menor produção.

Resultados semelhantes foram obtidos por Carlesso et al. (2000) testando lâminas de 30, 45, 60 e 75 mm para a cultura do milho, concluíram que a utilização de lâminas de irrigação maiores que 30 mm ocasiona redução no rendimento de grãos e acúmulo de massa seca da parte aérea das plantas.

5 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia utilizada para a realização deste trabalho e nas condições em que o experimento foi conduzido pode-se concluir que:

a) As culturas de feijão e milho submetidas à estratégia de irrigação de 80% apresentam maior expansão foliar em comparação às plantas submetidas a estratégias de 60%, 100% e 120% da evapotranspiração obtida em Mini-Tanque evaporimétrico;

b) A determinação do índice de área foliar (IAF) da cultura do feijão pode ser determinada a partir de medidas de superfície coberta ao longo do tempo;

d) A maior produção de grãos para a cultura do feijão foi obtida na estratégia de irrigação de 80%, que apresentou os valores mais elevados dos componentes número de vagens.planta⁻¹ e massa seca total;

Para a cultura do milho, a maior produção de grãos verificada foi na estratégia de irrigação de 100%, que obteve os valores mais elevados dos componentes número de espigas.planta⁻¹, número de grãos.espiga⁻¹, peso médio do grão e massa seca total;

e) A maior eficiência do uso da água para a cultura do feijão foi obtida na estratégia de irrigação de 80%, já para a cultura do milho obteve-se na estratégia de irrigação de 100%;

f) O uso da irrigação suplementar nas culturas de feijão e milho aumenta a produtividade de grãos na região fronteira-oeste do Estado do Rio Grande do Sul, para as condições, características do período e fatores considerados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGROMEN. Sementes – AGN 2012. Disponível em < <http://www.agromen.com.br> >. Acesso em: 17 de novembro de 2006.

ALBUQUERQUE, P.E.P.; RESENDE, M.; SANTOS, N.C. Efeito do manejo da irrigação por aspersão sobre a emergência de milho em diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.953-961, 1999.

ALMEIDA, M.L. et al. Incremento na densidade de plantas: Uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Revista Ciência Rural**, v.30, n. 1, p.23-29, 2000.

ALMEIDA, M.L. et al. Crescimento inicial de milho e sua relação com o rendimento de grãos, **Ciência Rural**, v.3, n.2, p.198-194, 2003.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 101 f Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ALVIM, R.; ALVIM, P.T. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mayz*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em culturas exclusivas e consorciadas. **Turrialba**, v. 19, p.389-393, 1969.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. et al. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v. 36, n. 2, p. 301-305, fev. 2001.

APASSUL - Associação dos Produtores e Comerciantes de Sementes e Mudas do RS. Disponível em: <www.apassul.com.br>. Acesso em 18 de outubro de 2006.

ARAUJO, R.S.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. 786p.

ASSIS, V.S. **Umidade do solo**. Pelotas: UFPEL, [20__?]. Disponível em http://minerva.ufpel.edu.br/~assis/agro/agro_05.doc. Acesso em 15 de dezembro de 2006.

ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em <www.scp.rs.gov.br/ATLAS/atlas> acesso em 20 de outubro de 2006.

BASTOS, E.A. et al. Parâmetros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos, **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.43-50, 2002.

BERCONCI, J.I. et al. Eficiência da Irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v.36, n.7, p.949-956, 2001.

BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BERLATO, M.A. Exigências bioclimáticas e zoneamento agroclimático. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.) **A soja no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1981. p. 175-184.

BENTO, D.A.V. **Mapeamento de QTLs para produção de grãos e seus componentes em uma população de milho tropical**. 2006. 134f Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo. Piraciaba, 2006.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5. Ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

_____. **Manual de Irrigação**. 6. Ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BERNARDON, T. **Componentes de produtividade de grãos de milho (Zea mayz L.), visando obter parâmetros para a agricultura de precisão**. 2005. 95 f Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**, Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária, Recife, 1973 430p. (Boletim Técnico n. 30).

BRUNINI, O. et al. Temperatura-base para alface cultivar “White Voston” em sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v.35, n.19, p.213-219, 1976.

BRUNINI, O. **Elementos Meteorológicos e comportamento vegetal** . Campinas: Instituto Agrônômico, 1998. 46 p. (Boletim Técnico).

CALVACHE, A.M. et al. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão **Scientia Agricola**. v.54 n.3, 1997.

CAMARGO, M.B.P. de; BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A. C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.2, p.115-121, 1987.

CARLESSO R. et al. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. **Engenharia Agrícola**, v.20, n.1, p.15-23, 2000.

CHAGAS, J.M. et al. Efeitos de quantidades de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em quatro sistemas de manejo de solo. **Revista Ceres**, v.41, n.238, p.641-650, 1994.

CHRISTOFIDIS, D. **A água e a crise alimentar**. Disponível em: <http://www.iica.org.br/Aguatab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm>. 1997> 14 p. Acesso em: 04 de janeiro de 2007.

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. 394p.

COSTA, S.V. **Desenvolvimento e calibração de um mini-tanque evaporimétrico**. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CRUZ et al, **Manejo da Cultura do Milho**. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2006. 12p. (Circular Técnica; n.87).

DIAZ, M. E. G. Manejo da cultura do milho. In: SIMPÓSIO CATARINENSE SOBRE A CULTURA DO MILHO, 1., 1991, **Anais...** Florianópolis, Emasc, 1991. p:41-56.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper; 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. **Irrigation and Drainage**, Paper 24.

ELLIS, R.H.; SUMMERFIELD, R.J.; EDMEADES, G.O. et al. Photoperiod, temperature and interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. **Crop Science**, v.32, p.1225-1232, 1992.

EMBRAPA – **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: 2005. 374p.

EMBRAPA – **Origem e História do feijão**. Disponível em: <www.cnpaf.embrapa.br/feijao/historia>. Acesso em 17 de novembro de 2006.

ENGLISH, M.J. Déficit irrigation. I. Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage**. v.116, n.3, p.339-412, 1990.

FANCELLI, A.L. **Feijão irrigado**. 1. ed. Piracicaba, SP: FEALQ- Departamento de Agricultura/ESALQ/USP-FAPESP, 1990. v. 1. 130 p.

FANCELLI, A.L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R. (ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Reimar Carlesso, 2001. p. 59-73.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro: Tecnologia da produção do Feijão Irrigado**. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Agricultura, 1997. p.100-120.

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

FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37, n.6, p.769-773, 2002.

FERNANDES, A.L.T.; SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V. Uso de estações automáticas para controle da irrigação no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...**, Campina Grande: Sociedade Brasileira Agrometeorologia / UFPb, 1995. p. 1-3.

FERNANDES, E.J.; TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Revista Irriga**, v.8, n.2, p.132-141, 2003.

FERRAZ, E.S.B. **Estudo da evapotranspiração através da medida de umidade no solo por moderação de nêutrons**. Piracicaba: CENA/ESALQ, 1972. (Boletim Científico).

FERREIRA, V.M.; MAGALÃES, P.C.; DURÕES, F.O.M. Produtividade de grãos de genótipos de milho (*Zea mays* L.) sob manejo diferenciado de irrigação e adubação. **Ciência Agrotécnica**, v.24, n.3, p.663-670, 2000.

FIORIN, T.T. et al. Relações hídricas e índice de área foliar do milho cultivado em duas épocas de semeadura. In: XIV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Anais...Cuiabá**, 2002. CD ROOM.

FILHO, M.P.B.; SILVA, O.F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.7, p.1317-1324, 2000.

FLARESSO, J.A.; GROSS, C.D.; ALMEIDA, E.D. Cultivares de milho (*Zea mays* L.) e Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) para ensilagem no alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1608-1615, 2000.

FOLEGATTI, M.V.; PAZ, V.P.S.; OLIVEIRA, A.S.O. Rendimento do feijoeiro irrigado submetido a diferentes lâminas de água com irrigação por sulco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.281-285, 1999.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273 p.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G. Modelagem do crescimento do milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria: v. 7, n. 1, p.59-66, 1999.

FRIZZONE, J.A.; OLITTA, A.F.L. Consumo de água e produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Item**. n.29 p.25-29, 1987.

GALBIATTI, J.A. et al. Efeitos de diferentes períodos de irrigação no desenvolvimento, produção e qualidade de sementes na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Engenharia Agrícola**. v.24, n.2, p.301-308, 2004.

GOMES, A.C, **Caracterização climática de Santiago, RS para fins agrícolas**. 2004, 25 f Monografia (Especialização em Ciências Ambientais). Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Santiago, 2004.

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1997.

GOMES, A.A. et al. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.10, p.1927-1937, 2000.

GONDIM, R.S.; AGUIAR, J.V. de; COSTA, R.N.T. Estratégias de manejo de água em Caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n.1, p.14-18, 2000.

GUIMARÃES, C.M. Relações hídricas. In: Araújo, R.S.; Rava, C.A.; Stone, L.F. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, Potafos. 1996. 786p.

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M. & YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1988. p. 157-174.

GUIMARÃES, C.M., ZIMMERMANN, M.J. Deficiência hídrica em feijão. In: REUNIÓN DE TRABAJO SOBRE MEJORAMIENTO DE FRIJOL EN BRASIL CON ENFASIS EN TOLERANCIA A SEQUIA, 1., 1985, **Anais...Cali**, 1985, p. 15-28.

GUISCHEM, J.M. et al. Crescimento e desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays*, L.) em semeadura tardia e sua relação com graus-dia e radiação solar global. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.251-260, 2001.

HAMADA, E.; PINTO, H.S. Avaliação do Desenvolvimento do Trigo Utilizando Medidas Radiométricas em Função de Graus-Dia. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, **Anais...Foz do Iguaçu**, 2001. p.21-26,

HORN, F.L. et al. Avaliação de espaçamentos e populações de plantas de feijão visando à colheita mecanizada direta. **Pesquisa. Agropecuária Brasileira**, Brasília: v.35, n.1, p.41-46, jan. 2000.

IBGE – Agricultura. Disponível em < www.sidra.ibge.gov.br >. Acesso em 03 de novembro de 2006.

JACOMAZZI, A.M., **Programa para rendimento das culturas pela simulação da irrigação por balanço hídrico seqüencial**. 2004, 120 f Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004

JADOSKI, S.O. et al. Manejo da irrigação para maximização do rendimento de grãos do feijoeiro. **Revista Irriga**, v.8, n.1, p.1-9, 2003.

JONES, C.A. **C4 Gasses and Cereals: growth, development and stress response**. New York: Wily, 1985.

JUNQUEIRA, A.M.; ANDRÉ, R.G.B.; PINHEIRO, F.M.A.P. Consumo de água pelo feijoeiro comum, cv. Carioca. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p.51-56, 2004

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2. Ed. Piracicaba, 2000. 509p.

LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **Estudo do uso da água e energia elétrica para irrigação no Brasil**. Disponível em < <http://www.iica.org.uy/p2-5htm>>. Acesso em 08 de dezembro de 2002.

LISBOA, J.A.P.; SCOTEGANA, G.A.; GOMES, D.N. Milho. **Revista Genótipo**, v.2, p.32-35, 1999.

LOOMIS, R.J.; AMTHOR, J.S. Yield potential, plant assimilatory capacity and metabolic efficiencies. **Crop Science**, v.39, n.6, p.1584-1595. 1999.

LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para estimativa da duração do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.7, n.1, p.31-36, 1999.

MAGGI, F. **Irrigação na produção de grãos e silagem de milho e sorgo em sucessão ao arroz de sequeiro**. Dissertação. 2003, 51 f (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2003.

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...**, Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p. 455-458.

MANFRON, P.A. et al. Modelo do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.

MEDEIROS, G.A. et al. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.9, 2000.

MEIRA, F.A. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.40, n.4, p.383-388, 2005

MENEZES, D.M.; PINTO, M.M. Influência do fator hídrico no desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) na baixada Fluminense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 2, p. 383-389, 1967.

MOURA, E.G. et al., Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mayz L.*) submetido a vários intervalos de irrigação, na região Pré-Amazônia. **Revista Irriga**. v.11, n.2, p.169-177, 2006.

MÜLLER, A.G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.13, n.1, p. 65-71, 2005.

OLIVEIRA, F.J. et al. Caracteres agronômicos aplicados na seleção de cultivares de Caupi. **Revista Ciência Agronômica**, Vol. 34, n.1, p.x-y, 2003.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981.

PATERNINI, E., **Melhoramento de produção de milho no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargil, 1978. 650p.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C.. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande: v. 4, n.3, p. 465-473, 2000.

PEITER, M.X. **Estudo do manejo de irrigação via modelo de simulação**. 1998. 183 f Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba : Ed. FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 33p. (Boletim Técnico; 114).

PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAUJO, R.S.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O., **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p 101-137.

KLAR, A.E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação de água. São Paulo: Nobel, 1991.

KLEIN, V.A. Sistema automático de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.

SBRT – SISTEMA BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Agricultura e Pecuária**. Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt2260>. Acesso em: 21 de novembro de 2006.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

_____. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RESENDE, M. & ALBUQUERQUE, P.E.P. **Métodos e estratégias de Manejo de Irrigação**. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2002. 10p. (Circular Técnica; n.19).

RESENDE, M.; COUTO L.; ALBUQUERQUE, P.E.P. Manejo de irrigação. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; COUTO, L. (Org.). **A cultura do milho irrigado**. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, v. 1, p. 265-301.

REZENDE, R. et al. Uniformidade de aplicação de água, variáveis de produção e índice de área foliar da cultivar de feijão lapar 57. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.24, n.5, p.1561-1568, 2002.

REZENDE, R. et al. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.4, p.503-511, 2004.

ROBAINA, A.D. **Estudo experimental e de simulação numérica da aplicação da água na produção das culturas**. 1992. 144 f Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.

RUBIN, R.B. **Produtividade do feijoeiro irrigado influenciado pelo armazenamento de água no solo e métodos de preparo do solo**. 2003 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SÁ, M. de.; RAMALHO, M.A.O.; SOBRINHO, F.S. Comunicação: Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares moderna e antigas de milho. **Ciência e Agrotecnologia**. v.26, n.5, p.1082-1091, 1994.

SANTANA, M.O.; RIBEIRO, A.; SEDIYAMA, G.C. Sistema de geoespacialização da demanda de irrigação suplementar para o Estado de Minas Gerais II: avaliação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.7, n.1, p.64-71, 2003.

SANTI, A.L. et al. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em plantio convencional. **Ciência Rural**. v.36, n.4, p.1079-1085, 2006.

SAKAI, E. **Balanço hídrico e energético na cultura irrigada do feijoeiro em latossolo roxo**. 1989. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE A.C. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.89-96, 2002.

SILVA, C.C.; SILVEIRA, P.M. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus Vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.30,n.1, p.86-96, 2000.

SILVA, A.L. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico: um estudo de caso em uma cultura de cafeeiro (*Coffea Arabica* L.) no Brasil**. 2005 72 f Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP 2005

SILVEIRA, P.M. da 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, 1984.

SILVEIRA, P.M. da, MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.1, p.63-67, 1990.

SILVEIRA, P.M. da et al. Produtividade do feijão irrigado sob diferentes sistemas de preparo do solo e rotação de culturas **Bioscience. Journal**, v.22, n.1, p. 45-52, 2006.

SNYDER, F.W., CARLSON, G.E. Selecting for partitioning of photosynthetic products in crops. **Advances in Agronomy**. v.37, p.47-72, 1984.

SOUSA, V.F. de. **Frequência de aplicação de N e K via água de irrigação por gotejamento no meloeiro (*Cucumis melo* L. cv. Eldorado 300) em solo de textura arenosa** 1993 131 f Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; MUNIZ, J.A. Altura de planta e componentes de rendimento do feijoeiro em função de população de plantas, adubação e calagem. **Ciência Agrotécnica**, v.27, n.6, p.1205-1213, 2003.

SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; ALVES, V.G. Populações de plantas, adubação e calagem para o feijoeiro (cv. Iapar 91) em um Gleissolo de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.3, p.347-352, 2004.

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 d'água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v.29, n.6, p.939-954, 1994.

STICKLER, F.C.; WERDEN, S.; PAULI, A.W. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**, v.53, p.197-188, 1961.

TANAKA, A. Plant characters related to nitrogen response in rice. In: International Rice Research Institute (Los Baños, Filipinas). The mineral nutrition of the rice plant. Baltimore, 1964. p.419-449.

WUTKE, E.B. et al. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 55-61, 2000.

VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão**: Aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais. Viçosa: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 1998, 596p.

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

VILLAGRA, M. de las M. **Variabilidade de medidas de tensiômetro em terra roxa estruturada**. 1988 64 f Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear). 1988 - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

ZIMMERMAN, F.L. **Crescimento de plantas de milho e armazenamento de água no solo em dois sistemas de cultivo**. 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

ANEXOS

ANEXO I - Dados de temperatura do ar, temperatura base e soma térmica acumulada (período de 31 de outubro a 30 de novembro de 2005¹) para a cultura do feijão, cultivar FT Nobre e para a cultura do milho cultivar AGN 2012. Santiago, RS.

Dia	Temp. do ar (média do dia)	Temp. Base (-10)	Soma Térmica Acumulada
	°C	°C	°C
0	12.9	2.9	2.9
1	15.2	5.2	8.1
2	18.5	8.5	16.6
3	22.8	12.8	29.4
4	22.2	12.2	41.6
5	16.6	6.6	48.2
6	14.2	4.2	52.4
7	14.9	4.9	57.3
8	16.5	6.5	63.8
9	17.9	7.9	71.7
10	19.1	9.1	80.8
11	20.1	10.1	90.9
12	22.6	12.6	103.5
13	25.0	15.0	118.5
14	23.9	13.9	132.4
15	24.4	14.4	146.8
16	24.0	14.0	160.8
17	18.9	8.9	169.7
18	20.9	10.9	180.6
19	22.9	12.9	193.5
20	23.5	13.5	207.0
21	25.8	15.8	222.8
22	27.6	17.6	240.4
23	27.9	17.9	258.3
24	20.2	10.2	268.5
25	19.6	9.6	278.1
26	23.0	13.0	291.1
27	24.4	14.4	305.5
28	25.5	15.5	321.0
29	27.2	17.2	338.2
30	27.3	17.3	355.5

¹ Dados calculados com base na temperatura média (°C) coletada na Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade e da temperatura base (°C) da cultura do feijão (BRUNINI, 1998 et al.; VILLA NOVA et al., 1972). Santiago, RS.

ANEXO II - Dados de temperatura do ar, temperatura base e soma térmica acumulada (período de 01 de dezembro a 31 de dezembro de 2005¹) para a cultura do feijão, cultivar FT Nobre e para a cultura do milho cultivar AGN 2012. Santiago, RS.

Dia	Temp. do ar (média do dia)	Temp. Base (-10)	Soma Térmica Acumulada
	°C	°C	°C
1	20.9	10.9	366.4
2	19.6	9.6	376.0
3	23.1	13.1	389.1
4	26.5	16.5	405.6
5	19.7	9.7	415.3
6	19.8	9.8	425.1
7	18.8	8.8	433.9
8	23.5	13.5	447.4
9	23.0	13.0	460.4
10	21.0	11.0	471.4
11	19.2	9.2	480.6
12	21.5	11.5	492.1
13	22.8	12.8	504.9
14	24.0	14.0	518.9
15	24.4	14.4	533.3
16	25.7	15.7	549.0
17	23.6	13.6	562.6
18	24.2	14.2	576.8
19	25.2	15.2	592.0
20	22.3	12.3	604.3
21	24.1	14.1	618.4
22	28.0	18.0	636.4
23	22.0	12.0	648.4
24	22.3	12.3	660.7
25	19.5	9.5	670.2
26	20.8	10.8	681.0
27	22.2	12.2	693.2
28	25.1	15.1	708.3
29	23.1	13.1	721.4
30	24.2	14.2	735.6
31	21.5	11.5	747.1

¹ Dados calculados com base na temperatura média (°C) coletada na Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade e da temperatura base (°C) da cultura do feijão (BRUNINI, 1998 et al.; VILLA NOVA et al., 1972). Santiago, RS.

ANEXO III - Dados de temperatura do ar, temperatura base e soma térmica acumulada (período de 01 de janeiro a 31 de janeiro de 2006¹) para a cultura do feijão, cultivar FT Nobre e para a cultura do milho cultivar AGN 2012. Santiago, RS.

Dia	Temp. do ar (média do dia)	Temp. Base (-10)	Soma Térmica Acumulada
	°C	°C	°C
1	22.6	12.6	759.7
2	23.7	13.7	773.4
3	22.7	12.7	786.1
4	24.9	14.9	801.0
5	24.3	14.3	815.3
6	25.2	15.2	830.5
7	28.2	18.2	848.7
8	28.7	18.7	867.4
9	28.1	18.1	885.5
10	29.4	19.4	904.9
11	27.5	17.5	922.4
12	26.0	16.0	938.4
13	25.2	15.2	953.6
14	26.8	16.8	970.4
15	28.6	18.6	989.0
16	26.9	16.9	1005.9
17	19.8	9.8	1015.7
18	19.1	9.1	1024.8
19	21.6	11.6	1036.4
20	24.8	14.8	1051.2
21	23.3	13.3	1064.5
22	22.6	12.6	1077.1
23	22.3	12.3	1089.4
24	21.9	11.9	1101.3
25	23.5	13.5	1114.8
26	22.5	12.5	1127.3
27	23.4	13.4	1140.7
28	25.1	15.1	1155.8
29	25.1	15.1	1170.9
30	26.6	16.6	1187.5
31	24.2	14.2	1201.7

¹ Dados calculados com base na temperatura média (°C) coletada na Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade e da temperatura base (°C) da cultura do feijão (BRUNINI, et al.1998; VILLA NOVA et al., 1972). Santiago, RS.

ANEXO IV- Dados de temperatura do ar, temperatura base e soma térmica acumulada (período de 01 de fevereiro a 28 de fevereiro de 2006¹) para a cultura do feijão, cultivar FT Nobre e para a cultura do milho cultivar AGN 2012. Santiago, RS.

Dia	Temp. do ar (média do dia)	Temp. Base (-10)	Soma Térmica Acumulada
	°C	°C	°C
1	23.5	13.5	1215.2
2	25.8	15.8	1231.0
3	27.0	17.0	1248.0
4	27.2	17.2	1265.2
5	26.9	16.9	1282.1
6	23.4	13.4	1295.5
7	22.4	12.4	1307.9
8	22.6	12.6	1320.5
9	22.5	12.5	1333.0
10	21.1	11.1	1344.1
11	20.6	10.6	1354.7
12	21.6	11.6	1366.3
13	22.0	12.0	1378.3
14	23.4	13.4	1391.7
15	23.5	13.5	1405.2
16	22.3	12.3	1417.5
17	25.0	15.0	1432.5
18	24.8	14.8	1447.3
19	23.2	13.2	1460.5
20	22.0	12.0	1472.5
21	23.2	13.2	1485.7
22	24.9	14.9	1500.6
23	22.3	12.3	1512.9
24	18.8	8.8	1521.7
25	19.0	9.0	1530.7
26	21.0	11.0	1541.7
27	23.3	13.3	1555.0
28	25.0	15.0	1570.0

¹ Dados calculados com base na temperatura média (°C) coletada na Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade e da temperatura base (°C) da cultura do feijão (BRUNINI, et al.1998; VILLA NOVA et al., 1972). Santiago, RS.

ANEXO V- Dados de temperatura do ar, temperatura base e soma térmica acumulada (período de 01 de março a 28 de março de 2006¹) para a cultura do milho, cultivar AGN 2012. Santiago, RS.

Dia	Temp. do ar (média do dia)	Temp. Base (-10)	Soma Térmica Acumulada
	°C	°C	°C
1	23.8	13.8	1583.8
2	23.2	13.2	1597.0
3	21.4	11.4	1608.4
4	21.7	11.7	1620.1
5	19.5	9.5	1629.6
6	21.7	11.7	1641.3
7	23.5	13.5	1654.8
8	26.0	16.0	1670.8
9	24.7	14.7	1685.5
10	21.1	11.1	1696.6
11	20.5	10.5	1707.1
12	22.7	12.7	1719.8
13	25.8	15.8	1735.6
14	26.5	16.5	1752.1
15	27.4	17.4	1769.5
16	28.5	18.5	1788.0
17	28.1	18.1	1806.1
18	23.5	13.5	1819.6
19	23.2	13.2	1832.8
20	23.7	13.7	1846.5
21	22.4	12.4	1858.9
22	20.8	10.8	1869.7
23	22.9	12.9	1882.6
24	24.5	14.5	1897.1
25	21.7	11.7	1908.8
26	18.5	8.5	1917.3
27	20.7	10.7	1928.0
28	20.7	10.7	1938.7

¹ Dados calculados com base na temperatura média (°C) coletada na Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade e da temperatura base (de 10°C) da cultura do milho (VILLA NOVA et al., 1972). Santiago, RS.

ANEXO VI: Tabela de análise da variância do índice de área foliar da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	3	3.714	1.238	0.236	3.10
Erro	20	104.904	5.245		
Total	23	108.618			

ANEXO VII: Tabela de análise da variância do índice de área foliar da cultura do milho.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	3	2.339	0.780	0.135	2.96
Erro	27	155.432	5.757		
Total	30	157.771			

ANEXO VIII: Tabela de análise da variância da superfície coberta da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	3	29951.273	9983.758	0.342	3.49
Erro	12	350686.947	29223.912		
Total	15	380638.220			

ANEXO IX: Tabela de análise da variância da altura de plantas da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	3	11.547	3.849	0.016	3.10
Erro	20	4725.631	236.282		
Total	23	4737.178			

ANEXO X: Tabela de análise da variância da altura de plantas da cultura do milho.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	3	471.081	157.027	0.012	2.96
Erro	27	357496.772	13240.621		
Total	30	357967.853			

ANEXO XI: Tabela de análise da variância do componente de produção: número de plantas.m² da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	9.800	2.450	0.336	3.01
Erro	16	116.750	7.297		
Total	20	126.550			

ANEXO XII: Tabela de análise da variância do componente de produção: número de vagens.planta⁻¹ da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	32.866	8.216	1.518	3.96
Erro	16	86.594	5.412		
Total	20	119.460			

ANEXO XIII: Tabela de análise da variância do componente de produção: número de grãos.vagem⁻¹ da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	9.128	2.282	3.494	2.45
Erro	120	78.371	0.653		
Total	124	87.498			

ANEXO XIV: Tabela de análise da variância do componente de produção: peso médio do grão da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	0.005	0.001	6.018	2.57
Erro	48	0.010	0.000		
Total	52	0.015			

ANEXO XV: Tabela de análise da variância matéria seca dos grãos.planta⁻¹ da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	164.295	41.074	1.552	2.57
Erro	48	1269.940	26.457		
Total	52	1434.235			

ANEXO XVI: Tabela de análise da variância matéria seca da haste + folha.planta⁻¹ da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	336.929	84.232	51.733	2.61
Erro	40	65.128	1.628		
Total	44	402.057			

ANEXO XVII: Tabela de análise da variância matéria seca das vagens.planta⁻¹ da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	0.415	0.104	13.177	3.01
Erro	16	0.126	0.008		
Total	20	0.541			

ANEXO XVIII: Tabela de análise da variância matéria seca total.planta⁻¹ da cultura do feijão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	734.086	183.521	7.425	2.57
Erro	48	1186.410	24.717		
Total	52	1920.496			

ANEXO XIX: Tabela de análise da variância do componente de produção: número de plantas.m² da cultura do milho.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	1.200	0.300	0.480	3.01
Erro	16	10.000	0.625		
Total	20	11.200			

ANEXO XX: Tabela de análise da variância do componente de produção: número de espigas.planta⁻¹ da cultura do milho.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	0.000	0.000	—	3.01
Erro	16	0.000	0.000		
Total	20	0.000			

ANEXO XXI: Tabela de análise da variância do componente de produção: número de grãos.espiga⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	33364.892	8341.223	1.808	2.61
Erro	40	184535.800	4613.395		
Total	44	217900.693			

ANEXO XXII: Tabela de análise da variância do componente de produção: peso médio do grão.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	0.002	0.000	0.965	2.61
Erro	16	0.007	0.000		
Total	20	0.008			

ANEXO XXIII: Tabela de análise da variância da matéria seca dos grãos.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	1437.297	359.324	0.818	2.61
Erro	40	17578.632	439.466		
Total	44	19015.929			

ANEXO XXIV: Tabela de análise da variância da matéria seca do colmo.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	1116.680	279.170	3.209	2.61
Erro	40	3480.263	87.007		
Total	44	4596.944			

ANEXO XXV: Tabela de análise da variância da matéria seca das folhas.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	243.779	60.945	0.966	2.61
Erro	40	2523.431	63.086		
Total	44	2767.210			

ANEXO XXVI: Tabela de análise da variância da matéria seca do pendão.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	1.470	0.368	1.801	2.61
Erro	40	8.164	0.204		
Total	44	9.634			

ANEXO XXVII: Tabela de análise da variância da matéria seca do palha.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	362.070	90.518	0.612	2.61
Erro	40	5917.456	147.936		
Total	44	6279.527			





ANEXO XXVIII: Tabela de análise da variância da matéria seca do sabugo.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	192.515	48.129	2.306	2.61
Erro	40	834.955	20.874		
Total	44	1027.470			

ANEXO XXIX: Tabela de análise da variância da matéria seca total.planta⁻¹.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
(CV)	(GL)	(SQ)	(QM)	calculado	tabelado
Tratamentos	4	8514.528	2128.632	1.780	2.61
Erro	40	47843.341	1196.084		
Total	44	56357.869			

ANEXO XXX: Tabela dos estádios de desenvolvimento da cultura do feijão conforme Fanceli (1990).

Estádio		DAE (dias após a emergência)	Data de Início
Código	Característica		
V1	Emergência	0	 5/11/05
V2	Desdobramento das folhas primárias	2	 10/11/05
V3	Emissão da primeira folha trifolhada	7	 12/11/05
V4	Emissão da quarta folha trifolhada	13	 18/11/05

R5 Emissão de botões
florais 39



14/12/05

R6 Floração 44



19/12/05

R7 Formação de
legumes 51



26/12/05

R8 Enchimento de
legumes 73

17/01/06

R9




Maturação

97



10/02/06

ANEXO XXXI: Tabela dos estádios de desenvolvimento vegetativo da cultura do milho (RESENDE et al. 2003).

Estádio		DAE (dias após a emergência)	Data de início
Código	Característica		
VE	Emergência	0	06/11/05
V3	Três folhas desenvolvidas	17	 22/11/05
V6	Seis folhas desenvolvidas	22	 27/11/05
V8	Oito folhas desenvolvidas	26	 01/12/05

V12

Doze folhas
desenvolvidas

40



15/12/05

VT




Pendoamento




51



26/12/05

ANEXO XXXII: Tabela dos estádios reprodutivos de desenvolvimento do grão para a cultura do milho (RESENDE et al., 2003).

Estádio	DAS (dias após a semeadura)	Data de Início
Código	Característica	
R1	Embonecamento e polinização	71
		 <p>15/01/06</p>
R2	Grão bolha d'água	76
		 <p>20/01/06</p>
R3	Grão leitoso	84
		 <p>28/01/06</p>

R4	Grão pastoso	99	
			12/02/06
R5	Formação de dente	106	
			19/02/06
R6	Maturidade fisiológica	135	
			20/03/06

APÊNDICES

APÊNDICE I - Dados da Precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (período de 31 de outubro a 30 de novembro de 2005¹). Santiago, RS.

Dia	Precipitação diária	Temp. do ar (média do dia)	UR (média do dia)	Rsolar	HSolar	Vento
	mm	°C	%	w/m ²	hora	(m s ⁻¹)
0	0.0	12.9	62	343	13.2	2.2
1	0.0	12.9	62	343	13.2	2.2
2	0.0	15.2	53	344	13.2	2.5
3	0.0	18.5	45	345	13.2	3.2
4	0.0	22.8	60	316	13.2	2.0
5	0.2	22.2	67	281	13.1	1.7
6	6.8	16.6	96	137	12.0	2.2
7	11.8	14.2	99	51	12.2	2.5
8	0.0	14.9	84	272	13.3	1.5
9	0.0	16.5	78	315	13.2	2.4
10	0.0	17.9	77	341	13.3	2.3
11	0.0	19.1	75	327	13.3	3.1
12	0.0	20.1	71	282	13.3	2.6
13	0.0	22.6	65	332	13.3	1.6
14	0.0	25.0	60	320	13.3	1.9
15	6.4	23.9	72	190	13.1	2.1
16	13.4	24.4	62	264	13.3	1.2
17	0.6	24.0	70	212	12.8	2.6
18	18.2	18.9	93	102	12.8	2.3
19	1.8	20.9	86	223	12.8	1.6
20	2.0	22.9	70	327	13.6	2.2
21	0.2	23.5	47	353	13.6	2.7
22	0.0	25.8	45	348	13.5	1.6
23	0.2	27.6	46	318	13.5	1.3
24	2.4	27.9	53	300	13.3	1.3
25	27.0	20.2	77	195	12.4	2.4
26	3.2	19.6	54	351	13.7	2.3
27	3.4	23.0	45	359	13.7	2.0
28	8.6	24.4	40	345	13.5	2.5
29	1.4	25.5	43	348	13.7	1.1
30	9.8	27.2	49	322	13.6	1.5

¹ Dados da Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade. Santiago, RS.

APÊNDICE II - Dados da Precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (período de 01 a 31 de dezembro de 2005¹).
Santiago, RS.

Dia	Precipitação diária	Temp. do ar (média do dia)	UR (média do dia)	Rsolar	HSolar	Vento
	mm	°C	%	w/m ²	hora	(m s ⁻¹)
1	1.0	20.9	79	194	12.9	1.2
2	0.0	19.6	60	271	11.8	2.1
3	1.0	23.1	57	336	13.1	1.6
4	0.0	26.5	51	299	13.6	1.0
5	46.6	19.7	94	71	10.3	1.9
6	0.2	19.8	67	320	13.7	1.6
7	0.0	18.8	47	375	13.7	2.0
8	0.0	23.5	47	366	13.7	1.4
9	0.0	23.0	60	320	13.7	2.6
10	0.2	21.0	56	372	13.8	3.2
11	0.0	19.2	61	365	13.8	3.1
12	0.0	21.5	63	351	13.8	2.4
13	0.0	22.8	65	311	13.8	2.7
14	0.0	24.0	65	345	13.7	2.5
15	1.6	24.4	61	348	13.8	1.6
16	0.4	25.7	56	309	13.1	1.0
17	0.0	23.6	67	301	13.8	0.9
18	0.0	24.2	54	314	13.8	1.4
19	0.0	25.2	47	280	13.4	1.2
20	0.0	22.3	60	362	13.8	2.8
21	0.0	24.1	53	374	13.8	1.8
22	0.0	28.0	42	348	13.8	1.4
23	70.4	22.0	86	35	8.8	1.0
24	1.6	22.3	75	315	13.8	1.6
25	0.0	19.5	56	365	13.9	2.5
26	0.0	20.8	47	365	13.0	2.7
27	0.0	22.2	57	313	12.1	2.7
28	0.0	25.1	65	331	13.7	2.3
29	24.4	23.1	75	195	10.9	2.1
30	0.0	24.2	71	331	13.3	0.6
31	8.2	21.5	95	78	11.7	1.9

¹ Dados da Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade. Santiago, RS.

APÊNDICE III - Dados da Precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (período de 01 a 31 de janeiro de 2005¹).
Santiago, RS.

Dia	Precipitação diária	Temp. do ar (média do dia)	UR (média do dia)	Rsolar	HSolar	Vento
	mm	°C	%	w/m ²	hora	(m s ⁻¹)
1	0.2	22.6	86	217	13.8	1.7
2	0.0	23.7	82	335	13.5	2.2
3	0.0	22.7	78	201	13.5	1.7
4	0.0	24.9	61	334	13.7	1.0
5	0.0	24.3	67	289	13.7	1.8
6	0.0	25.2	58	346	13.8	1.8
7	0.0	28.2	46	347	13.8	1.6
8	5.8	28.7	59	331	13.5	1.6
9	0.0	28.1	65	310	13.5	2.0
10	0.0	29.4	61	343	13.6	1.4
11	0.0	27.5	66	254	13.5	1.5
12	4.0	26.0	68	278	13.5	1.6
13	33.2	25.2	80	252	13.2	1.4
14	0.0	26.8	70	346	13.5	1.4
15	0.0	28.6	62	325	13.6	0.9
16	2.2	26.9	69	265	13.4	1.9
17	0.6	19.8	88	178	12.3	0.9
18	0.0	19.1	84	163	12.7	3.2
19	26.4	21.6	87	250	11.9	2.0
20	0.0	24.8	74	324	13.0	0.8
21	9.4	23.3	87	178	12.8	0.8
22	0.4	22.6	85	206	13.2	1.7
23	35.8	22.3	94	111	13.0	1.6
24	40.2	21.9	98	69	12.8	0.8
25	6.6	23.5	90	223	13.2	1.4
26	0.0	22.5	78	338	13.4	2.8
27	0.0	23.4	75	331	13.3	2.1
28	0.0	25.1	72	349	13.3	2.0
29	0.0	25.1	64	352	13.3	1.4
30	0.4	26.6	61	349	13.3	1.2
31	0.0	24.2	75	336	13.3	2.8

¹ Dados da Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade. Santiago, RS.

APÊNDICE IV - Dados da Precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (período de 01 a 28 de fevereiro de 2005¹).
Santiago, RS.

Dia	Precipitação diária	Temp. do ar (média do dia)	UR (média do dia)	Rsolar	HSolar	Vento
	mm	°C	%	w/m ²	hora	(m s ⁻¹)
1	0.0	23.5	72	341	13.2	2.4
2	0.0	25.8	66	345	13.2	1.8
3	0.0	27.0	69	290	13.0	1.6
4	0.2	27.2	68	219	12.8	1.6
5	0.8	26.9	75	186	13.1	0.7
6	19.2	23.4	89	200	11.4	0.8
7	0.0	22.4	73	348	12.8	2.2
8	0.0	22.6	68	315	12.8	2.3
9	0.0	22.5	71	338	13.0	2.7
10	0.0	21.1	65	341	13.1	2.3
11	0.0	20.6	71	331	13.0	2.3
12	0.0	21.6	79	332	12.8	2.8
13	0.0	22.0	81	308	12.7	3.1
14	0.0	23.4	70	288	12.8	2.5
15	11.8	23.5	74	283	10.7	2.3
16	0.4	22.3	88	173	11.9	0.7
17	0.2	25.0	71	311	12.8	0.7
18	0.0	24.8	64	339	12.8	2.2
19	6.0	23.2	82	240	10.9	2.3
20	10.6	22.0	86	223	12.3	2.4
21	0.0	23.2	77	331	12.8	1.1
22	0.0	24.9	66	320	12.8	1.1
23	6.2	22.3	75	145	12.4	1.6
24	0.2	18.8	87	171	11.9	1.9
25	0.8	19.0	86	195	12.2	1.6
26	0.0	21.0	77	282	12.5	1.2
27	0.0	23.3	65	311	12.6	1.6
28	0.0	25.0	57	293	12.4	2.0

¹ Dados da Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade. Santiago, RS.

APÊNDICE V - Dados da Precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (período de 01 a 29 de março de 2005¹).
Santiago, RS.

Dia	Precipitação diária	Temp. do ar (média do dia)	UR (média do dia)	R_{solar}	H_{Solar}	Vento
	mm	°C	%	w/m ²	hora	(m s ⁻¹)
1	0.2	23.8	77	270	11.9	1.2
2	0.0	23.2	88	149	12.0	1.4
3	0.4	21.4	96	58	12.2	1.4
4	0.2	21.7	82	173	11.8	1.0
5	0.0	19.5	74	311	12.5	1.6
6	0.0	21.7	61	323	12.4	1.3
7	0.4	23.5	51	324	12.4	1.4
8	0.2	26.0	54	273	12.2	0.8
9	0.6	24.7	75	182	10.5	0.6
10	0.0	21.1	71	310	12.3	2.7
11	0.0	20.5	72	316	12.3	2.5
12	0.0	22.7	72	210	11.9	1.6
13	0.0	25.8	63	252	11.9	1.5
14	0.0	26.5	54	296	12.0	1.8
15	0.0	27.4	49	280	12.2	1.4
16	0.0	28.5	47	297	12.1	1.3
17	0.2	28.1	51	280	11.8	1.6
18	0.2	23.5	85	260	11.9	3.0
19	0.0	23.2	89	197	11.0	1.9
20	0.0	23.7	84	260	11.9	1.3
21	0.0	22.4	82	272	11.5	3.0
22	24.6	20.8	94	44	9.9	2.4
23	54.4	22.9	94	95	11.5	1.6
24	0.0	24.5	74	244	11.8	0.6
25	0.0	21.7	81	163	11.8	2.3
26	0.0	18.5	76	282	11.6	3.3
27	0.0	20.7	82	233	11.6	2.0
28	2.4	20.7	96	79	10.8	0.7
29	0.0	17.5	85	187	11.3	2.4

¹ Dados da Estação Climatológica localizada na Fazenda Liberdade. Santiago, RS.