

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

**DESEMPENHO E APLICABILIDADE DO
IRRIGÂMETRO PARA CULTURA DA SOJA NA
REGIÃO DE BOSSOROCA, RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mario Santos Nunes

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**DESEMPENHO E APLICABILIDADE DO IRRIGÂMETRO
PARA CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE BOSSOROCA,
RS.**

por

Mario Santos Nunes

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. Dr. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**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

**DESEMPENHO E APLICABILIDADE DO IRRIGÂMETRO
PARA CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE BOSSOROCA,
RS.**

elaborada por
Mario Santos Nunes

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Adroaldo Dias Robaina, Dr.
(Presidente / Orientador)**

Marcia Xavier Peiter, Dra., (UFSM)

Ana Rita Costenaro Parizi, Dra., (IFFarroupilha - Campus Alegrete)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2011.

OFEREÇO

Aos meus queridos pais Mario Brombila. Nunes e Fátima dos Santos. Nunes
Que me ensinaram através de suas vivências os melhores exemplos para vencer as
incertezas da vida e confiar no futuro.
Por guiarem os meus caminhos.
Há vocês agradeço.

AGRADECIMENTOS

A Deus razão de toda a vida.

Aos meus pais, Mario Brombila. Nunes e Fátima dos Santos. Nunes, por sempre acreditarem em seu filho. Ao meu irmão Maurício Santos. Nunes, pelo companheirismo de sempre.

Ao professor Adroaldo Dias Robaina pela grande oportunidade que me deste, pelas experiências passadas no dia a dia, pela dedicação ao seu orientado.

A professora Marcia Xavier Peiter, pelo carinho, ajuda e sugestões concedidas para a elaboração deste trabalho.

Aos colegas de laboratório João Fernando Zamberlan, Rafael Ferraz, Leandro Mello, Natalia Schwab, Angélica de Souza e Gessiana de Souza pela grande amizade, carinho e troca de idéias vivenciadas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida. A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização deste curso.

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

Muito Obrigado!

“O degrau de uma escada não serve simplesmente para que alguém permaneça em cima dele, destina-se a sustentar o pé de um homem pelo tempo suficiente para que ele coloque o outro um pouco mais alto”.

Thomas Huxley

RESUMO

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

DESEMPENHO E APLICABILIDADE DO IRRIGÂMETRO PARA CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE BOSSOROCA, RS

Autor: Mario Santos Nunes
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 28 de fevereiro de 2011.

A irrigação tem a função de suprir adequadamente as demandas hídricas das culturas, para que estas expressem seu máximo potencial produtivo. Porém ocorrem variações no que diz respeito à relação solo, planta, atmosfera, que interferem de maneira a determinar diferenças nas produtividades das culturas, portanto, a utilização de tecnologias e equipamentos é fundamental para um bom manejo da irrigação. O objetivo deste trabalho foi de avaliar a viabilidade de implementação de um sistema com irrigação tipo pivô central na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) com o auxílio do irrigâmetro, e comparando o seu desempenho com o tanque classe "A". O presente trabalho foi desenvolvido na Granja Boligom situada no município de Bossoroca RS, em uma área experimental de 31,17ha no período de janeiro a junho de 2010. A área experimental foi dividida em sete setores de aproximadamente 4,5 ha. A coleta das plantas foi realizada controladamente, dentro de cada setor, sendo coletadas vinte e cinco plantas, sempre as mesmas, para avaliar o seu desenvolvimento vegetativo e os componentes de produção. Foram medidos os parâmetros de crescimento e desenvolvimento, tais como, índice de área foliar (IAF) e altura de plantas em períodos quinzenais. Na colheita foram determinados os componentes de produção como número de plantas.m², número de vagens.planta⁻¹, número de grãos.vagens⁻¹, peso médio do grão, massa seca dos grãos.planta⁻¹, massa seca do colmo.planta⁻¹, massa seca das vagens.planta⁻¹, massa seca total, índice de colheita e produção (kg.ha⁻¹). O manejo de irrigação foi realizado com turno de rega estipulado pelo irrigâmetro. A lâmina de água foi aplicada igualmente em todos os setores, sendo esta realizada através do controle do irrigâmetro. Os arquivos com os pontos da área georreferenciada foram visualizados através de software ArcGIS versão 9.3, onde mapas de produtividade foram gerados por interpolação. As médias de produção dos diferentes setores foram submetidas à análise de variância e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Conclui-se que houve diferença de lâminas de irrigação entre o irrigâmetro e tanque classe "A", ocorreu variação na produção entre os setores, onde o setor 03 obteve a maior produção com 6713,25 kg.ha⁻¹ e o setor 05 a menor com 5248,05 kg.ha⁻¹.

Palavras-chave: manejo de irrigação, variabilidade espacial, pivô central

ABSTRACT

Master's Dissertation
Agricultural Engineering Postgraduation Program
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

PERFORMANCE AND APPLICABILITY OF IRRIGAMETER FOR THE SOYBEAN IN THE REGION BOSSOROCA, RS

Author: Mario Santos Nunes
Advisor: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, february 28th, 2011

Irrigation has the function to adequately supply the water demands of crops so that they express their full productive potential. But there are variations with regard to the relationship soil, plant, atmosphere, infer that in order to determine differences in crop yields, so the use of technology and equipment is essential for good irrigation management. The objective was to evaluate the feasibility of implementing a system with center pivot irrigation in soybean (*Glycine max* (L.) merrill.) with the aid of irrigameter, and comparing its performance with the tank class "A" This study was conducted at Grange Boligom Bossoroca in the municipality of RS, in an experimental area of 31.17 ha in the period from january to june 2010. The collection of plants was carried out under control, within each sector, being collected twenty-five plants, always the same, to evaluate their vegetative growth and yield components. Parameters were measured for growth and development, such as leaf area index (LAI) and plant height in fortnightly periods. At harvest were determined yield components like number of plants.m², number of pod.plant⁻¹, number of grain.vagens⁻¹, average grain weignht, dry weight of grain.plant⁻¹, dry weight of stem.plant⁻¹, dry mass of pod.plant⁻¹, total dry weight, harvest index and yield (kg.ha⁻¹).The irrigation management was conducted with irrigation provided by the irrigameter. The irrigation water was applied equally in all sectors, being performed by controlling Irrigameter. Files with the points of the area were viewed through georeferenced ArcGIS version 9.3, which yield maps were generated by interpolation. Average production of different sectors were subjected to ANOVA and Tukey Test at 5% probability. It is concluded that there was a difference of irrigation between the irrigameter and tank class "A", showed variation in production across sectors, where the sector in 03 production the greatest quantity to 6713.25 kg ha⁻¹ and the lower sector 05 with 5248.05 kg ha⁻¹.

Keywords: irrigation management, spatial variability pivot

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Rendimento médio de soja no RS correspondentes ao ano agrícolas entre 1979 a 2010 (gráfico elaborado a partir de dados disponibilizados pela CONAB, 2010).....	20
Figura 02 - Croqui da área experimental.....	41
Figura 03 - Vista da área da instalação do experimento. Bossoroca, RS, 2010.....	42
Figura 04 - Vista da identificação de um setor do experimento. Bossoroca, RS, 2010.....	42
Figura 05 - Vista da identificação das plantas de soja do experimento. Bossoroca, RS, 2010.....	43
Figura 06 - Localização dos pontos das coletas para a caracterização física e química. Bossoroca, RS, 2010.....	45
Figura 07 - Irrigâmetro acusando o momento de irrigar, 2010.....	49
Figura 08 - Irrigâmetro (A) juntamente com o pluviômetro (B) e Tanque Classe A (C).....	49
Figura 09 - Determinação da altura de planta.....	51
Figura 10 - Contagem de folhas (A) e amostras de ramos da soja com seus respectivos setores (B).....	52
Figura 11 - Secagem das sementes (A) juntamente com a pesagem de mil sementes (B).....	53
Figura 12 - Variação diária dos elementos agrometeorológicos durante o ciclo da cultura.....	56
Figura 13 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio dos sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.....	59
Figura 14 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio relacionado com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.....	60
Figura 15 - Altura de planta (cm) média de sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.....	62

Figura 16 - Altura de plantas (cm) média de sete setores relacionados com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.....	63
Figura 17 - Número de folhas por planta de sete setores relacionados com dias após emergência (DAE) durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.....	64
Figura 18 - Número de vagens por planta de sete setores relacionados com dias após emergência (DAE).....	66
Figura 19 - Produção (kg. ha ⁻¹) de grãos em cada setor irrigado para a cultivar de soja Munasqa.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Descrição de alguns componentes seguidos das características da cultivar Munasqa	46
Tabela 02 - Valores de irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo da cultura de soja para sete setores.....	58
Tabela 03 - Valores médios do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.....	59
Tabela 04 - Valores médios da altura (cm) em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa	61
Tabela 05 - Valores médios do número de folhas por planta em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa	64
Tabela 06 - Valores médios do número de vagens por planta em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa	65
Tabela 07 - Valores médios do número de grãos por vagem em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa	66
Tabela 08 - Valores médios de número de plantas. m^{-2} (NPL), número de vagens.planta $^{-1}$ (NVP), número de grãos.vagem $^{-1}$ (NGV) e massa seca do grão (MSGRAO) para a cultivar de soja Munasqa aos 95 DAE	67
Tabela 09 - Valores médios de massa seca dos grãos.planta $^{-1}$ (MSGRAO), massa seca do colmo.planta $^{-1}$ (MSC), massa seca das vagens.planta $^{-1}$ (MSVG), massa seca total (MSTOTAL) e índice de colheita (IC) em cada estratégia de irrigação para a cultivar de soja Munasqa aos 95 DAE.....	69
Tabela 10 - Produção (kg. ha $^{-1}$), (sc.ha $^{-1}$) de grãos em cada setor irrigado para a cultivar de soja Munasqa	70
Tabela 11 - Comparação da lamina média de irrigação do irrigâmetro com o tanque classe "A"	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	A cultura da soja.....	19
2.2	O crescimento e desenvolvimentos da soja.....	20
2.3	Déficits hídricos na soja.....	21
2.4	Manejo de irrigação.....	23
2.5	Variação espaço-temporal das condições ambientais do cultivo irrigado.....	28
2.5.1	Região de Bossoroca – RS.....	31
2.6	Irrigâmetro.....	32
2.7	Tanque classe “A”.....	34
2.8	Qualidade da irrigação.....	35
2.9	Pivô central.....	36
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1	Local	40
3.1.2	Setores do experimento.....	42
3.1.3	Coleta dos dados de planta.....	43
3.2	Obtenção de dados básicos.....	43
3.2.1	Solo.....	43
3.2.2	Características físicas do solo.....	44
3.2.3	Características químicas do solo.....	44
3.2.4	Clima.....	45
3.2.5	Elementos Agrometeorológicos.....	46
3.3	Implantação e condução do experimento.....	46

3.3.1	Cultivar de soja Munasqa.....	46
3.3.2	Semeadura.....	47
3.3.3	Adubação.....	47
3.3.4	Controle de pragas e doenças.....	47
3.3.5	Irrigações.....	48
3.4	Parâmetros de crescimento e desenvolvimento da planta.....	49
3.4.1	Índice de área foliar.....	50
3.4.2	Altura de plantas.....	50
3.4.3	Número de folhas.....	51
3.4.4	Número de vagens.....	51
3.4.5	Peso e seco de mil sementes.....	52
3.4.6	Soma térmica.....	53
3.5	Georreferenciamento da área experimental.....	54
3.6	Análise estatística.....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1	Características físicas e químicas dos solos.....	55
4.2	Elementos agrometeorológicos.....	55
4.3	Irrigações e precipitações.....	57
4.4	Parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultivar.....	58
4.4.1	Índice de área foliar.....	58
4.4.2	Altura de plantas.....	61
4.4.3	Número de folhas por planta.....	63
4.4.4	Número de vagens por planta.....	65
4.4.5	Número de grãos por vagem.....	66

4.5	Componentes de produção, massa seca total, índice de colheita e produção.....	67
5	CONCLUSÕES.....	74
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
	APÊNDICES.....	85

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L) Merrill), constitui-se em um dos principais cultivos da agricultura mundial e brasileira, devido ao seu potencial produtivo a sua composição química e valor nutritivo, que lhe confere multiplicidade de aplicações na alimentação humana e/ou animal, com relevante papel sócio econômico, além de se constituir em matéria prima indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais (GOMES 2007).

Atualmente, no Estado do Rio Grande do Sul a soja é a cultura que detém a maior área de plantio, porém possuindo produtividade média em torno de 3119 kg.ha⁻¹ (Conab, 2010). Na safra 2009/2010 foram colhidos cerca de 7.396,6 milhões de hectares com uma produção de 23.071,8 mil toneladas de grãos (Companhia Nacional de Abastecimento CONAB, 2010). O rendimento de grãos dessa cultura apresenta grandes oscilações entre locais e anos, sendo a distribuição irregular da precipitação pluvial, principalmente durante o período de verão, a principal responsável pela redução no rendimento da soja no Estado.

Com o aumento populacional e o crescimento na demanda por água e alimentos, torna-se imperativo a verticalização da produtividade para que a oferta de produtos agrícolas atenda a referida demanda. Sendo a água um recurso escasso e limitado, a disputa pelo bem entre os diversos usos múltiplos, torna-se uma realidade cada dia mais freqüente. E sendo a agricultura irrigada o maior usuário, esta na maioria das vezes, é responsabilizada pela escassez.

A agricultura irrigada é uma alternativa para incrementar a produção de alimentos, bem como fator decisivo para redução das perdas e instabilidade nas produtividades. Contudo, na expansão da agricultura irrigada, deve-se levar em consideração o elevado consumo e as restrições de disponibilidade de água. Nesse sentido, o aumento e a sustentabilidade da produção agrícola devem estar associados a uma redução do consumo de água, energia e à adoção de um conjunto de tecnologias para minimizar os desperdícios.

No setor agrícola, a água utilizada na irrigação tem recebido um tratamento especial, haja visto que é responsável por uma grande parcela do consumo total,

pois, somente no Brasil, cerca de 61% da água captada é usada na agricultura para a produção de alimentos (ANA, 2007).

A viabilidade, aumento nas produtividades e expansão da soja no Brasil se deve grande parte a utilização de sistemas de irrigação principalmente com sistemas de pivô central que no Rio Grande do Sul irrigam áreas em torno de 35 a 40 mil hectares, principalmente nas culturas de soja, milho e feijão.

Conforme Soares (2010) com a irrigação de precisão, antigos conceitos estão sendo modificados e outros, incorporados ao processo, e com isto, a visão sobre como abordar e manejar o sistema agrícola irrigado tem-se modificado. É importante que o produtor não considere a irrigação como uma opção tecnológica isolada, que pode proporcionar maior produção das culturas, mas que somente tem sentido e possibilidades de sucesso, quando os requisitos de conservação e características físicas, químicas, biológicas e de fertilidade possam ser consideradas adequadas para o crescimento desejado das plantas e conseqüente para a produtividade.

Frizzone & Botrel (1996), citados por Lima et al (2003), afirmam que a eficácia da irrigação se identifica pela relação custo-benefício e cuja maximização é função de uma série de fatores que vão desde as condições de mercado para os produtos agrícolas até as características de desempenho dos emissores de água. Dentre esses fatores está o uso quantitativo da água de forma racional. Nesse contexto, o conhecimento da quantidade de água disponível no solo às culturas mostra-se essencial, vindo a exigir métodos e instrumentos de determinação de umidade cada vez mais eficientes.

O manejo da irrigação está inserido no contexto de maximização da produção agrícola como agente regulador no momento de se realizar uma irrigação, sendo um processo utilizado para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água. Várias metodologias podem ser utilizadas no manejo da irrigação, sendo que o poder aquisitivo e o nível tecnológico dos produtores determinarão as estratégias a serem utilizadas.

Na adoção de um programa de manejo da irrigação em uma propriedade agrícola, é importante determinar o consumo de água da cultura. Existem vários métodos que consideram medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Contudo, a determinação da evapotranspiração da cultura tem sido mais usada para quantificar a lâmina de água a ser aplicada na irrigação.

A evapotranspiração da cultura pode ser determinada por diversos métodos, incluindo-se o irrigâmetro. O irrigâmetro, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), pode ser ajustado para estimar diretamente a evapotranspiração da cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento, sendo usado no manejo da irrigação. Ele combina o método de estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho que fornece diretamente o momento adequado de irrigar e o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, aliado a fácil operacionalidade.

Devido ao uso intensivo de tecnologia, energia e os altos custos intrínsecos da atividade irrigada, o eficiente manejo da irrigação com o máximo de precisão, vem ao encontro da racionalização e eficiência do uso da água evitando desperdícios. No Estado do Rio Grande do Sul, onde ocorre uma variabilidade de microclimas e solos nas diversas regiões, o estudo e o conhecimento das dinâmicas que envolvem o uso da água são relevantes para se maximizar o recurso e as produtividades, principalmente da soja.

Portanto avaliar e determinar o quando e quanto irrigar é parte fundamental para o sucesso da atividade irrigada e a garantia de rentabilidade e melhores colheitas.

1.1 OBJETIVOS

Diante das considerações apresentadas, o presente trabalho, tem por objetivo:

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho do irrigâmetro e do tanque classe "A" para o manejo de áreas irrigadas por pivô central através da análise da variabilidade espacial e temporal do crescimento, desenvolvimento e produção final da cultura da soja na região de Bossoroca, RS.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura da Soja

Ferreira (2009) ressalta que a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas na agricultura mundial e brasileira em função da sua produtividade e valor nutritivo com diversas aplicações na alimentação humana e animal, bem como no papel sócio econômico, impulsionando de forma significativa o agronegócio. Foi no início do século XX que passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos. A partir de então, houve um rápido crescimento na produção, com o desenvolvimento das primeiras variedades cultivadas comerciais (MELO, 2005), sendo atualmente a mais importante oleaginosa cultivada no mundo (BLACK, 2002).

Segundo Gomes (2007) a grande expansão da soja no Brasil aconteceu a partir dos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional. O interesse do governo brasileiro pela expansão na produção da soja para atender à indústria fez com que a cultura ganhasse cada vez mais incentivos oficiais. Diversas estradas, ferrovias e hidrovias foram instaladas e portos foram modernizados para o escoamento da produção.

Martorano (2007) afirma que durante toda a estação de crescimento da soja ela poderá passar por condições favoráveis ou adversas que podem condicionar a cultura a um determinado padrão de resposta. Dependendo das condições hídricas no solo, da atmosfera e dos efeitos nos estoques hídricos, decorrentes do manejo do solo, as respostas da cultura poderão ser expressas em termos de crescimento, produção de biomassa, índice de área foliar, eficiência de uso da radiação, potencial da água na folha, condutância estomática, entre outras.

Ainda segundo Martorano (2007) fatores relacionados às condições ambientais podem atuar de forma isolada ou conjuntamente, limitando ou favorecendo, o rendimento da cultura. Apesar de existirem cultivares de soja com potencial genético com rendimento de 6.000 kg ha⁻¹, atrelado ao elevado nível tecnológico de agricultura de precisão, a dependência da oferta hídrica tem se

apresentado como um dos grandes desafios e até uma das grandes limitações na obtenção de altos rendimentos da soja.

As variações anuais no regime de chuva no Rio Grande do Sul são apontadas por Matzenauer et al. (1998), como as causas de menores rendimentos de soja no Estado. Representou-se na Figura 01, os dados de rendimento médio de soja numa seqüência de 31 anos agrícolas, no Rio Grande do Sul, onde é percebida a predominância de rendimentos médios inferiores a 3.000 kg/ha⁻¹.

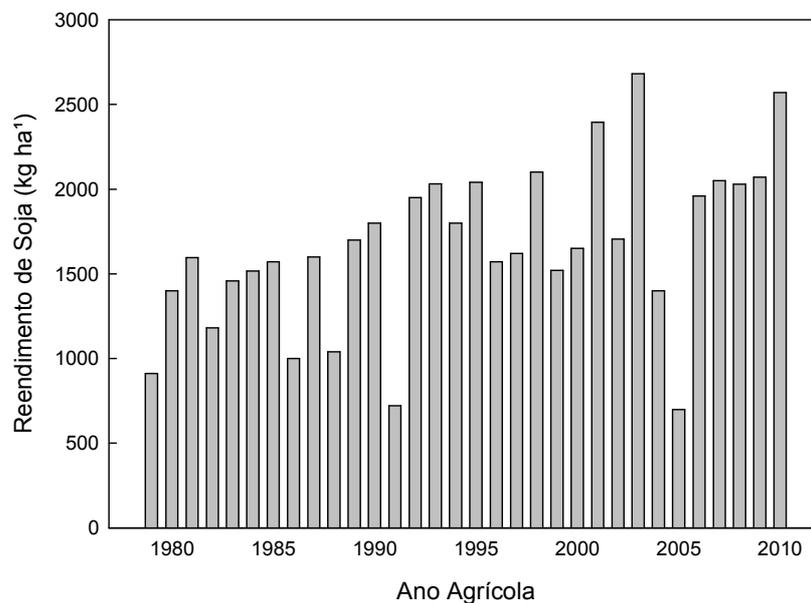


FIGURA 01: Rendimento médio de soja no RS correspondentes ao ano agrícola entre 1979 a 2010 (gráfico elaborado a partir de dados disponibilizados por CONAB,2010).

2.2 O Crescimento e desenvolvimentos da soja

O crescimento se restringe ao aumento físico de volume, peso ou estatura enquanto que o desenvolvimento está ligado em variações de volume, peso, forma e estrutura, visíveis ou invisíveis e implica em mudanças num sentido mais amplo.

O crescimento e o desenvolvimento da soja são medidos pela quantidade de massa seca (matéria seca) acumulada na planta. Com exceção da água, a massa seca consiste em tudo que se encontra na planta, incluindo carboidratos, proteínas,

lipídeos e nutrientes minerais. A planta de soja produz a maior parte da sua massa seca por meio de um processo único, denominado fotossíntese. Durante a fotossíntese, a energia luminosa gerada pelo sol promove um processo no interior da planta, onde o dióxido de carbono proveniente do ar junto com a água proveniente do solo combinam-se para produzir açúcares (compostos carbonados longos). Esses açúcares produzidos pela fotossíntese, junto com os nutrientes minerais obtidos do solo, são os ingredientes básicos necessários para a elaboração dos carboidratos, proteínas e lipídeos da matéria seca (FEHR & CAVINESS 1977).

Na prática, o crescimento, desenvolvimento e rendimento da soja resultam da interação entre o potencial genético de um determinado cultivar com o ambiente. Existe interação perfeita entre a planta de soja e o ambiente, de maneira que, quando ocorrem mudanças no ambiente, também ocorrem no desenvolvimento da planta. Todos os cultivares têm um potencial máximo de rendimento que é geneticamente determinado. Esse potencial de rendimento genético somente é obtido quando as condições ambientais são perfeitas, sendo que estas não existem naturalmente. Em condições de campo, a natureza proporciona a maior parte das influências ambientais sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. Entretanto, os produtores, através de práticas de manejo já comprovadas, podem manipular o ambiente de produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DO POTÁSSIO E DO FÓSFORO 2010).

2.3 Déficits hídricos na soja

A ocorrência de déficit hídrico é uma das principais causas de perdas agrícolas no sul do País, pois na safra de verão ocorrem, com frequência, veranicos e estiagens, devido a grande demanda evapotranspirativa e pela distribuição irregular das chuvas (FIETZ et al., 2001).

Déficits hídricos prolongados podem influenciar negativamente no metabolismo da soja, reduzindo sua capacidade fotossintética e, conseqüentemente, sua taxa de crescimento e desenvolvimento (HSIAO, 1973,

MOMEN et al., 1979, KORTE et al., 1983), induzir abscisões de folhas fisiologicamente mais velhas como mecanismo de economia hídrica as folhas mais jovens (BEGG; TURNER, 1976) e reduzir a produção de grãos (SIONITT; KRAMER, 1977, PETTER; RIGHES, 1992, LIU et al., 2004). Déficits hídricos podem alterar os mecanismos relacionados a eficiência de uso da radiação solar (MUCHOW et al., 1993).

A expansão foliar é um dos processos fisiológicos mais sensíveis a deficiência hídrica. A planta cessa o alongamento de folhas e raízes muito antes dos processos de fotossíntese e divisão de células serem afetados (COSTA, 2010).

Respostas ao déficit hídrico na cultura da soja foram observadas por Thomas & Costa (1994) no período reprodutivo, principalmente na formação de legumes e enchimento de grãos, havendo aumento no peso de grãos nos tratamentos irrigados. Nessa mesma linha de investigação Rambo et al. (2003) verificaram que houve menor taxa de enchimento de grãos, resultando em menor peso do grão e refletindo em menores rendimentos de grãos de soja nos tratamentos não irrigados do que nos irrigados. Essas evidências não foram observadas por Westgate et al. (1989) com pouca alteração na taxa de enchimento de grãos em relação a disponibilidade hídrica a soja. Já Salinas et al. (1996) verificaram que o tamanho e o peso dos grãos foram os mais sensíveis ao déficit hídrico.

A limitação no suprimento hídrico reduziu a produção de foto assimilados, inibindo o metabolismo do grão e promovendo o abortamento de flores e abscisão de legumes, conforme Brevedan & Egli (2003).

De acordo com Neumaier et al. (2000) a ocorrência de estresse hídrico em todo o subperíodo de início de enchimento de grãos e início do estágio de grãos verdes, pode reduzir drasticamente o rendimento da soja, pois quase metade dos nutrientes necessários ao enchimento de grãos provém do solo e da fixação biológica de nitrogênio. Segundo esses autores, durante a fase de enchimento de grãos a ocorrência de deficiências hídricas, acompanhadas de altas temperaturas, pode causar enrugamento dos grãos de cultivares sensíveis, reduzindo o rendimento e a qualidade da soja.

Doss et al. (1974) observaram que o estágio de vagem completamente desenvolvida foi o mais crítico da soja à deficiência hídrica. Kadhem et al. (1985) verificaram que o período reprodutivo, da metade dos estádios de desenvolvimento

da vagem até um pouco antes dos estádios de formação de grãos, foi crítico para a resposta da soja à irrigação.

Porém Doorenbos & Kassam (1994) afirmaram que o teor de água no solo, durante a germinação, não deve exceder 85% nem ficar abaixo de 50% da água disponível. Segundo os autores, esse seria o nível de esgotamento permissível para o manejo da irrigação em condições médias de evapotranspiração (5 a 6 mm.d⁻¹).

No Rio Grande do Sul é comum a ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo de desenvolvimento da soja, sendo esse um dos principais fatores limitantes à obtenção de elevados rendimentos de grãos (MATZENAUER et al., 1998). Mota et al. (1996) verificaram que a cultura da soja, em todas as regiões climáticas desse Estado, necessita de irrigação em qualquer época de semeadura recomendada, para todos os grupos de maturação e subperíodos avaliados.

Vários estudos comprovam que o período reprodutivo da soja é o mais sensível ao déficit hídrico; no entanto, não há consenso entre os autores quanto ao(s) estágio(s) mais crítico(s) à baixa umidade do solo. A necessidade de água na soja aumenta com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo no florescimento-enchimento de grãos e decresce depois desse estágio fenológico. Déficits hídricos expressivos durante esses estádios provocam alterações fisiológicas na planta, causando a queda prematura de folhas e flores e abortamento de vagens e também reduz a produtividade de grãos (EMBRAPA, 1999).

Doorenbos & Kassam (1994) consideram que os períodos de florescimento e de formação da colheita da soja são os mais sensíveis ao déficit hídrico, particularmente a última parte do período de florescimento e o período de desenvolvimento da vagem.

2.4 Manejo de Irrigação

No manejo da irrigação surge a palavra frequência de irrigação ou turno de rega, que nada mais é do que o número de dias decorridos entre uma irrigação e outra. A frequência de irrigação poder ser fixa ou variável, dependendo da postura assumida pelo irrigante. A frequência de irrigação fixa traz consigo a vantagem da possibilidade da programação das atividades ligadas à irrigação das culturas, uma

vez que se sabe por antecipação o quando irrigar, ficando apenas a definição de quanto irrigar.

Por outro lado, com uma frequência de irrigação variável, não se sabe exatamente quando se praticará a irrigação, mas é possível ter em mãos uma aproximação bastante boa de quanto de água aplicar.

Existem três processos básicos de se controlar a irrigação: processos baseados nas condições atmosféricas, nas condições de água do solo e nas condições de água nas plantas. Pode ser feita também a conjugação do controle da irrigação via atmosfera e via solo.

Apesar da disponibilidade de várias metodologias utilizáveis no manejo da irrigação, a grande maioria dos produtores irrigantes não tem adotado qualquer método no manejo da irrigação em suas propriedades (ESPÍNDULA NETO, 2002). Os baixos custos da água de irrigação comparativamente ao custo de implantação de um programa de manejo e gerenciamento da irrigação, bem como a dificuldade na quantificação da redução na produtividade e rentabilidade devido ao atraso na irrigação, à fertilização imprópria e irrigação excessiva têm contribuído para tal fato.

De acordo com Contin (2008) o nível de tecnologia do produtor determinará a escolha da estratégia de manejo de irrigação. Grandes produtores e os que exploram culturas de alto valor econômico podem adotar e investir em técnicas mais sofisticadas. Por outro lado, mesmo agricultores que usam níveis mais baixos de tecnologia, como a agricultura familiar, que representa cerca de 85,2% (IBGE, Censo Agropecuário 1995/96) dos estabelecimentos agropecuários do país, podem usufruir de técnicas de manejo de irrigação, como a adoção de um calendário de irrigação baseado em condições médias de solo/clima/cultura, controle operacional simplificado, que pode se basear em intervalos fixos e aplicação constante de água, ou a utilização de equipamentos próprios para o manejo da irrigação, desde que de mais fácil acesso e utilização.

Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseada em medidas do "status" da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera (JAMES, 1988). O manejo racional da água de irrigação pode ser realizado via planta, solo, clima ou pela combinação destes.

De acordo com este autor, o manejo via planta pode ser realizado por meio de avaliações do estado hídrico da cultura, como os métodos que avaliam: temperatura

foliar, potencial de água nas folhas, resistência estomática, grau de turgescência das plantas, fluxo de seiva, dentre outros. Estes métodos são promissores, entretanto, devido à complexidade envolvida e também a falta de informações mais específicas, eles ainda não tem sido usados em grande escala.

O manejo racional da irrigação deve evitar que a água disponível atinja valores que afetam a transpiração das plantas. Existem três aspectos que devem ser considerados na programação das estratégias de irrigação como o momento de irrigar, a quantidade necessária em cada irrigação e o consumo total de água da cultura durante o seu ciclo (PEITER et al., 1999).

O principal objetivo da irrigação é promover aumento de produtividade e conseqüente aumento de rentabilidade na propriedade agrícola, isto é, garantir que o incremento nos rendimentos sejam maiores que a adição de custos. Porém, os riscos do uso dessa tecnologia devem ser criteriosamente analisados, visto que a irrigação vai muito além da aplicação de água ao sistema produtivo agrícola, pois a agricultura irrigada se torna um novo sistema de produção que deve ser tratado de maneira diferenciada, onde o aumento da produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola só ocorrerá se houver uma interação entre os diferentes componentes do sistema produtivo. (SANTOS, 2004).

O momento adequado para irrigar a cultura ou seja, saber quando irrigar é saber até onde pode atingir o secamento do solo (tensão de água no solo limite para irrigação) sem que haja perdas de produtividade na planta. Esse secamento controlado deve ser seguro e proporcionar um bom arejamento e desenvolvimento das raízes, explorando melhor os recursos disponíveis no solo. Manter o solo muito úmido por irrigações muito freqüentes pode inibir o desenvolvimento das raízes e aumentar a incidência de fungos e bactérias, significando manter a tensão abaixo da tensão de água adequada para a cultura. Controlar estes ciclos de secamento e molhamento facilitam o transporte de nutrientes no solo e nos tecidos vegetais da planta, evitando, entre outros (HIDROSENSE, 2010).

Havendo a decisão de irrigar, é necessário saber o quanto irrigar, isto significa conhecer a capacidade de retenção de água do solo, de forma a garantir que a água repostada pela irrigação fique armazenada em uma profundidade que possa ser aproveitada pelas raízes das plantas. Irrigar acima da capacidade útil de armazenamento do solo significa ter perdas de água por percolação, e também a perda de nutrientes por lixiviação. Irrigar abaixo da capacidade útil do solo significa

umedecer uma profundidade menor, limitando a mobilidade de nutrientes e exigindo uma maior frequência de irrigação, pelo menor volume estocado (HIDROSENSE, 2010).

A determinação da lâmina de irrigação pode ser feita de diversas formas: (i) medidas de evapotranspiração; (ii) percentual da demanda da evapotranspiração da atmosfera; (iii) ou pela análise das lâminas médias utilizadas em outras regiões como mesmo clima e cultura (ENGLISH & NAKAMURA, 1989).

A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. A evapotranspiração é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação.

O consumo de água envolvido no processo de evapotranspiração é influenciado por diversos fatores, entre eles, a ação combinada dos elementos meteorológicos como a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, o grau de sombreamento do dossel vegetal e a quantidade de água prontamente disponível no solo. (DOORENBOS & PRUITT, 1977, MEDEIROS, 2002). De maneira geral, as taxas de evaporação e transpiração aumentam com a maior disponibilidade de energia solar, maior temperatura do ar, maior velocidade do vento e menor umidade relativa.

A determinação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância no contexto agrícola e ambiental, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. A evapotranspiração de referência (ET_0) é a evapotranspiração de uma cultura hipotética com dossel de cobertura total do solo, sem restrições hídricas ou nutricionais, com altura média de 12 cm, albedo de 0,23 e resistência da superfície de 70 s m^{-1} .

O coeficiente de cultura (k_c) relaciona a evapotranspiração de determinada cultura com a evapotranspiração de referência em condições ótimas de umidade, fertilidade e sanidade, em seus diferentes estádios de seu desenvolvimento. Contudo, quando as condições de campo diferem dessas condições padrão, coeficientes de correção são necessários para o ajuste da ET_c , tais como o coeficiente de déficit de umidade no solo (k_s) e o de localização da irrigação (K_l), os quais refletem o efeito das condições ambientais e do manejo da irrigação no campo (ALLEN et al., 1998).

Mendonça et al (2007) destaca que o uso adequado de coeficientes de cultura (k_c) associados a estimativas de evapotranspiração de referência (ET_0) se constituem nas principais informações necessárias para o manejo racional da irrigação para fins de planejamento do uso da água.

O coeficiente de cultura varia com o tipo de cultura, e a sua fase de desenvolvimento, com as condições climáticas e com os tratos culturais, sendo que, para fins práticos de manejo da água de irrigação, são considerados quatro estádios de desenvolvimento da cultura (ALLEN et al, 1998):

- I. Estádio inicial: começa no plantio e estende-se até, aproximadamente, quando a planta cobre 10% da superfície do solo;
- II. Estádio de crescimento: inicia-se no final do primeiro estágio até completar a cobertura efetiva do solo;
- III. Estádio intermediário: ocorre da cobertura completa efetiva ao início da maturação; e
- IV. Estádio final: que compreende o período desde o início da maturação até a colheita ou senescência completa.

Silveira & Stone (2004) citam que determinadas variações entre os valores de k_c podem ocorrer entre diferentes cultivares ou mesmo com a utilização de práticas culturais diferenciadas.

Segundo Medeiros et al. (2004), o k_c é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado; todavia, sua determinação sob condições de campo exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos, em virtude da quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico em uma área irrigada. Para obtenção de k_c ao longo do ciclo da cultura, a utilização de lisímetros se torna vantajosa, devido a boa precisão obtida por esse sistema noncontrole do balanço hídrico do solo.

Os valores de K_c são determinados pela equação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (2.1)$$

em que: E_{Tc} evapotranspiração da cultura, mm d^{-1} ;
 E_{To} evapotranspiração de referência, mm d^{-1} .

Os valores de k_c são determinados diariamente, em trabalhos realizados no campo ou unidades experimentais, e agrupados no intervalo de dias de cada estágio de desenvolvimento, sendo que o valor médio para cada estágio de desenvolvimento representa o k_c para as condições daquela cultura e para a região onde foi determinada.

Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação do seu teor de água; os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; já os métodos baseados no clima consideram desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A, até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (ROCHA et al., 2003).

Métodos diretos e indiretos também são utilizados na determinação da evapotranspiração (BERNARDO et al., 2006). Como métodos diretos, os autores citam o método dos lisímetros, das parcelas experimentais e o de controle da umidade do solo; como métodos indiretos, descrevem os evaporímetros e as equações baseadas em dados experimentais.

2.5 Variação Espaço-Temporal das Condições Ambientais do Cultivo Irrigado

A utilização da irrigação em cultivos necessita de um manejo eficiente, dado aos altos investimentos demandados pela atividade. Em áreas maiores a variabilidade de solo, micro clima, topografia, exposição a radiação solar e exposição aos ventos, influenciam na relação solo – planta – atmosfera, gerando diferentes necessidades hídricas para as plantas. Estas diferenças devem ser observadas quando do manejo da irrigação, a fim de suprir adequadamente as plantas de água e reduzir as diferenças que por ventura possam ocorrer na produtividade.

A água, de acordo com Theshow (1970), participa de todos os processos da vida, é fator limitante do desenvolvimento das plantas e se relaciona intimamente

com a temperatura na influência sobre os vegetais. Com o suprimento ótimo de água e nutrientes, e na ausência de plantas invasoras, pragas e doenças, a taxa de crescimento é determinada pela radiação solar.

A umidade do solo varia espacial e temporalmente sendo função de características edafoclimáticas da área de estudo (LIBARDI (2000). Determinações diretas e freqüentes do conteúdo de água do solo são bastante difíceis e trabalhosas, sobretudo em grandes áreas (ORTOLANI & CAMARGO, 1987).

A caracterização da variabilidade do armazenamento de água no solo é dependente de uma adequada amostragem e uma posterior análise dos fatores ambientais que interferem no processo (GONÇALVES et al., 1999).

De acordo com Soares (2010) o manejo da água no solo requer estimativas seguras das suas propriedades hidráulicas. Babalola (1978) salienta que alta variabilidade de propriedades físicas do solo, tais como o conteúdo de areia, argila e silte, bem como da densidade, resultam em alta variabilidade nas características de retenção de água pelo solo. Desta forma, torna-se importante o conhecimento de como se comportam estas propriedades, onde se pretende ter conhecimento e controle da dinâmica da água no solo, como em uma área irrigada.

Variações da densidade global e de textura de um horizonte para outro dentro do mesmo perfil de solo podem determinar a necessidade do uso de curvas distintas para cada horizonte. Assim, o uso de curvas de retenção deve ser feito com muito critério e suas limitações devem ser conhecidas (REICHARDT, 1987).

Muitos fatores do solo afetam a retenção de água. O principal deles é a granulometria, que determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água. Outro fator é a estrutura do solo que determina o arranjo das partículas que, por sua vez, vai determinar o tamanho dos poros.

A água armazenada e a disponível no solo para as plantas têm os limites superiores e inferiores denominados, respectivamente, de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) (MANTOVANI, 1994). A CC 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) (ANDRADE, 1998). Segundo o mesmo autor, o ponto de murcha permanente é o conteúdo de água no solo retido a um potencial matricial tão

elevado, em valor absoluto, 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). Os limites de CC e PMP variam com o tipo de solo e não devem ser tomados como fixos, pois o dinamismo da interação solo-água-planta-atmosfera e as variabilidades espacial e temporal do solo afetam esses limites (MANTOVANI, 1994).

O potencial matricial da capacidade de campo é fixado em 33 kPa para solos com textura grossa e 10 kPa para solos de textura fina (BERNANDO, 2005), porém em solos tropicais, esse critério foi alterado para 10 kPa e 6 kPa respectivamente (REICHARDT, 1988).

Nem toda a água colocada no solo é retida; parte se move no sentido vertical devido à ação da gravidade, saindo da zona radicular das plantas e indo contribuir para a recarga do lençol freático (REICHARDT, 1988).

Assim, a produtividade agrícola está intimamente relacionada à dinâmica da água no solo e em especial aos atributos físicos que afetam a relação solo-água, uma vez que o solo constitui-se no principal reservatório de água para as plantas. Como a variação de armazenamento de água ocorre na camada onde se encontra aproximadamente 80 % do sistema radicular da planta em questão (profundidade efetiva), a drenagem profunda é contabilizada como excesso (OMETTO, 1989). A ascensão capilar pode ser desprezível em solos profundos (PEREIRA et al., 1997). Geralmente o conteúdo volumétrico de água é maior no solo sob semeadura direta do que no sob preparo convencional atribuindo-se esse fato à melhora dos atributos físicos dos solos sob semeadura direta e à menor evaporação da água diretamente da superfície de solos com cobertura de resíduo vegetal (ZHAI et al., 1990). O manejo sob semeadura direta apresenta taxas de infiltração de água superiores em relação às do preparo convencional e a sucessão soja-aveia foi a que proporcionou maior taxa de infiltração (ALVES SOBRINHO et al., 2003). ARZENO (1990) verificou que solos preparados com aração e gradagem apresentam reduções de até 85 % na taxa de infiltração de água em relação em solos sob semeadura direta.

Beckett & Webster (1971) indicam as diferenças climáticas regionais como um dos fatores responsáveis pela variação dos solos e acrescentam, ainda, a ação do homem como fator de variabilidade, principalmente nas características químicas.

De acordo com os mesmos autores os solos aluviais são ainda mais problemáticos, podendo exibir diferenças significativas nas suas propriedades e características em pequenas dimensões, tanto vertical como horizontalmente, acarretando problemas de manejo de solo e água. Esses solos, apesar dos problemas típicos, são muito utilizados para a agricultura, o que justifica a necessidade de pesquisas que propiciem melhor compreensão de sua variabilidade espacial, para aprimoramento das técnicas de manejo de solo e água.

Nesse contexto, o conhecimento da variabilidade espacial da capacidade de retenção de água e de outras características correlacionadas com a disponibilidade de água do solo, é de fundamental importância no manejo da irrigação, permitindo o zoneamento da área em glebas que receberão manejo diferenciado.

Visto que todos estes fatores interferem de maneira direta na demanda e disponibilidade de água as culturas, o controle e manejo de irrigação é fator fundamental para se alcançar a máxima produtividade.

O uso de equipamentos e tecnologias para o manejo da irrigação contribui de forma significativa na eficiência do uso da água e energia.

2.5.1 Região de Bossoroca – RS

A região de Bossoroca esta localizada no noroeste do Rio Grande do Sul, com altitude média de 260 metros acima do nível do mar. É uma região do agronegócio desenvolvido por monoculturas, de soja e milho e bovinocultura de corte. Em razão grande perda de solo ocasionada pelas chuvas de grande intensidade e pequena duração, características em algumas épocas do ano, se utilizando o plantio.

Segundo Melo (2006), embora o regime pluviométrico anual no Rio Grande do Sul seja considerado bem distribuído, tem-se verificado, em alguns anos, a ocorrência de períodos com deficiência hídrica.

Esta deficiência hídrica ocorre em anos de La Niña principalmente na região em estudo. Devido a este fator climático, esta de forma crescente o uso de irrigações na região, proporcionando assim garantias de produtividade ao produtor rural.

De acordo com Michelin (2005), o Estado do Rio Grande do Sul representa o quinto Estado em áreas irrigadas, com aproximadamente 35 a 40 mil hectares irrigados por pivô central.

De acordo com dados da região em estudo, há uma concentração de equipamentos de irrigação do tipo pivô central na faixa de 50 e 100 hectares.

Estes equipamentos encontrados na região estão na faixa de pequeno porte até 40 hectares e médio porte até 100 hectares. Equipamentos de maior tamanho não foram encontrados na região em estudo.

Os equipamentos são instalados, nesta região de acordo com a topografia encontrada e de acordo com o tamanho das áreas das propriedades. A topografia apresenta-se em relevo de levemente ondulado, a ondulado.

A capacidade de instalação dos equipamentos também esta condicionada à disponibilidade hídrica. Equipamentos maiores necessitam de volumes maiores de água, maiores reservatórios e também maiores recursos econômicos.

2.6 Irrigâmetro

Em razão do grande número de métodos existentes para estimativa da evapotranspiração potencial das culturas, a escolha do método mais adequado depende da disponibilidade de dados meteorológicos, do nível de precisão exigido, da finalidade (se manejo da irrigação ou pesquisa) e do custo de aquisição de equipamentos. Esses fatores têm levado pesquisadores a desenvolver métodos alternativos para determinação da evapotranspiração para fins práticos de manejo da água de irrigação, objetivando baixo custo, fácil manuseio e boa precisão (OLIVEIRA et al., 2008).

O irrigâmetro foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), objetivando ser uma ferramenta prática para o irrigante. O irrigâmetro combina o método de estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho evapopluiométrico que fornece diretamente o momento de irrigar e o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, de maneira simplificada, precisa e com custo reduzido, permitindo efetuar o cômputo da efetividade da chuva no manejo da irrigação. Estando o irrigâmetro ajustado para as condições de solo, cultura e equipamento de irrigação, o manejo da água é conduzido sem a necessidade de cálculos, sendo

utilizado um equipamento para cada cultura em exploração (OLIVEIRA & RAMOS, 2008).

Segundo Oliveira (2008) o irrigâmetro possui três escalas: (a) escala laminar - graduada no próprio tubo de alimentação do aparelho, que possui a função de medir a lâmina de água evaporada ou evapotranspirada; (b) escala da régua de manejo - sem graduação, possui quatro faces e em cada uma delas, quatro faixas verticais de cores: azul, verde, amarela e vermelha. A sua função é indicar a necessidade de irrigação; e (c) escala da régua temporal ou percentual – graduada em horas e minutos ou em porcentagem, esta régua indica o tempo de funcionamento, no caso de aspersão convencional ou localizada, ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, no caso de pivô central ou sistema linear.

Na régua de manejo, as quatro faixas coloridas são indicadoras do momento de irrigar a cultura. Quando o nível da água no interior do tubo de alimentação se encontra na direção da faixa azul ou da faixa verde, é indicativo de alta e boa disponibilidade de água no solo, respectivamente, não havendo necessidade de irrigar a cultura; na direção da faixa amarela, é recomendável irrigar e caso o nível de água abaixe a ponto de atingir a faixa vermelha, o irrigâmetro estará indicando ao produtor que o momento da irrigação já passou, podendo ocorrer redução na produtividade da cultura que está sendo irrigada.

A determinação do consumo de água das culturas pelo irrigâmetro em seus diferentes estádios de desenvolvimento se baseia na variação do nível da água no evaporatório do equipamento. Na fase inicial de desenvolvimento (fase I), o nível da água no evaporatório é o mais baixo, em razão do menor consumo de água da cultura nesse período. A fase de florescimento e enchimento de grãos (fase III) se caracteriza pelo maior consumo de água pela cultura durante o ciclo, sendo o nível de água no evaporatório o mais alto.

Tagliaferre (2006) trabalhando com o desempenho do irrigâmetro obteve resultados que mostram que o irrigâmetro pode ser recomendado para o manejo da água na agricultura irrigada. Os experimentos foram conduzidos na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento do irrigâmetro pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, em Viçosa, MG, situada a 20° 45' de latitude Sul e 42° 51' de longitude Oeste, numa altitude média de 651 m. Os elementos climáticos diários foram obtidos na estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Campus da UFV, próximo à área experimental.

2.7 Tanque Classe “A”

O tanque classe “A” (TCA) é um dos métodos mais utilizados para estimativa da evapotranspiração de referência no manejo da água de irrigação. Segundo Sedyama (1996), o maior uso desse equipamento é devido à sua praticidade e aos baixos custos de instalação e manutenção. De acordo com Smith (1991), quando bem conduzido, esse método oferece resultados confiáveis na determinação da evapotranspiração de referência. Esse método mede o efeito integrado da radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície de água-livre.

O TCA é um evaporímetro (tanque) de dimensão circular, com 1,21 m de diâmetro por 0,254 m de altura e construído em chapa galvanizada número 22. É assentado no solo sobre um estrado de madeira de 0,10 x 0,05 x 1,24 m, nivelado sobre o terreno. O tanque classe “A” é cheio com água limpa até 5 cm da borda superior e se permite um nível mínimo de água de 7,5 cm, a partir da borda, ou seja, a cada 25 mm (2,5 cm) de evaporação deve-se restaurar o volume do tanque. Sua operação é bastante simples e a variação do nível da água é medida com uma ponta em forma de gancho, assentada num poço tranquilizador, sendo a precisão da medida de cerca de 0,02 mm.

A leitura do nível de água é realizada diariamente e a diferença entre leituras caracteriza a evaporação no período. Porém, os processos de evaporação da água livre no tanque (EV) e a evapotranspiração de referencia da cultura (ET_o) são semelhantes apenas nos seus aspectos físicos. Para a conversão da evaporação em evapotranspiração potencial, coeficientes específicos dependentes do clima e da bordadura circundante são utilizados (DOORENBOS & PRUITT, 1977), de acordo com a expressão:

$$ET_o = Ev.K_p \quad (2.2)$$

em que: E_{To} = evapotranspiração de referencia que ocorre em uma superfície vegetada, sem limitação de umidade, em plena fase de desenvolvimento e em uma área extensa;

E_v = perda de água por evaporação (mm/período) a partir da superfície livre do tanque classe “A”;

K_p = coeficiente de tanque classe “A” usado para converter E_v em E_{To} .

O valor de K_p varia com as condições da área circundante do tanque, ou seja, tamanho e natureza da área de bordadura, condições de umidade relativa do ar e velocidade do vento. O coeficiente do tanque classe “A” em superfície coberta com grama foi ajustado por Allen e Pruitt (1991).

Deve-se levar em consideração que a evapotranspiração de referência determinada com o uso do tanque classe “A” apresenta uma adequada precisão no manejo da irrigação por períodos de no mínimo cinco dias. Outro ponto importante é seguir corretamente as recomendações de construção do tanque, principalmente no que se refere ao tipo de metal utilizado. A utilização de metal não recomendado pode proporcionar um erro de até 30% na estimativa da evapotranspiração potencial (BERNARDO et al., 2006).

2.8 Qualidade da Irrigação

A qualidade da irrigação pode ser avaliada pelo conhecimento da sua efetividade e da eficiência do uso da água pelas plantas. O termo efetividade da irrigação, segundo FRIZZONE (1992), descreve qualitativamente a eficiência de aplicação, a uniformidade de distribuição e a eficiência de armazenagem da água no solo. A eficiência de aplicação representa, basicamente, a fração do volume total de água aplicada que é armazenada na profundidade do sistema radicular, enquanto que a eficiência de armazenagem, a fração do volume de água requerida armazenada na profundidade do sistema radicular.

Para medida da uniformidade de distribuição ou, de outra forma, da variabilidade da lâmina de irrigação aplicada sobre a superfície do solo, uma série

de índices tem sido definida como o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) modificado por HERRMANN & HEIN (1968) e a uniformidade de distribuição (UD) KRUISE (1978), dentre outros.

A eficiência do uso da água, por outro lado, é definida por BEGG & TURNER (1976) como a razão entre a produção e a evapotranspiração da cultura. Esse mesmo conceito é definido, de forma mais abrangente, por HILLEL (1972), como sendo a razão entre a produção da cultura e o volume total de água aplicado durante o seu desenvolvimento.

A qualidade da irrigação depende conseqüentemente, tanto dos fatores que envolvem o desempenho do equipamento de irrigação, como dos fatores associados ao controle da irrigação, estes últimos diretamente relacionados às características genéticas da planta, às propriedades físico hídricas do solo e às condições climáticas locais.

2.9 Pivô Central

O pivô central é um sistema de irrigação por aspersão que opera em círculos, constituído de uma linha lateral com emissores, ancorada em uma das extremidades e suportada por torres dotadas de rodas equipadas com unidades propulsoras (FARIA & VIEIRA, 1986). Segundo os autores, a velocidade de rotação das torres em torno do ponto central é regulada por meio de um relé percentual situado no painel do equipamento, que comanda a velocidade de deslocamento da última torre.

O sistema de irrigação tipo pivô central pertence ao grupo de sistemas mecanizados de aspersão que foi idealizado pelo norte americano Frank Zybach na década de 40. Foi introduzido no Brasil no final dos anos 70, impulsionado sobretudo por programas governamentais como o PROINE, PROFIR & PRONI (VILELA 1999).

De fácil operação, alta eficiência na aplicação da água (70 a 90%) e, graças à grande versatilidade desse equipamento e baixo custo operacional, os pivôs rapidamente conquistaram a preferência do agricultor irrigante. Está atualmente entre os equipamentos de irrigação mais comercializados e é o que mais tem contribuído para o incremento da área irrigada no País.

No início eram máquinas simples acionadas por turbinas hidráulicas. A uniformidade de aplicação de água sobre a superfície do solo dependia do relevo e da extensão do pivô. Atualmente, o desenvolvimento e a incorporação de diversos acessórios e dispositivos permitem a utilização desses equipamentos nas mais diversas situações.

Pereira (2001) informa que o deslocamento de toda linha lateral do pivô central no campo é comandado pelo andamento da torre mais externa. Segundo o autor, supondo-se inicialmente que todas as torres encontram-se alinhadas e apenas a última se movimenta, o acionamento do motoredutor da torre subsequente processa-se quando o vão em movimento deflete-se em relação aos demais.

Continuando o processo entre todos os vãos adjacentes, promove-se a movimentação de toda a linha de irrigação pelo funcionamento intermitente dos motoredutores das torres. O autor comenta ainda que embora a velocidade angular de deslocamento do pivô central seja constante, a velocidade média de deslocamento de cada torre deve ser progressivamente maior a partir do ponto central do pivô, de maneira a induzir o movimento circular do equipamento na área.

Como a área irrigada é progressivamente maior, aumenta-se também a vazão dos emissores ao longo da linha lateral do equipamento, de modo que toda a área irrigada receba a mesma lâmina de água de maneira uniforme. Dessa forma, têm-se elevadas intensidades de aplicação de água na extremidade final do pivô e menores intensidades de aplicação nas proximidades do centro do equipamento.

O pivô central é um dos sistemas de irrigação por aspersão mais automatizados que existe no mercado. Essa automação pode variar desde simples acessórios a componentes que permitem colocá-lo em funcionamento a distância, por meio de ondas de rádio ou telefone celular. Existem também pivôs que são totalmente controlados por estações computadorizadas capazes de coletar dados (umidade do solo, evapotranspiração, pluviometria, por exemplo), analisá-los e avaliar o momento ideal e a exata quantidade de água que deverá ser aplicada para suprir a demanda da cultura (VILELA, 1999).

Dentre os métodos de irrigação, o de aspersão por pivô central tem-se expandido de forma mais significativa, pelas seguintes razões: boa uniformidade de distribuição de água, quando bem dimensionado; fácil controle da lâmina d'água aplicada; grande versatilidade para as diversas condições de topografia e tipos de

solo; menor dispêndio de mão-de-obra e maior divulgação por parte de fabricantes e vendedores (BERNARDO, 1989).

A modernização do sistema pivô central tem ocorrido, principalmente no sistema de propulsão e alinhamento e nos dispositivos de distribuição de água. Novas tecnologias foram incorporadas, como sistema de propulsão elétrica, vãos de grande comprimento, tubulação aérea de maior diâmetro e comprimento, articulações flexíveis entre torres. Com o aumento dos custos da energia, foram introduzidos os emissores de baixa pressão fixos, posteriormente o sistema LEPA, um modelo de aspersor que aplica água com consumo baixo de energia para aplicação de água, e mais recentemente foram introduzidos os sprays rotativos.

A necessidade de reduzir o consumo de energia e ao mesmo tempo, manter a uniformidade e a eficiência da aplicação de água passou a ser uma grande preocupação. Segundo Gilley & Watts (1977) & Gilley et al. (1990), a redução de pressão de operação pela utilização de emissores de baixa pressão é a maneira mais fácil de reduzir o consumo de energia dos sistemas pivô central. Os emissores de baixa pressão foram desenvolvidos para substituir os tradicionais aspersores de impacto, aplicando a mesma lâmina de água, com uniformidade comparável e menor utilização de energia.

Os sistemas pivô central passaram então a serem projetados ou redimensionados para trabalhar em pressão reduzida. Entretanto, estes sistemas tendem a apresentar problemas de manejo de água e solo, como aumento da taxa de aplicação (predisposição para escoamento superficial), perdas por deriva pela ação do vento e evaporação, além de redução na uniformidade devido à menor superposição, em razão da diminuição do raio molhado dos aspersores.

Rolland (1982) afirma que o aumento do comprimento da tubulação lateral, ou seja, o raio do equipamento, aumenta a viabilidade econômica do equipamento, reduzindo o custo por área irrigada. Entretanto, pivôs de grande porte normalmente apresentam como características a ocorrência de altas taxas de aplicação de água, grande perda de carga na tubulação aérea, e elevado número de horas por revolução, dificultando o manejo do equipamento. Tecnologias incorporadas ao equipamento permitem minimizar ou eliminar estes problemas.

O movimento descontínuo da lateral afeta a uniformidade de aplicação de água dos sistemas móveis de irrigação (Hanson & Wallender, 1986, apud FRIZZONE & NETO, 2003). A redução no coeficiente de uniformidade é maior para

sistemas equipados com emissores fixos de baixa pressão e pequeno raio de alcance. Por ter um movimento mais uniforme, o último vão terá maior uniformidade de distribuição de água no sentido circular.

Podem ser encontrados pivôs centrais com diferentes velocidades de deslocamento da última torre, sua velocidade é dependente da relação de redução do motoredutor e da relação dos redutores de roda, da rotação do motor do motoredutor e do tipo de pneu utilizado. Além da velocidade de deslocamento da última torre, os pivôs centrais podem se diferenciar em relação ao ciclo do relé percentual, comumente encontrado de 60 segundos, onde o mesmo é regulado para 50%, permanece ligado 30 segundos e desligado outros 30 segundos, podem ser encontrados relés com ciclos de tempo diferentes. Segundo Folegatti et al. (1998) o sistema de propulsão, em pivôs centrais, com relé percentual de ciclo reduzido e alta velocidade de deslocamento das torres minimiza os efeitos de redução da uniformidade, reduz o tempo de giro e a lâmina por volta, adequando o equipamento à práticas de quimigação.

No dimensionamento de sistemas de irrigação, deve ser considerada a variabilidade existente entre os emissores, decorrentes do processo de fabricação. A fabricação deverá ser exata, uniforme e constantemente monitorada, pois pequenas variações poderão causar grandes diferenças de vazão (VIEIRA, 1996).

Keller & Karmeli (1974) comentam sobre a uniformidade dos sistemas de irrigação, e citam que esta uniformidade depende também da precisão com que os emissores são fabricados. Keller & Bliesner (1990) assumem que a espessura do anel efetivamente irrigado pelo canhão final é cerca de 75% do raio de alcance do canhão final. Como parte da vazão do canhão final aplicada além do raio efetivamente irrigado é perdida, assumem que as perdas superficiais na área do canhão é da ordem de 7 a 8% da vazão do canhão, mesmo quando a evaporação é desprezada.

Uma melhor uniformidade de distribuição da água aplicada pelo canhão final é obtida quando a sua seleção é feita com base no seu perfil radial estacionário (a relação entre intensidade de aplicação de água e distância ao aspersor, que é determinada em ensaios de distribuição de água). Exemplos de seleção do canhão final com base no perfil estacionário de distribuição de água são encontrados em Solomon & Keller (1978).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi desenvolvido em área do município de Bossoroca, Estado do Rio Grande do Sul. O campo experimental localiza-se junto a Granja Boligon, situada no Rincão Bonito, pertencente ao Sr. Sergio Boligon.

O município de Bossoroca apresenta coordenadas geográficas 28°43'48,42" de latitude sul e 54°54'40,40" de longitude oeste (Praça Porfirio Peixoto, localizada no centro do município). O local encontra-se a 260 m acima do nível do mar, apresentando clima predominante subtropical úmido, com temperaturas variando entre 13 e 23°C, com média térmica de 18,9°C, ventos predominantes na direção leste com velocidades médias entre 25 e 30 km/h e precipitação pluviométrica de 1.700 mm.ano⁻¹ (<http://www.bossoroca.rs.gov.br/>).

A área experimental situada nas coordenadas geográficas 28° 39' 55,74" de latitude sul e 55° 01' 16,04" de longitude oeste, vem sendo explorada há dezoito anos, com os cultivos de milho, soja, trigo, girassol e canola, Com o cultivo em sistema de plantio direto a nove anos.

O solo da área experimental foi preparado no sistema de plantio direto na palha de milho, que foi semeado na área no período de setembro/2009 a janeiro/2010, seguido de dessecação e finalização da área para semeadura da soja. A semeadura na área experimental foi realizada em linhas circulares, seguindo o alinhamento dos rodados do pivô central. Uma vez que a instalação do pivô central foi realizada em agosto de 2009.

A área experimental sob o pivô central, perfazendo uma circunferência com 315 m de raio irrigado e um ângulo de irrigação de 360° (31,17 ha). Este ângulo irrigado foi subdividido em sete setores de 45° (Setores I, II, III, IV, V, VI e VII) (Figura 02), sendo que cada setor é considerado como um tratamento.

Estes setores foram georreferenciados e sinalizados com hastes numeradas para facilitar suas identificações.

O pivô central da marca Valley, teve seu funcionamento inicial no mês outubro do ano de 2009 durante a safra da cultura do milho.

Descrição e dados técnicos do pivô central Valley:

- Modelo: 4871 – 8000 – VSL / 6 – 1,311.
- Altura: standard – 2,74 m.
- Composição: um lance longo 6,5/8”; cinco lances médio 6,5/8” com balanço de 25 m, com spray final, sem canhão final.
- Aspersores: super spray, com tubo de descida flexível.
- Área circular irrigada: 31,00 há.
- Período (relé a 100%): 7,02 horas.
- Vazão total: 297,58 m³/h.
- Comprimento até a ultima torre: 287 m
- Motorreductores em alta: 4.

A Figura 02 mostra o croqui de instalação do experimento mostrando a distribuição dos setores.

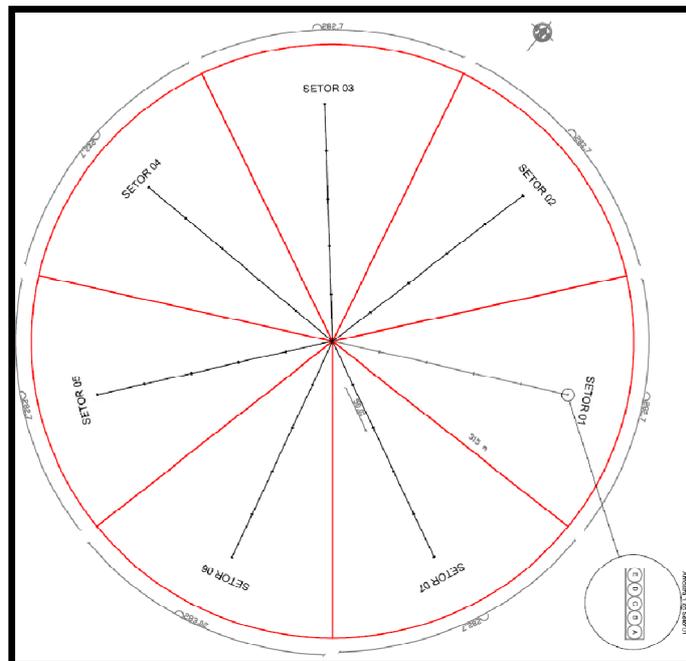


Figura 02: Croqui da área experimental.

Na Figura 03 consta a área de instalação do experimento.



Figura 03: Vista da área da instalação do experimento. Bossoroca, RS, 2010.

O experimento foi realizado no período de janeiro/2010 a junho/2010.

3.1.2 Setores do experimento

A área do experimento totalizou 31,17 ha, dividido em sete setores iguais de 4,45 ha. Estes setores foram georreferenciados e identificados com hastes numeradas (Figura 04).

A Figura 04 mostra a identificação dos setores do experimento.



Figura 04: Vista da identificação de um setor do experimento. Bossoroca, RS, 2010.

3.1.3 Coleta dos dados de planta

Dentro de cada setor foram georreferenciados cinco pontos, nestes pontos foram estabelecidas cinco plantas para a coleta de dados. Entre os pontos constava uma distância de cinquenta metros.

Estas plantas foram identificadas com hastes numeradas para uma melhor localização dentro de cada setor, foram analisadas igualmente, sempre procurando analisar as mesmas durante todo o ciclo da cultura.

Se houvesse a perda de uma das plantas em análise de estudo, pegava-se a planta que se encontrava ao lado.

As coletas de dados foram feitas quinzenalmente, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura em estudo, entorno de 130 dias. Estas coletas objetivaram analisar seu índice de área foliar, altura de planta, número de folhas e número de vagens por planta.

A figura 05 mostra a identificação das cinco plantas de soja.



Figura 05: Vista da identificação das plantas de soja do experimento. Bossoroca, RS, 2010.

3.2 Obtenção de dados básicos

3.2.1 Solo

O solo do local de pesquisa é classificado como Nitosolo Vermelho Distroférico Latossólico” pertencente à unidade de mapeamento São Borja, É um

solo com “B” textural. Corresponde, no antigo Sistema, à classe dos Solos Podzólicos. São solos relativamente profundos e bem drenados, esse horizonte é obrigatoriamente mais argiloso que os horizontes acima e abaixo dele (STRECK et al., 2002). Apresenta relevo ondulado a suavemente ondulado, caracterizado por elevações arredondadas (coxilhas) apresentando, em muitos locais, afloramentos rochosos. No interior do fragmento estudado, encontram-se afloramentos rochosos que se intercalam com solo mais profundo.

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^{2+} (pelo $\text{H}^{2}\text{SO}^{4}$) de 18% a $< 36\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

3.2.2 Características físicas do solo

Para coleta das amostras, destinadas as análises físicas do solo, nos sete setores, foram marcados cinco pontos de coleta, e em cada ponto foram retiradas amostras nas profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm, para obtenção da distribuição granulométrica. Em ambas as determinações, em cada ponto de coleta foram realizadas três repetições.

Após coletada as amostras, foram identificadas e encaminhadas ao laboratório de análise de solos, adubos, corretivos e tecido vegetal vinculado a rede oficial de laboratórios de análise de solo e de tecido vegetal dos estados do RS e SC – ROLAS Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigo (FUNDACEP).

3.2.3 Características químicas do solo

Para a análise química do solo, foram retiradas cinco amostras, dentro de cada setor de 45° do pivô central. Estas amostras depois de identificadas foram encaminhadas para o laboratório de análise de solos, adubos, corretivos e tecido vegetal vinculado a rede oficial de laboratórios de análise de solo e de tecido vegetal

dos estados do RS e SC – ROLAS Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigo (FUNDACEP).

Na Figura 06 observar-se os pontos, dentro da área experimental, onde foram coletadas as amostras para a realização das caracterizações física e química.

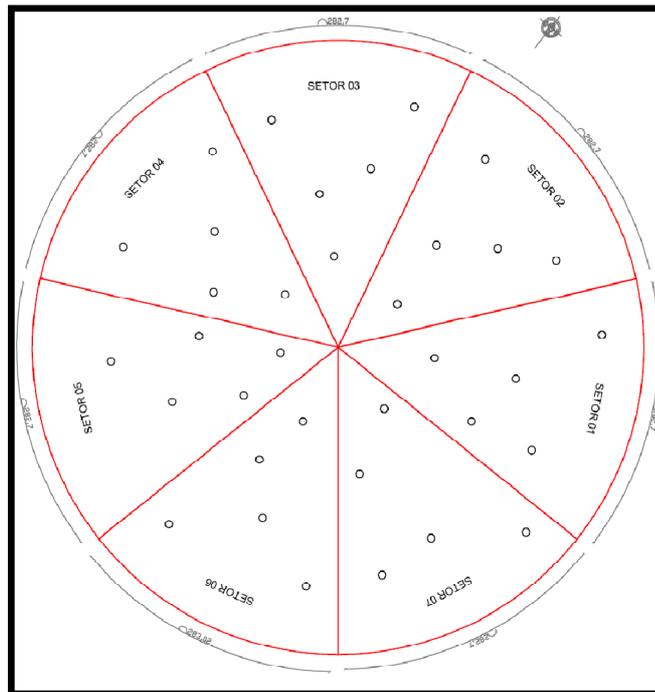


Figura 06: Localização dos pontos das coletas para a caracterização física e química. Bossoroca, RS, 2010.

3.2.4 Clima

Segundo Boligon (2005) o clima da região, segundo a Classificação Climática de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical de clima temperado chuvoso. Segundo MALUF et al. (1999), a temperatura máxima do mês mais quente, em dezembro, é de 39,8°C e a temperatura mínima do mês mais frio, em julho, é de -2,6°C. A temperatura média anual é de 17,9°C. A precipitação média anual é de 1534 mm/ano (dados para o município de Santiago, no período de 1931-1960).

3.2.5 Elementos Agrometeorológicos

Os dados relativos às condições climáticas foram obtidos em estação climatológica automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), estação meteorológica de São Luiz Gonzaga, RS aberta em vinte e sete de julho de dois mil e sete (27/07/2007), localizada nas coordenadas, latitude – 28.4172° e longitude – 54.9625°, na altitude de 245 metros do nível do mar e situada a 28 Km da área experimental. Os elementos agrometeorológicos determinados diariamente foram à precipitação pluvial (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar ($w.m^{-2}$), fotoperíodo (horas) e velocidade do vento ($m.s^{-1}$). Todos esses dados utilizados neste trabalho.

3.3 Implantação e condução do experimento

3.3.1 Cultivar de soja Munasqa

A cultivar Munasqa teve emergência determinada no 7º (sétimo) dia após a semeadura (22 de janeiro de 2010), seu ciclo foi de 130 dias (colhido em 29 de junho de 2010).

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

Descrição	Característica
Hábito de crescimento	Determinado
Dias floração	51
Dias maturação	141
Cor da pubescência	Branca
Cor da flor	Branca
Potencial de rendimento	Muito Alto
Altura de planta (cm)	87
Tipo de planta	Média Alta
Peso de mil sementes (g)	180
Plantas. m ²	28
Acamamento	Resistente

Fonte: Igra Sementes

3.3.2 Semeadura

Inicialmente a área foi preparada com a aplicação de herbicida em pré-plantio Glifosato na dosagem de 2 l.ha^{-1} . A semeadura foi realizada no dia 15 de janeiro de 2010 no Sistema de Plantio Direto sobre palhada de milho. Foi utilizada a cultivar de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) transgênica Munasqa (ciclo tardio). Na semeadura utilizou-se uma semeadora de 12 linhas, marca Metasa, com espaçamento de 0,40 m entre linhas, totalizando 18 plantas/metro linear, totalizando 45.000 plantas/metro.

As sementes foram tratadas com fungicida sistêmico e de contato para tratamento de sementes Vitavax – Thiram 200 SC², na dosagem de 200 ml.kg^{-1} de semente. A emergência das plantas ocorreu aos sete dias após a semeadura da cultivar, quando, aproximadamente, 50% das plântulas haviam emergido.

Aos vinte e seis dias após a semeadura foi aplicado herbicida (Glifosato), juntamente com inseticida (Permetrina Fersol 384 EC) em pós-plantio pré-emergência Glifosato na dosagem de 60 ml.ha^{-1} e Permetrina Fersol 384 EC na dosagem de $2,5 \text{ l.ha}^{-1}$.

Aos trinta e seis dias após a semeadura foi aplicado o inseticida Endosulfan na dosagem de $1,25 \text{ l.ha}^{-1}$, e também foi aplicado o fungicida Opera® na dosagem de $0,6 \text{ l.ha}^{-1}$.

3.3.3 Adubação

A adubação do solo foi feita apenas na semeadura com 250 kg.ha^{-1} , da fórmula N, P^2O^5 e K^2O de 05-28-20, respectivamente. A adubação foi realizada de forma uniforme em toda a área experimental, através de resultados da análise química do solo processada pelo laboratório de análise de solo e de tecido vegetal dos estados do RS e SC – ROLAS (FUNDACEP).

3.3.4 Controle de pragas e doenças

Ao longo do período vegetativo da cultura, verificou-se a presença de varias pragas como a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatilis*), lagarta falsa medideira (*Pseudoplusia includens*), acaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*), acaro vermelho (*Tetranychus ludeni*), acaro rajado (*tetranychus urticae*), percevejo verde (*Nezara viridula*) e percevejo marrom (*Euschistus heros*). O controle foi feito nos dias

10/02/2010 (26 DAS) com inseticida Permetrina Fersol 384 EC na dosagem de 2,5 l.ha⁻¹ e 20/02/2010 (36 DAS) com inseticida Endosulfan na dosagem de 1,25 l.ha⁻¹.

Também foi verificada em pequenos surtos a presença de algumas doenças foliares como: ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e oídio (*Eryshiphe diffusa*). O controle e prevenção foram feitos no dia 20/02/2010 (36 DAS) com fungicida Opera® na dosagem de 0,6 l.ha⁻¹.

3.3.5 Irrigações

As irrigações foram realizadas uniformemente para toda a área experimental, com lâmina conforme indicação do irrigâmetro. As irrigações foram aplicadas com base nas leituras diárias de evapotranspiração da cultura através do irrigâmetro.

O irrigâmetro é composto pela associação de um evaporímetro com um pluviômetro (Figura 07). Para um funcionamento preciso do irrigâmetro foi necessário um ajuste para o tipo de solo e de cultura e para as características do equipamento de irrigação existente na propriedade agrícola.

O momento de irrigar foi decidido pelo operador do equipamento de irrigação que não precisa ter formação técnica especializada. Não é necessário fazer cálculos, usar gráficos ou programas computacionais. Da mesma forma se houvesse precipitações o irrigâmetro mostra de forma direta se a precipitação foi suficiente ou não para suprir as necessidades da cultura assim fornecendo de forma direta ao irrigante a lâmina ideal a ser aplicada.

Ao longo do ciclo da cultura foram observadas leituras no irrigâmetro diariamente, assim obtendo-se diariamente a evapotranspiração da cultura. Assim desta forma sabendo precisamente e diretamente quando irrigar, qual a quantidade necessária de água que a cultura precisa, por quanto tempo que o sistema de irrigação deve funcionar e se chover como se deve proceder no manejo de irrigação.

Como comparativo as leituras de evapotranspiração do irrigâmetro foi usado o tanque classe A conforme citado anteriormente. O tanque foi instalado a uma altura em torno de 10 cm do solo, deixando-se 5 cm de borda, portanto a altura máxima de água é igual 25 cm. O tanque era reabastecido a cada cinco dias, conforme Doorenbos & Kassam (1994).

Na Figura 07 mostra no detalhe o irrigâmetro em pleno funcionamento.

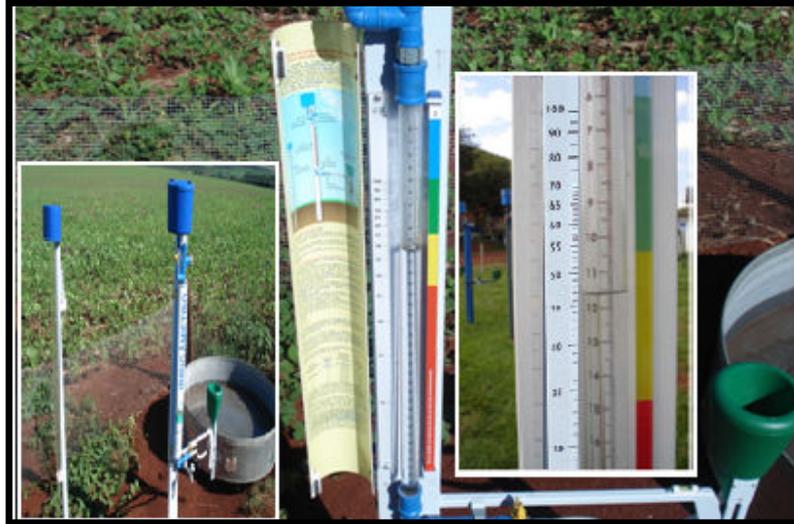


Figura 07: Irrigâmetro acusando o momento de irrigar.

Na figura 08 mostra os equipamentos utilizados para o manejo da irrigação.

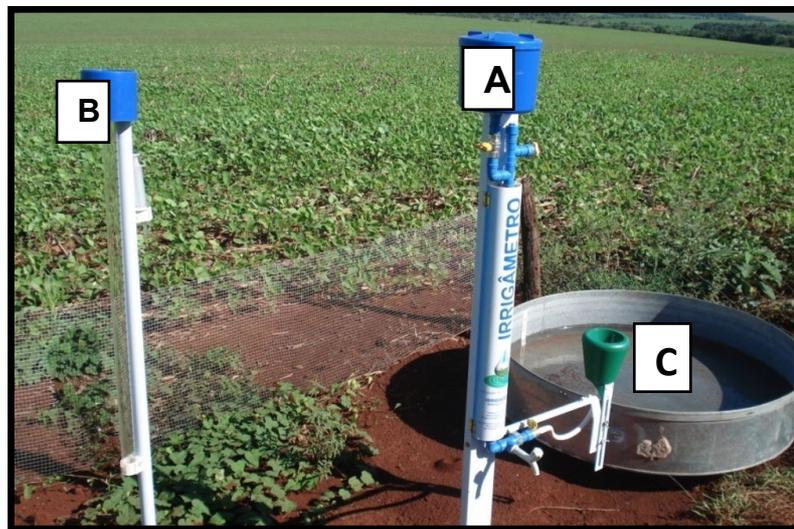


Figura 08: Irrigâmetro (A) juntamente com o pluviômetro (B) e Tanque Classe A (C).

3.4 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento da planta

As coletas das plantas foram realizadas sempre com as mesmas unidades, com vinte e cinco plantas de coletas de dados em cada setor, perfazendo um total

de 175 plantas por coleta, estas tiveram início aos 15 dias após a emergência (DAE), e eram realizadas a cada quinze dias. Os dados de campo analisados foram: área foliar (para estimar índice de área foliar), altura de plantas, número de folhas, número de vagens, peso úmido de 1000 sementes e peso seco de 1000 sementes.

3.4.1 Índice de área foliar

As determinações de área foliar tiveram início aos 15 DAE para a cultivar de soja transgênica Munasqa. As determinações foram realizadas nos setores do experimento. 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).

As medidas foram feitas em até nove folhas/planta, durante todo o ciclo da cultura, sendo três folhas na parte de baixo da planta, três folhas na parte intermediária e três folhas na parte de cima da planta.

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/m², sendo:

$$IAF = \frac{(\text{comp.médio} \times \text{lar.média}) \times 0.75 \times \text{n}^{\circ}.\text{folhas} \times \text{n}^{\circ}.\text{plantas.m}^{-2}}{10000} \quad (3.1)$$

3.4.2 Altura de planta

Para realização de 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).

Na Figura 09 consta a altura de planta com régua graduada.



Figura 09: Determinação da altura de planta.

3.4.3 Número de folhas

A determinação do número de folhas foi realizada mediante a contagem do número de folhas fotossinteticamente ativas, esta determinação foi baseada no processo de senescência das folhas. Estabeleceu-se uma escala visual, onde 100% é a folha totalmente verde e 0% é a folha totalmente senescente, a folha era considerada fotossinteticamente ativa entre 10% e 100% (Figura 10 A).

3.4.4 Número de vagens

A determinação do número de vagens foi realizada mediante contagem do número de vagens com um grão, dois grãos e três grãos em todas as 175 plantas dos sete setores experimentais (Figura 10 B).

Na Figura 10 constam as plantas e os ramos de soja de cada setor.



Figura 10: Contagem de folhas e vagens (A) e amostras de ramos da soja com seus respectivos setores (B).

3.4.5 Peso seco de mil sementes

A determinação do peso foi realizada mediante coleta das 25 plantas por setor, perfazendo um total de 175 plantas, ao final de seu ciclo vegetativo (Figura 11 B).

Destas 25 plantas que correspondiam a um setor foram retiradas mil sementes que foram imediatamente pesadas assim obtendo seu peso fresco em gramas.

Após foi feita a secagem das sementes, estas sementes ficaram expostas ao sol durante dois dias nas horas de maior temperatura, assim obtendo-se seu peso seco em gramas (figura 11 A).

Para a estimativa da produtividade de grãos (kg. ha^{-1}) com os componentes de produção, da seguinte forma:

$$\text{Produção} = 10 \cdot \frac{\text{n}^\circ \text{plantas}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{n}^\circ \text{vagens}}{\text{planta}} \cdot \frac{\text{n}^\circ \text{grãos}}{\text{vagem}} \cdot \text{massa média do grão} \cdot 11,15 \quad (3.2)$$

O fator 10 utilizado na equação 3.2, foi utilizado para transformar a produção em g.m^{-2} para produção em kg.m^{-2} .

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.

Na Figura 11 mostra secagem e pesagem das sementes.



Figura 11: Secagem das sementes (A) juntamente com a pesagem de mil sementes (B).

3.4.6 Soma Térmica

Foram realizados os cálculos de soma térmica para a cultura da soja, considerando a temperatura base de 14 °C de acordo com Camargo et al (1987).

Foi usada a seguinte expressão:

$$ST = \sum_{i=1}^n (T_{med} - T_{base}) \quad (3.3)$$

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

n = número de dias;

Tmed = temperatura média diária do ar (°C);

Tbase = temperatura base da cultura (°C).

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

3.5 Georreferenciamento da área experimental

Os setores da área experimental foram georreferenciados ao Datum Sirgas 2000 na projeção UTM, com auxílio de imagens de satélites obtidas no Google Earth e visualizados através do *software* ArcGis 9.3 desenvolvido pela ESRI® ainda este *software* foi utilizado para visualizar os dados de produção, permitindo a identificação dos setores de maior e menor produção. Foi gerado por interpolação pelo método ponderado da distância um mapa de produção indicando setores de baixo, médio e alto valor de produção da cultura da soja.

3.6 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

Este capítulo diz respeito à descrição do modelo físico experimental, abordando os dados de solo, clima e planta coletados ao longo do ciclo da cultura da soja e os valores de produção de grãos e matéria seca coletados ao final do ciclo da mesma.

4.1 Características físicas e químicas do solo

Os resultados das características físicas granulométrica do solo da área experimental são apresentados da seguinte forma:

Argila% 56, silte% 39, areia total% 5, solo de classe textural predominante argiloso e tipo de solo Nitosolo Vermelho Distroférico Latossólico pertencente à unidade de mapeamento São Borja.

As amostras de solo foram submetidas a análise química, sendo que apresentou pH médio (5,3). A CTC classifica-se como média ($14,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), com teores de argila alto (>60 %) e baixo teor de fósforo ($5,2 \text{ mg dm}^{-3}$), potássio com (107 mg dm^{-3}) e matéria orgânica com (3,4%) (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

A análise encontra-se disponível no anexo I.

4.2 Elementos agrometeorológicos

A Figura 12 apresenta a variação diária dos elementos agrometeorológicos durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja.

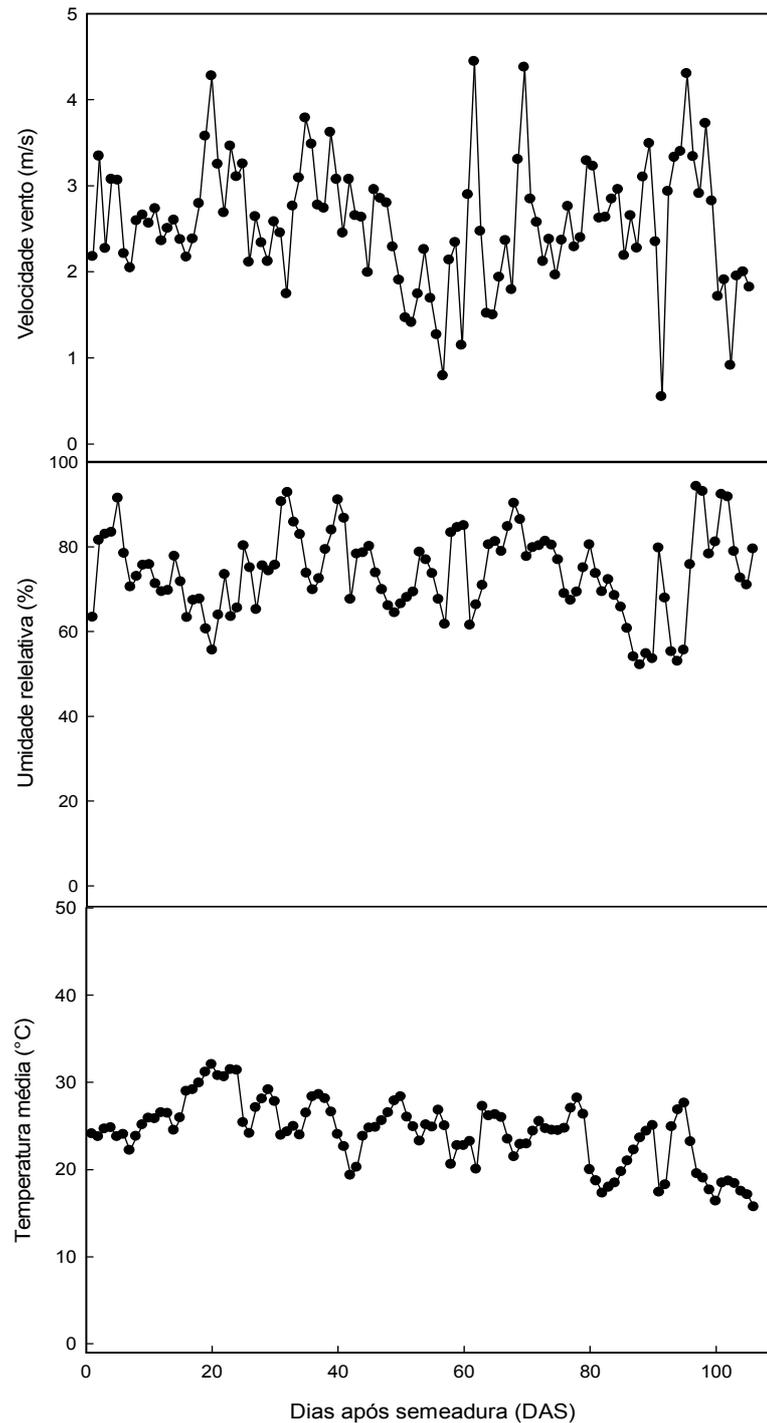


Figura 12: Variação diária dos elementos agrometeorológicos durante o ciclo da cultura.

De acordo com a Figura 12 pode-se observar que em temperaturas do ar e velocidades do vento maiores associadas a baixa umidade relativa do ar denotam maiores lâminas de irrigação a fim de suprir a demanda evapotranspiratória da cultura.

Aos vinte dias após semeadura ocorreu o fenômeno semelhante ao descrito acima, mesmo que o estágio fenológico da cultura exigisse menor demanda de água, o solo visto como reservatório de água tem maiores perdas por evaporação, que para os estádios fenológicos subseqüentes poderá necessitar de reposição desta água através de irrigações.

Entre sessenta e setenta dias á um acréscimo na evapotranspiração, porem há uma maior cobertura pela cultura da soja, fazendo com que ocorra uma menor perda de água do solo por evaporação.

Segundo Nunes (1993), a produtividade de uma cultura é função de causas genéticas (potencial genético de produção), do adequado uso de insumos e de condições ambientais determinadas por fatores climáticos, durante o ciclo cultural.

Segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), os processos de fotossíntese, respiração, transpiração e evaporação, são funções diretas da energia disponível no ambiente, comumente designada por calor, ao passo que o crescimento, desenvolvimento e translocação de fotoassimilados encontram-se ligados à disponibilidade hídrica do solo, sendo que seus efeitos são mais pronunciados em condições de altas temperaturas onde a taxa de evapotranspiração é elevada.

Esse fato torna importante a análise do crescimento e desenvolvimento da cultura em diferentes situações, pois significa que o potencial de produtividade das culturas difere entre locais e anos e entre épocas no mesmo local.

4.3 Irrigações e precipitações

Na Tabela 02 apresenta o número de irrigações, lâmina média aplicada/irrigação (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicada (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo da cultura de soja para sete setores.

Tabela 02 – Valores de irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicado (irrigação e precipitação) (mm) ao longo do ciclo da cultura de soja para sete setores.

Meses	Nº de irrigações	Irrigação Total (mm)	Precipitação Pluvial (mm)	Lâmina Média de Irrigação (mm)	Total de água aplicada (irrigação + precipitação (mm))
Jan	0	0	183,2	0	183,2
Fev	1	11,6	222,6	5,8	234,2
Mar	5	46,9	13,8	9,38	60,7
Abr	7	68	136	9,71	204

Conforme a tabela 02 pode observar no mês de fevereiro houve um elevado índice de precipitação ficando acima da média geral de 150 mm (<http://www.seplag.rs.gov.br>).

Já para os meses de março e abril ocorreu uma grande diferença nas precipitações porém, pouca diferença na lâmina média de irrigação. Isso devido à cultura estar em um estágio vegetativo mais evoluído ocasionando uma maior exigência hídrica acarretando assim um maior consumo de água para o mês de abril, que foi suprido pelo elevado índice de precipitações associado com as irrigações quando necessitadas.

4.4 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultivar

A seguir são apresentados e discutidos os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produção da cultura da soja analisada.

4.4.1 Índice de área foliar

Os valores experimentais médios obtidos na determinação do índice de área foliar (IAF) para a cultura da soja em sete setores são apresentados na tabela 03.

Tabela 03 - Valores médios do índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

DAE ¹	Setores							média setor	D.P ²
	01	02	03	04	05	06	07		
20	0,091	0,082	0,092	0,096	0,101	0,079	0,079	0,089	0,20
35	0,799	0,859	1,175	1,173	1,268	0,986	0,861	1,017	0,30
50	1,046	1,080	1,413	1,324	1,360	1,150	1,020	1,199	0,29
65	1,442	1,464	1,881	1,854	1,915	1,741	1,377	1,668	0,39
80	3,136	3,693	4,218	4,906	5,081	4,513	3,923	3,682	0,32
95	3,531	3,657	4,033	4,215	4,186	3,906	3,615	3,878	0,36

¹DAE = dias após a emergência

²D.P = desvio padrão

Através da Tabela 03, pode-se observar que o setor 05 apresentou o máximo IAF de $5,081 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, aos oitenta dias após emergência. O menor IAF deste período foi observado no setor 01 com $3,531 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, todos os setores receberam a mesma lâmina de água aplicado. Após o IAF máximo, ocorreu redução devido o processo natural de senescência de folhas. Também neste momento, ocorre declínio na interceptação e absorção de radiação (FRANÇA, 1997). Os dados da Tabela 03 quando submetidos à análise da variância, não apresentaram diferenças estatística significativa entre os setores (AnexoII).

Na figura 13 pode-se visualizar o índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) médio dos sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de soja Munasqa.

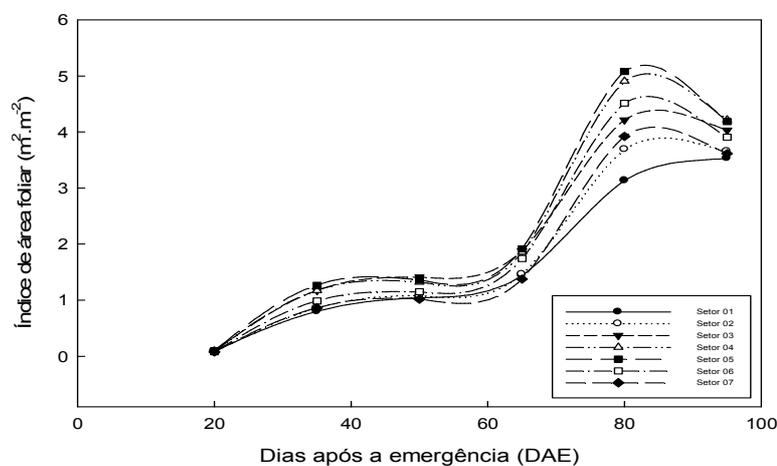


Figura 13: Índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) médio dos sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

Para a cultivar em estudo, o IAF apresentou um crescimento inicial lento até aproximadamente 60 DAE e, em seguida foi crescente, até seu máximo que ocorreu aproximadamente aos 80 DAE, vindo a declinar até a senescência e queda de folhas.

Brandelero et al. (2002) obtiveram o máximo IAF aos 60 DAE. Rodrigues (2001) observou redução de IAF 80 DAE para cultivar FT-Abyara (ciclo de 152 dias) semeada no mês de novembro, na região de Santa Maria, RS.

Por ser uma variedade transgênica de origem paraguaia, quando semeada no Brasil especificamente Rio Grande do Sul apresenta crescimento e desenvolvimento diferenciado, possivelmente em razão das condições ambientais como fotoperíodo e temperatura como também diferenças de altitude e latitude. Neste trabalho o ciclo desta cultivar foi menor que segundo dados fornecidos por Igra Sementes é de 141 dias.

Com o mesmo objetivo relacionou-se o IAF médio dos setores em função dos resultados obtidos de soma térmica, utilizando a temperatura base de 14°C (CAMARGO et al., 1987). A Figura 14 mostra essa relação durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar de soja Munasqa.

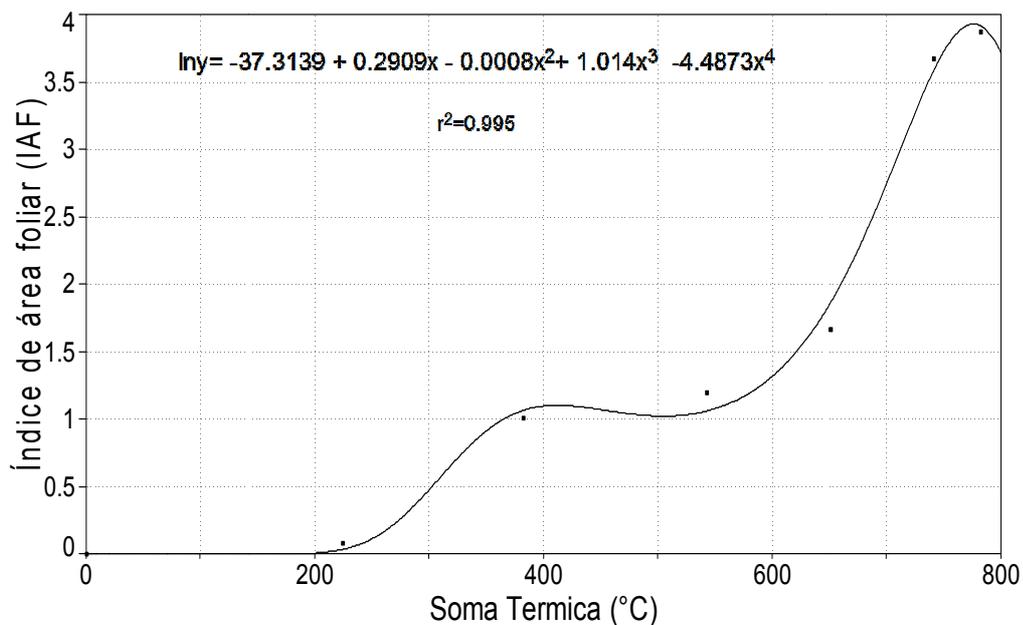


Figura 14: Índice de área foliar ($\text{m}^2.\text{m}^{-2}$) médio relacionado com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

Através da Figura 14, observa-se que os dados se ajustaram numa equação de quarto grau, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,995, onde indica que a curva explica satisfatoriamente o comportamento do IAF da cultivar de soja Munasqa. O índice apresentou crescimento expressivo após os 600 °C.dia acumulados até aproximadamente 780 °C.dia, isto devido ao estágio de desenvolvimento que se encontrava a cultura com aporte na soma térmica tendo o aumento no índice de área foliar. Posteriormente houve decréscimo até a senescência das folhas.

4.4.2 Altura de planta

Na Tabela 04 apresenta os valores médios das medidas de altura (cm) para a cultivar no decorrer do seu desenvolvimento nos sete setores irrigados com mesma lâmina.

Tabela 04 - Valores médios da altura (cm) em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

DAE ¹	Setores							Média Setores	D.P ² .
	01	02	03	04	05	06	07		
20	6,2	6,6	7,36	7,26	7,76	5,2	5,1	6,4	1,05
35	13	14,8	17,68	18,5	18,94	17,32	16	16,6	2,13
50	18,6	19,4	21,6	18,7	19,98	19,4	19,2	19,5	1,01
65	48,6	52,4	48,8	47,2	50,4	46,4	44,4	48,3	2,63
80	68,2	75,6	83,4	85,4	78	82,4	78	78,7	5,79
95	76,4	76,2	83,6	85,4	79	82,8	78,6	80,2	3,64

¹DAE = dias após a emergência

²D.P = desvio padrão

Em todos os setores houve acréscimo na altura de planta até os 95 dias após a emergência, embora a intensidade do crescimento tenha sofrido significativa redução a partir dos 80 DAE. Apenas no setor 04 não houve diferença entre as medidas realizadas aos 80 e 95 dias após a emergência.

Aos 35 DAE a altura de planta média dos setores foi de 16,6 cm. Conforme Lamego et al. (2005) aos 28 DAE encontrou altura de planta de 13,04 cm para cultivar Fepagro RS-10. Kuss (2006) testando populações de plantas e estratégias

de irrigação encontrou altura de plantas máxima de 112,60 para a cultivar CD 205 em plantas irrigadas nos períodos críticos. Estes valores são os que mais se aproximam dos valores encontrados neste estudo.

Os resultados estatísticos da tabela 04, verificou-se com a análise da variância (ANOVA) que não houve diferença significativa, a nível de 5% de confiança, entre os setores (Anexo III).

A Figura 15 mostra a relação entre a altura de planta (cm) com os dias após a emergência.

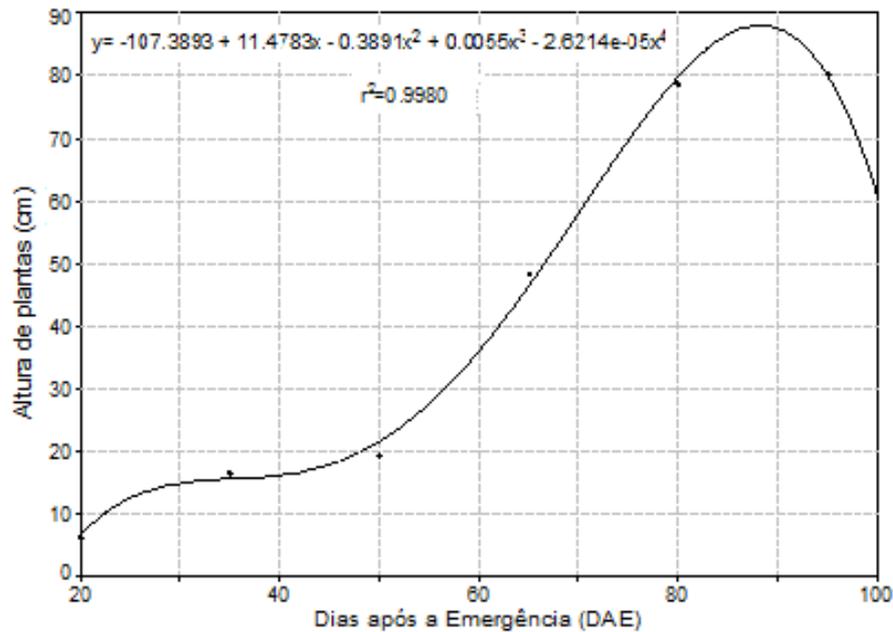


Figura 15: Altura de planta (cm) média de sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da cultivar Munasqa.

Analisando a figura 15 pode-se observar que a altura de plantas apresentou um crescimento acentuado até os 95 DAE, fase em que a planta estava em granação plena. Após este período a altura ocorreu estabilização gradativa.

A Figura 16 mostra a altura de planta (cm) média dos sete setores em função da soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar de soja Munasqa.

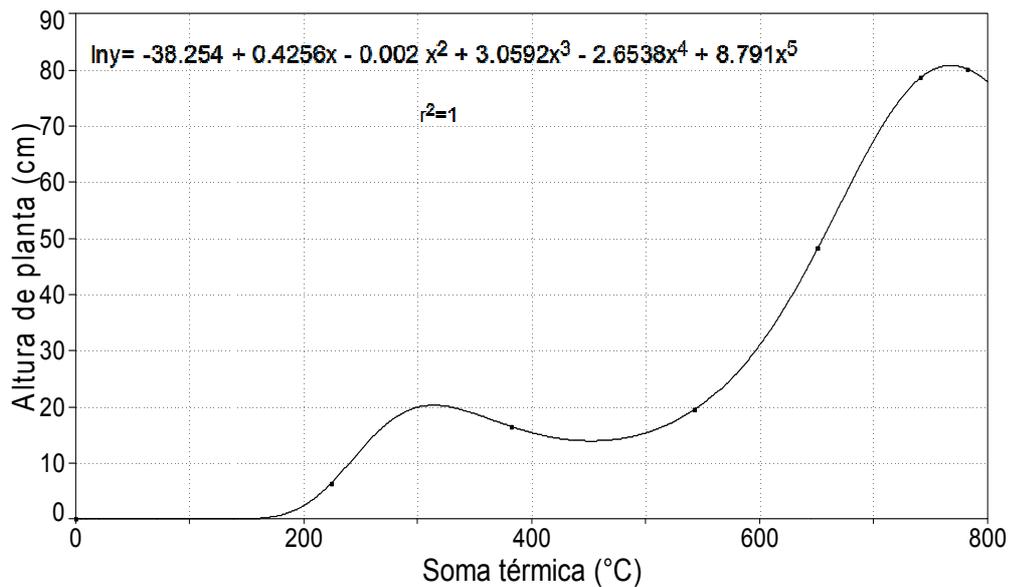


Figura 16: Altura de plantas (cm) média de sete setores relacionados com a soma térmica durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

Através da Figura 16 observa-se que os dados se ajustaram numa curva de quinto grau e coeficiente de determinação (R^2) de aproximadamente 1 a altura de plantas apresentou crescimento expressivo próximo aos 780°C. dia acumulados, após esse período notou-se que o crescimento teve um decréscimo devido ao seu final de ciclo vegetativo.

4.4.3 Número de folhas por planta

A Tabela 05 apresenta os valores médios do número de folhas da cultivar de soja Munasqa, no decorrer do seu ciclo de desenvolvimento, nos sete setores em estudo. Podendo-se notar ainda, que a maior média do número de folhas por planta ocorreu aos 80 DAE, com 92 folhas, com destaque para o setor 06, com uma média de 75,8 folhas, enquanto o setor 01 apresentou a menor média com 74,6 folhas, sendo que esta redução do número de folhas pode acarretar diminuição da atividade fotossintética, com conseqüente redução na produção de carboidratos e na produção.

Tabela 05 - Valores médios do número de folhas por planta em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

DAE ¹	Setores							Média Setores	D.P ²
	01	02	03	04	05	06	07		
20	7	7	7	7	7	7	7	7	0
35	19	20,2	21,4	21,2	22	20	20	20,5	1,0
50	24,6	25,4	25,6	23,6	23,6	23,6	23,6	24,2	0,9
65	32	32,6	34,4	33,8	33,2	35,2	31,8	33,2	1,2
80	74,6	88,8	80,8	87	88,2	92	91	75,8	2,4
95	70,6	73,4	76,4	76,6	72,6	79,4	78,2	75,3	3,1

¹DAE = dias após a emergência

²D.P = desvio padrão

Aplicando a análise da variância (ANOVA), os setores não apresentaram diferença estatisticamente significativa (ANEXO IV).

Na Figura 17 pode-se visualizar a função ajustada para os dados médios de número de folhas por planta distribuídos entre os dias após emergência (DAE).

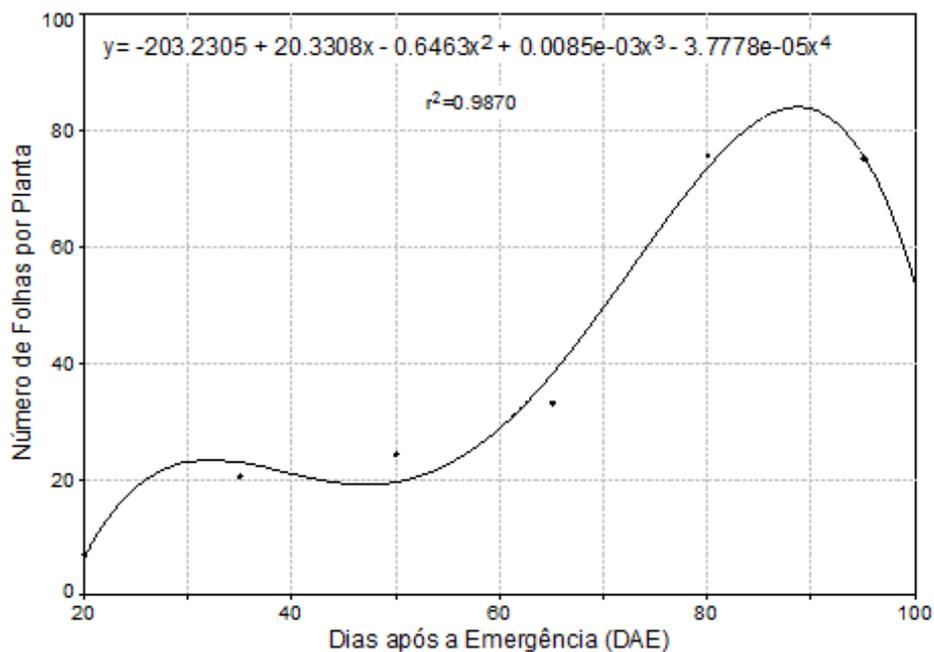


Figura 17: Número de folhas por planta de sete setores relacionados com dias após emergência (DAE) durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

Através da Figura 17 observa-se que os dados ajustaram na função de quarto grau e coeficiente de determinação (R^2) de aproximadamente 0,9871. O número de folhas manteve-se entre 20 e 40 até aproximadamente 65 DAE e posteriormente apresentou um crescimento acentuado, obtendo até 92 folhas por plantas nos 80 DAE.

4.4.4 Número de vagens por planta

A Tabela 06 apresenta os valores médios do número de vagens, no decorrer do seu ciclo de desenvolvimento, nos sete setores em estudo. O setor 07 apresentou o maior número de vagens, de 98,4 aos 95 DAE. Neste mesmo período o setor 02 atingiu o menor número de vagens, de 73,6. Nota-se ainda que a maior média de vagens entre setores ocorreu neste mesmo período, assim ocasionando seu pico de produção de vagens.

Tabela 06 - Valores médios do número de vagens por planta em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

DAE ¹	Setores							Média Setores	D.P ²
	01	02	03	04	05	06	07		
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	55,8	56,2	54,6	54,4	61,6	70	69	60,2	6,7
80	80	93	83	77,4	87,8	92,4	81,2	84,9	6,1
95	85,8	73,6	85,4	88	89	96	98,4	88,0	8,1

¹DAE = dias após a emergência

²D.P = desvio padrão

Aplicando análise da variância (ANOVA) nos resultados da tabela 04, verificou-se que não houve diferença significativa em nível de 5% entre os setores (Anexo V).

Na Figura 18 consta o número médio de vagens por planta dos sete setores em função dos dias após emergência (DAE).

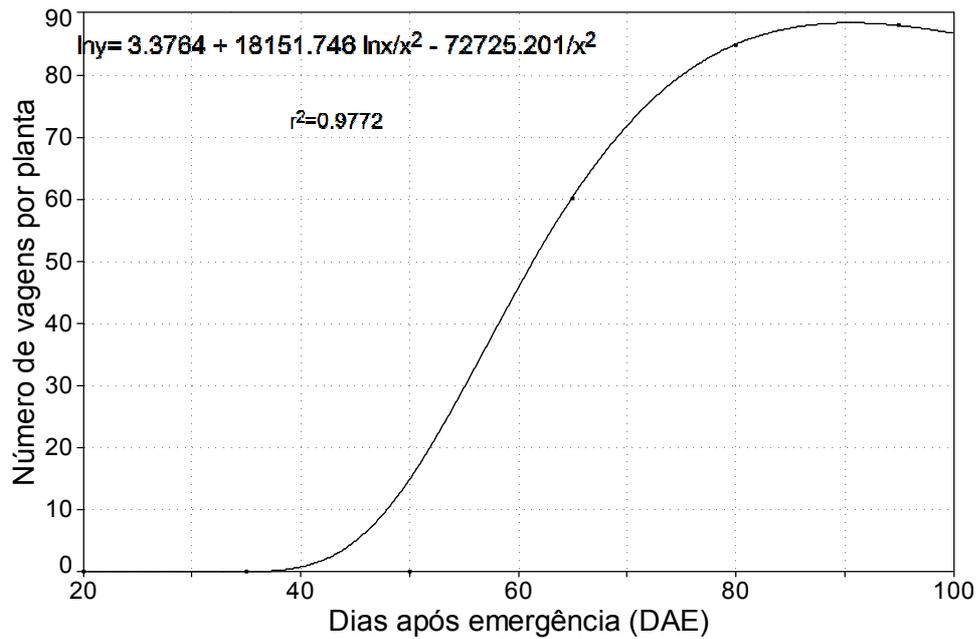


Figura 18: Número de vagens por planta de sete setores relacionados com dias após emergência (DAE).

Os dados se ajustaram numa função de logarítmica e coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9772 (Figura 18). Observa-se que a produção de vagens por planta inicia após os 65 DAE com desenvolvimento ascendente até os 95 DAE.

4.4.5 Número de grãos por vagem

Os valores médios do número de grãos por vagem obtidos para a cultura da soja Munasqa em sete setores são apresentados na tabela 07.

Tabela 07 - Valores médios do número de grãos por vagem em sete setores durante o ciclo de desenvolvimento da cultivar Munasqa.

Vagem	Setores							média setores	D.P
	01	02	03	04	05	06	07		
3 grão	858	870	849	873	753	816	876	842,14	44,35
2 grão	1816	1626	1718	1712	1656	1652	1766	1706,57	67,93
1 grão	182	203	192	188	173	201	164	186,14	14,27

D.P = desvio padrão

Através da Tabela 07, pode-se notar, que a maior média do número de grãos por vagem ocorreu com vagens com dois grãos, e a menor média obtida foi com um grão. Destacou-se o setor 01 com o maior número de grãos por vagem, e o setor 05 com o menor número de grãos por vagens.

Os dados da Tabela 07 quando aplicado análise da variância (ANOVA), não apresentaram diferença estatisticamente significativa (Anexo VI).

4.5 Componentes de produção, massa seca total, índice de colheita e produção

A Tabela 08 apresenta os valores médios dos componentes de produtividade para os sete setores aos 95 DAE.

Com aplicação da análise da variância obteve diferença significativa a nível de 5% para número de vagens.planta⁻¹ (NVP) e massa seca do grão (MSG), conforme Anexo VII. E Anexo VIII. Aplicou-se o teste de Tuckey a 5% de probabilidade para as análises com diferença significativa.

Tabela 08 – Valores médios de número de plantas.m⁻² (NPL), número de vagens.planta⁻¹ (NVP), número de grãos.vagem⁻¹ (NGV) e massa seca do grão (MSG) para a cultivar de soja Munasqa aos 95 DAE.

Setor	NPL*	NVP	NGV*	MSG
01	42,5	55,04 a	2,076	0,124 b
02	42,5	52,24 bc	2,067	0,124 b
03	42,5	53,36 ab	2,068	0,138 a
04	42,5	53,4 ab	2,077	0,124 b
05	42,5	50,08 c	2,062	0,123 bc
06	42,5	50,08 c	2,132	0,121 c
07	42,5	53,56 ab	2,095	0,124 b
Média	42,5	52,54	2,08	0,125
D.P.	0	1,87	0,024	0,006

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

NPL= Número de Plantas/m⁻²

NVP = Número de Vagens/Planta⁻¹ (g)

NGV = Número de Grãos/Vagem⁻¹ (g)

MSG = Massa Seca Média do Grão (g)

D.P. = Desvio Padrão

Os dados quando submetidos à análise da variância não apresentaram diferenças significativas estatisticamente para número de plantas/m (NPL) e número de grãos/vagem (NGV). As demais análises variaram e foram submetidas ao Teste de Tukey a 5% de significância.

Para o (NVP) os setores 3, 4 e 7, e os setores 5 e 6 não diferiram entre si, sendo que os dois grupos diferem entre si e com os demais setores.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 08, verificou-se que o número de vagens/planta apresentou uma média de 52,54 com o valor máximo de 55,04 para o setor 01 e mínimo de 50,08 para os setores 05 e 06 respectivamente, sendo que com base no Teste de Tukey, o setor foi estatisticamente diferente dos demais, e os setores 3, 4 e 7, assim como os setores 5 e 6 não apresentaram diferença significativa entre si.

Estes resultados também concordam com os obtidos por Rambo et al. (2002) que encontrou 1329 legumes férteis/m em um estrato da amostra de 10 plantas para a cultivar BRS 137. Maehler et al. (2003) obtiveram 1225 e 1481 legumes férteis/m em dois regimes hídricos, não irrigado e irrigado, para as cultivares BRS 137 e BRS 138, respectivamente.

Quanto ao número de grãos/vagem, a média obtida foi de 2,08 e peso médio de 0,125 g, sendo inferior ao peso padrão médio do grão desta cultivar que é de 0,18 g. Estes resultados conferem com dados obtidos por Maehler et al. (2003) que para o número de grãos/vagem, da cultivar BRS 138 encontrou resultados aproximados de 2,24 para tratamento irrigado.

A Tabela 09 apresenta os valores médios de matéria seca e índice de colheita para cada setor aos 15 dias após a emergência (DAE) com a aplicação da análise da variância verificou-se que os valores médios de massa seca dos grãos/planta⁻¹ (MSGRAO) foi a única análise que não apresentou diferença significativa estatisticamente, conforme Anexo IX e X. Aplicou-se o Teste de Tuckey a 5% de probabilidade para as demais análises.

Tabela 09 – Valores médios de massa seca dos grãos.planta⁻¹ (MSGRAO), massa seca do colmo.planta⁻¹ (MSC), massa seca das vagens.planta⁻¹ (MSVG), massa seca total (MSTOTAL) e índice de colheita (IC) em cada setor irrigado para a cultivar de soja Munasqa aos 95 DAE.

Setor	MSGRÃO	MSC	MSVG	MSTOTAL	IC
01	12,4 a	10 a	56 a	68 a	0,18
02	12,37 a	6 b	28 de	34 c	0,36
03	13,7 a	8 ab	28 de	38 b	0,36
04	12,39 a	8 ab	32 bc	40 b	0,31
05	12,3 a	8 ab	30 cd	38 b	0,32
06	12,06 a	6 b	26 e	30 d	0,40
07	12,43 a	8 ab	34 b	40 b	0,31
Média	12,56	7,71	33,43	41,14	0,32
D.P.	0,53	1,38	10,31	12,37	0,06

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

MSGRÃO = Massa Seca dos Grãos/Planta⁻¹ (g)

MSC = Massa Seca do Colmo/Planta⁻¹ (g)

MSVG = Massa Seca Média das/Vagens.Planta⁻¹ (g)

MSTOTAL = Massa Seca Total da Planta (g)

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

D.P. = Desvio Padrão

A massa seca dos grãos/planta, apresentou valores máximos no setor 07 com médias de 12,43 g, massa seca do colmo.planta⁻¹ (MSC), massa seca média das vagens/planta (MSVG) e massa seca total (MSTOTAL) apresentaram valores máximos para o setor 01, com médias de 10 g; 56 g, 68 g, respectivamente. Quanto ao Teste de Tukey, para (MSC) o setor 1 apresentou diferença significativa dos demais e os setores 3, 4, 5 e 7 assim como 2 e 3 não apresentaram diferença entre si. Na massa seca média das vagens.planta apenas os setores 2 e 3 não apresentaram diferença entre si, sendo que as demais deferiram ao nível de 5% de probabilidade. Quando analisada a massa seca total, os setores 1, 2 e 6 diferiram estatisticamente entre si e dos demais, sendo que os setores 3, 4, 5 e 7 não diferem entre si. Conforme Anexos XI, XII, XII e XIV.

Os resultados obtidos acima apresentam algumas semelhanças com dados obtidos por Maehler et al. (2003) e Navarro Júnior & Costa (2002).

O (IC) médio encontrado foi 0,32. Confalone e Dujmovich (1999) obtiveram valores de índice de colheita de 0,38, 0,40 e 0,45, para tratamentos irrigados, seca entre os estádios R1 e R4 e seca entre os estádios R4 e R6, respectivamente. Consideraram 0,45 um valor elevado e atribuíram isto a falta de água neste período, sobre a produção de matéria seca vegetativa.

A Tabela 10 apresenta os valores médios de produção (sc.ha^{-1}) de grãos em cada setor irrigado, com aplicação da análise da variância e teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 10 – Produção (kg. ha^{-1}), (sc.ha^{-1}) de grãos em cada setor irrigado para a cultivar de soja Munasqa.

Setores	Nºsem/planta	Plantas/m ²	Sementes/m ²	Sementes/ha	Peso. seco. de 1 sem.(g)	Produção. (g.ha ⁻¹)	Produção. (kg.ha ⁻¹)	Produção (sc.ha ⁻¹)
01	114,24	45,70	5220,31	52203110,40	0,12	6473185,69	6473,19	107,89b
02	107,96	43,18	4662,14	46621446,40	0,12	5767072,92	5767,07	96,12d
03	110,36	44,14	4871,73	48717318,40	0,14	6713246,48	6713,25	111,89a
04	110,92	44,37	4921,30	49212985,60	0,12	6097488,92	6097,49	101,62c
05	103,28	41,31	4266,70	42667033,60	0,12	5248045,13	5248,05	87,47e
06	106,76	42,70	4559,08	45590790,40	0,12	5498249,32	5498,25	91,64f
07	112,24	44,90	5039,13	50391270,40	0,12	6263634,91	6263,63	104,39c
Média	109,39	43,76	4791,49	47914850,74	0,13	6008703,34	6008,70	100,15
DP	3,68	1,47	320,06	3200642,38	0,01	529551,28	529,55	8,83

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

Nºsem/planta = Número de sementes por Planta

Plantas/m² = Plantas por m²

Sementes/m² = Sementes por m²

Sementes/ha = Sementes por ha

Peso. seco.de 1 sem = Peso seco de uma semente (g)

Produção.(g.ha⁻¹) = Produção (g.ha⁻¹)

Produção.(kg.ha⁻¹) = Produção (kg.ha⁻¹)

Produção.(sc.ha⁻¹) = Produção (sc.ha⁻¹)

DP = Desvio padrão

Através da Tabela 10 observa-se que o setor 05 obteve a menor produção de grãos com valores máximos de $5248,05 \text{ kg.ha}^{-1}$ obtendo assim um total de $87,47 \text{ sc.ha}^{-1}$, seguido do setor 06 que obteve um total de $5498,25 \text{ kg.ha}^{-1}$ e um total de $91,64 \text{ sc.ha}^{-1}$.

A maior produção de grãos alcançada foi de $6713,25 \text{ kg.ha}^{-1}$, que corresponde ao setor 03, chegando a um total de $111,89 \text{ sc.ha}^{-1}$, seguido pelo setor 01 que obteve valores máximos de $6473,19 \text{ kg.ha}^{-1}$ totalizando assim $107,89 \text{ sc.ha}^{-1}$.

Em todos os setores foi aplicada a mesma lâmina de irrigação. Segundo análise estatística houve diferença significativa em nível de 5%, na maioria dos setores exceto nos setores 04 e 07 onde não diferiram significativamente, conforme ANEXO XV.

Dados semelhantes de produção foram encontrados pelo produtor rural Leandro Ricci de Mamborê no Estado do Paraná com a produção de 6501 kg.ha^{-1} (PORTAL DIA DE CAMPO, 2011).

As diferenças observadas nos demais setores podem vir a ser atribuída a maiores exposições solar, declividade do terreno, densidade do solo, compactação, que podem gerar diferentes demandas hídricas em cada setor.

Kuss (2006) através de estudo realizado na região de Santa Maria, RS, que encontrou rendimento máximo testando diferentes estratégias de irrigação e população de plantas para a cultivar de soja CD 205 de $3.397,20 \text{ kg.ha}^{-1}$ em plantas irrigadas todo ciclo na população de $400.000 \text{ plantas.ha}^{-1}$.

Na Figura 19 podem-se observar os sete setores com os seus devidos valores de produção, destacando-se os setores na cor verde de maior produção e na cor laranja de menor produção de grãos.

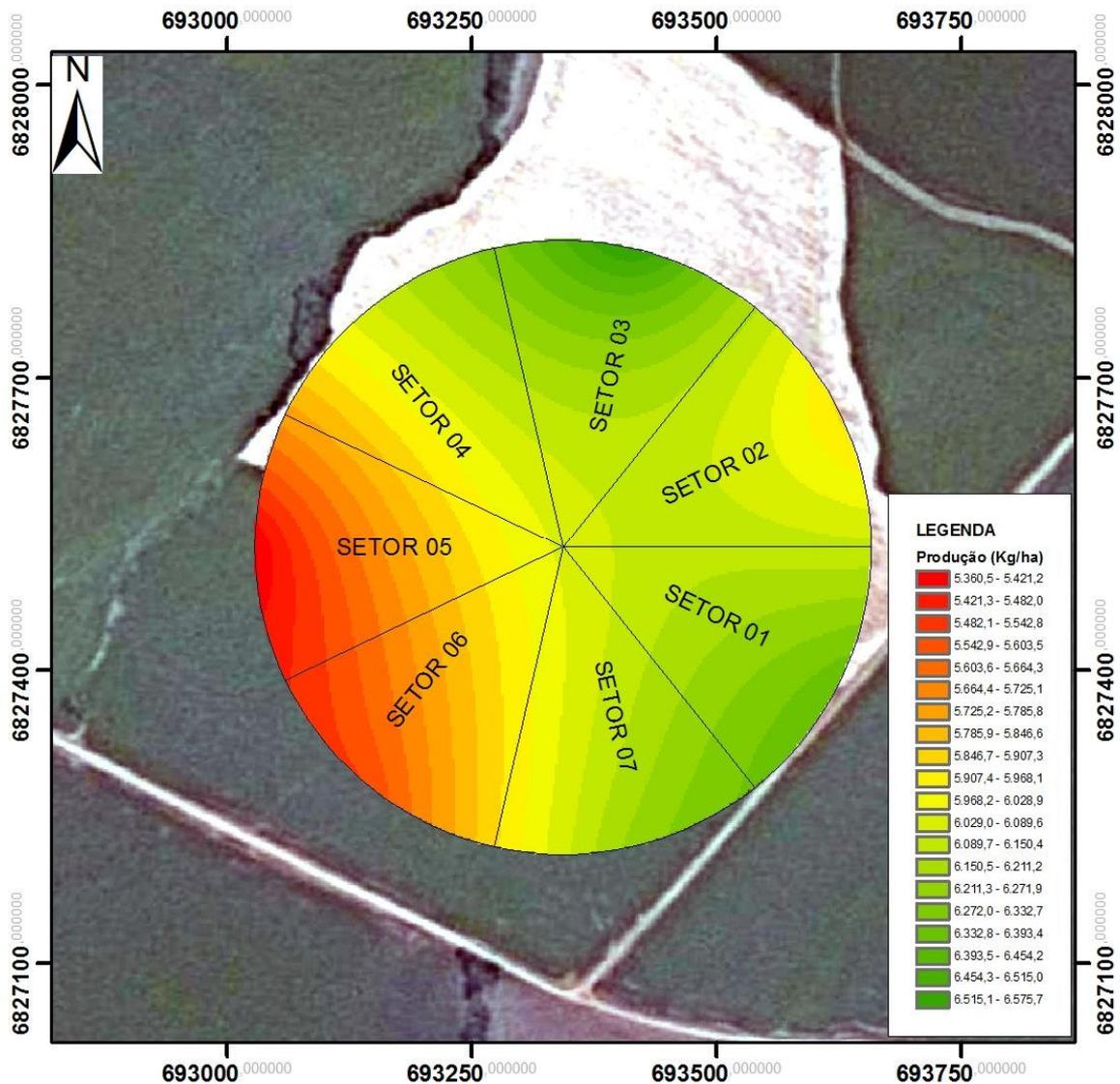


Figura 19: Produção (kg/ha^{-1}) de grãos em cada setor irrigado para a cultivar de soja Munasqa.

Mapa de produção de grãos feito através de pontos georreferenciados interpolados pelo *software* ArcGIS versão 9.3.

De acordo com a Tabela 11 pode-se observar o número de irrigações, a lâmina média aplicada (mm) e irrigação total do irrigâmetro e do tanque classe "A".

Tabela 11 – Comparação da lâmina média (mm) de irrigação do irrigâmetro com o tanque classe “A”

Período	Nº de Irrigações	Lâmina Média(mm)		Irrigação Total (mm)	
		Irrigâmetro	Tanque Classe A	Irrigâmetro	Tanque Classe A
fev	1	5,80	6,34	11,60	76,11
mar	5	9,38	5,10	46,90	127,58
abr	7	9,71	4,46	68,00	120,36
Média	4,33	8,29a	5,30b	42,16a	108,01b
D.P	3,05	2,17	0,96	28,50	27,87

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

Aplicando análise da variância (ANOVA) nos resultados da tabela 11, verificou-se que não houve diferença significativa a nível de 5% entre as médias das lâminas de irrigações pelos componentes irrigâmetro e tanque classe “A”. (Anexo XVI). Aplicando (ANOVA) nos resultados de irrigações totais verificou-se haver diferença significativa a nível de 5% entre as irrigações do irrigâmetro e tanque classe “A”. (Anexo XVII).

A análise desses resultados indica que o irrigâmetro apresentou uma recomendação de irrigação 39,03% inferior ao método do tanque classe “A”. Ou seja, o irrigâmetro fornece a lamina de irrigação no momento em que a cultura começa a atingir seu déficit hídrico. Enquanto que o tanque classe “A” exige a lamina de irrigação anteriormente a esse déficit hídrico. Fazendo com que aja um demanda maior de água quanto energia do sistema de irrigação.

Conforme Lunardi et al. (1999) verificaram superestimativa da ET_0 com o uso deste método em Botucatu, (SP). Isso indica que esse método necessita de calibrações locais para estimativa confiável da ET_0 .

5 CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia utilizada para a realização deste trabalho, nas condições climáticas de solo – planta – clima em que o experimento foi conduzido pode-se concluir que:

- ✓ É indispensável à interpretação de forma heterogênea das áreas de propriedades agrícolas para obtenção da máxima produção da área;
- ✓ Os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e os componentes de produção da cultura da soja, apresentaram variabilidade espacial e temporal;
- ✓ A produção de grãos da cultivar Munasqa apresentou melhor desempenho no setor 03 com 6713,25 kg.ha⁻¹ e menor no setor 5 com 5248,05 kg.ha⁻¹;
- ✓ Valores de produção da cultivar de soja Munasqa analisados neste estudo foram superiores aos valores encontrados nas cultivares de soja brasileiras;
- ✓ Devido à variabilidade da área, a cultura da soja apresentou uma variação na produção de significativa entre os setores;
- ✓ O manejo da irrigação realizado através do irrigâmetro foi eficiente para suprir a demanda hídrica da cultura da soja durante todo seu ciclo, evidenciado pela alta produção atingida, mesmo nos setores em que esta foi menor;
- ✓ O irrigâmetro quando comparado ao tanque classe “A”, propiciou um menor consumo de água na irrigação, demonstrando um melhor manejo no uso da água e conseqüentemente menor gasto energético;
- ✓ Através destes resultados obtidos fica comprovado que o uso de irrigação suplementar na cultura da soja aumenta a produção de grãos na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, para as condições, características do período e fatores considerados;
- ✓ Com este trabalho de pesquisa foi possível identificar diferentes situações que resultaram em diferentes produções da cultura da soja.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEN, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56

AMÉRICO, J. L. **Características físicas e fator de erobilidade de quatro solos representativos do município de São Mamede Paraíba-Areia**. 1979. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Pernambuco, 1979.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. “O Estado da Arte da Agricultura Irrigada e as Modernas Tecnologias no Uso Racional da Água na Irrigação”.Disponívelem:br/AcoesAdministrativas/CDOC/palestras/AntonioFelix/FelixANA.pdf>. Acesso em agosto 2010.

BABALOLA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. **Soil Science**, v. 126, n. 5, p. 269-279, 1978.

BEEG, I.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.28, p. 161-217, 1976.

BERLATO, M.A.; GONÇALVES, H.M. Efeito da temperatura no desenvolvimento da soja (*Glycine max.* (L.) Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, v. 14, n. 2, p. 235-242, 1978.

BERNARDO, S., SOARES, A. A., MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa : Ed. UFV, 2006. 625 p.

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

BIGGAR, J. N; NIELSEN, D. R. The spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. **Water Resources Research**, v. 14, p. 263-271, 1976.
BLACK, R.J. Complexo soja: fundamentos , situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. E. de S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 450 p.

BOLIGON, A. A. Aspectos fitossociológicos de um fragmento da floresta natural de *Astronium balansae* engl., no município de Bossoroca, RS. **Revista Ciência Rural**. V.35 n.5 p.1075 – 1082, set – out. 2005.

BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology*, Rockville, v. 46, n. 2, p.233-235, 1970.

BRANDELERO, E.M. et al. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no recôncavo baiano. **Magistra**, v. 14, n. 2, 2002.

BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B. Crop physiology & metabolism: Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*, Madison, v. 43, n. 6, p. 2083-2088, 2003.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging. **Jornal Soil Science**, Oxford, v. 31, p. 315-331, 1980.

CAMARGO, M.B.P. **Exigências bioclimáticas e estimativa para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo**. 1984. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, 1984.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: mai. 2010.

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

CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M.N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. 2008. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

COSTA, N, L. Fatores abióticos que afetam o rendimento potencial das culturas. Disponível em www.agrolink.com.br acesso em outubro 2010.

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.

DALLACORT, R. et al. Ajuste e teste dos coeficientes genéticos do modelo de simulação Cropgro-soybean, para a região Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 363-371, 2005.

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

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

DOSS, B.D.; THURLOW, D.L. Irrigation, row width and plant population in relation to growth characteristics of two soybean varieties. **Agronomy Journal**, v. 66, n. 2, p. 297-299, 1974.

EMBRAPA - **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Sistema de produção de informação. 1999.

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

ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

FARIA, M.A. de. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998, Poços de Calda. **Anais...**, Lavras: UFLA / SBEA, 1998. 378 p, p. 133-237.

FARIA, R.A. de et al. Economia de água e energia em projetos de irrigação suplementar no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 189-194, 2002.

FARIAS, J.R.B. Climatic requirements. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja . **Tropical soybean: improvement and production**. Rome: FAO, 1994. p. 13-17. (FAO Plant Production and Protection Series; 27).

FARIAS, J.R.B. et al. Ecofisiologia. In: Embrapa. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 1 CD-ROM

FEHR, W.R., CAVINESS, C.E. **Stage of soybeans development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12p. (Special Report; 80)

FERNANDES, E.J., PAVANI, L.C., RODRIGUES, T. de J.D. Potencial de água do solo e produtividade da cultura de soja submetida a três regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 66-75, 1996.

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

FERREIRA, M. C. **Aplicações de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja e interações com diferentes arranjos espaciais da cultura** (Dissertação de Mestrado) Passo Fundo – RS 2009, 72p.

FIETZ, C. R. Deficiência hídrica na cultura da soja na região de Dourados – MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 262 – 265, 2002.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 119-127, 1998.

FRANÇA, G. E. Análise da variabilidade de atributos do solo e altitude dentro de zonas de manejo. In: BALASTREIRE, L.A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999/2001**. Piracicaba, SP: UFV, 2001. cap. 1, p. 82-89.

FRIZZONE, J.A. Planejamento otimizado da irrigação. In: DOURADO NETO, D. et alli. **Curso de agricultura irrigada**. Piracicaba. Ed. da ESALQ, 1991. cap.1, p. 1, 190p.

GILLEY, J. R. et al. Energy management. In : HOFFMAN, G. J.; HOWEL, T. A.; SOLOMON, K. N. (Eds.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1990. p.719-746.

GILLEY, J. R.; WATTS, D. G. Possible energy savings in irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v. 103, n. 1R4, p. 445-457, Dec. 1977.

GOMES, A. C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (GLYCINE Max (L.) Merrill) na região de Santiago, RS/** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, 2007. 132 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p.169-177, 2005.

HIDROSENSE – **Comércio para sistemas de irrigação LTDA**. Disponível em: [HTTP://www.hidrosense.com.br](http://www.hidrosense.com.br)>. Acesso em out 2010.

HILLEL, D. **Solo e Água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, 1970, 231 p.

HODGES, T.; FRENCH, V. Soyphen: soybean growth stages modeled from temperature, daylength and water availability. **Agronomy Journal**, v. 77, p. 500-505, 1985.

BERGAMASCHI, Homero. **Fenologia**. V. 01. P 13, 2001.

HSAIO, T.C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, 1973.

IBGE – **Informações institucionais, produtos, notícias, pesquisas, eventos e serviços**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda>. Acesso em: junho. 2010.

IGRA – Sementes, genética inovadora. Disponível em: <http://www.igrasementos.com>. Acesso em agosto 2010.

JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: Krieger Publishing Company, 1988. 543 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 2, p. 678-684, July/Aug. 1974.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 361-369, 2007.

KORTE, L.L.; WILLIAMS, J.H.; SPECHT, J.E.; SORENSEN, R.C. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny I: agronomic responses. *Crop Science*, Madison, v. 23, n. 3, p. 521-527, 1983.

KRUISE, E.G. Describing irrigation efficiency and uniformity, **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Am Arbor, v.104, n.IRI, p.35-41, 1978.

KUSS, R.C.R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. Santa Maria, UFSM, 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LAMEGO, F.P. et al. Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por cultivares de soja – I. Resposta de variáveis de crescimento. **Planta Daninha**, v. 23, n. 3, p. 405-414, 2005.

LUNARDI, M. A.; LUNARDI, D. M. C.; CAVATI, N. Comparação entre medidas evapotranspirométricas e metodológicas da FAO, na determinação da evapotranspiração de referência. **IRRIGA**, v.4, n.1, p.52-66, 1999.

MAEHLER, A.R. et al. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n. 2, p. 225-231, 2003.

MARTORANO, L, G, **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT** Porto Alegre – RS 2007 170 f Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de culturas. In: BERGAMASCHI, H., et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999. p. 33-47.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da**

equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE. 2002. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MELO, R.W. **Parametrização de modelo para estimação da produtividade da soja nas regiões do Planalto Médio, das Missões e do Alto Vale do Uruguai, Rio Grande do Sul.** 2005. 196 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MENDONÇA, C.; SOUSA, E. F.de; BERNARDO, S. Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275 – 279, 2003.

MICHELON, C. J. **Qualidade física de solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil central.** 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MOMEN, N.M.; CARLSON, R.E.; SHAW, R.H. et al. Moisture-stress effects on the yield components of two soybeans cultivars. *Agronomy Journal*, Madison, v. 71, n. 1, p. 86-90, 1979.

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J.; PENGELLY, B.C. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 1-6, 1993.

NAGUMO, C.H. **Variabilidade espacial e temporal de parâmetros hídricos do solo em culturas de soja e aveia-preta sob sistema semeadura direta.** Dissertação (Mestrado em Agricultura tropical e subtropical), Instituto Agronômico Campinas – SP, 2009.

NEUMAIER, N. et al. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATTO, E.R. (eds.). **Estresses em soja.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000, cap.1, p. 19-44.

OLIVEIRA, R.A.; RAMOS, M.M. **Manual do irrigâmetro.** Viçosa; MG: UFV, 2008. 144 p.

OLIVEIRA, R.A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G.C.; MATERAN, F.J.V.; CECON, P.R. Desempenho do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 166-173, 2008.

PASCALÉ, A.J. et al. Aptitud agroecologica de la Pcia. De Tucumán para el cultivo de la soja. **Rev. Ind. Agric. Tuc.**, v. 63, n. 1, p. 1-22, 1986.

PEITER, M. X.; CHAUDHRY, F. H.; CARLESSO, R. Programação do manejo da irrigação de milho via modelo de simulação. **Engenharia Agrícola**, v. 19, n. 1, p. 53-63, 1999.

PEREIRA, A.S. **Desenvolvimento de um protótipo aplicador de produtos químicos para um sistema de irrigação pivô central**. 2001. 64f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PETTER, R.L.; RIGHES, A. A. Resposta da soja a diferentes potenciais de água no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21.; SIMPOSIO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DO CONE SUL, 1., 1992, Santa Maria. Anais. Santa Maria: DER/UFMS, 1992. v.1, p.983-991.

PORTAL DIA DE CAMPO. Disponível em <http://www.diadecampo.com.br> Acesso em dezembro 2010.

RAMBO, L. et al. Rendimento dos grãos de soja e seus componentes por estrato do dossel em função do arranjo de plantas e regime hídrico. **Scientia Agraria**, v. 3, n. 1-2, p. 79-85, 2002.

REICHARDT, K. et al. Condutividade hidráulica saturada de um perfil de Terra Roxa estruturada (Alfisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, n. 1, p. 21-24, 1978.

ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M. Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263- 268, 2003.

RODRIGUES, M. **Manejo da irrigação da soja a partir da evapotranspiração máxima da cultura**. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

ROLLAND, L. **Mechanized sprinkler irrigation**. Rome: FAO, 1982. 409 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 35).

SÁ, M.; RAMALHO, M. A. P.; SOUZA SOBRINHO, F. de. Aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e antigas de milho. **Revista Ciência e Agrociência**, v. 26, n. 5, p. 1082 – 1091, 2002.

SALINAS, A. R. et al. Respuestas fisiológicas que caracterizan el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la deficiencia hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 331-338, 1996.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

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

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GESTÃO E PARTICIPAÇÃO CIDADÃ. (SEPLAG). Disponível em www.seplag.rs.gov.br. Acessado em dezembro de 2010.

SEDIYAMA, G.C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1996. 176 p.

SILVEIRA NETO, A. N. da et al. Desempenho de linhagens de soja em diferentes locais e épocas de semeadura em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 2, p. 103-108, 2005.

SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effects of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, v. 69, n. 2, p. 274-278, 1977.

SITE BOSSOROCA – RS. Disponível em: www.bossoroica.rs.gov.br acessado em dezembro 2010.

SOARES, F. C. **Análise da viabilidade de irrigação na cultura do milho (Zea mays I.)** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. 2010 113p.

SOUSA, J. R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3 n.2 p.140 – 144 1999.

SOLOMON, K. H. **Irrigation system selection - Center for irrigation technology : irrigation notes**. California: [s.n.], 1988. (California State University).

SOUSA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 367-372, 1997.

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

TAGLIAFERRE, C. **Desempenho do irrigâmetro e de dois minievaporímetros para estimativa da evapotranspiração de referência**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influencia do deficit hidrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1389-1396, 1994.

VIEIRA, A. T. **Caracterização hidráulica de um tubo gotejador**.1996. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade de São Paulo , Piracicaba, 1996.

VILELA, L. A. A. **Irrigação por autopropelido e pivô central**. Lavras: FAEPE, 1999. 82 p.

WESTGATE, M.E. et al. Effect of water deficits on seed development in soybean. **Plant Physiology**, v. 91, n. 2, p. 980-985, 1989.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: **Pedogenesis and soil taxonomy**: I. concepts and interactions. New York: Elsevier, 1983. p. 83-116.

AYOADE, J.O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel,1986.

APÊNDICES

APÊNICE I

Tabela das características químicas do solo Nitossolo Vermelho Distróférrico Latossólico mapeamento São Borja – Valores médios para três repetições.

Área ha	Argila %	pH H ₂ O	Índice SMP	P mg. dm ⁻³	K mg.dm ⁻³	M.O %	Al _{troc} cmol _c dm ⁻³	Ca _{troc} cmol _c dm ⁻³	Mg _{troc} cmol _c dm ⁻³
30	>60	5,3	5,7	5,2	107	3,4	0,2	5,3	2,5

H + AL cmol _c dm ⁻³	CTC cmol _c dm ⁻³	%SAT DA CTC BAS AL	S mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³	B mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³	Fe g dm ⁻³
6,2	14,2	56,5	7,2	1,2	8,0	0,2	42	nd

APÊNDICE II

Tabela de análise da variância do índice de área foliar da cultivar de soja Munasqa.

Causas de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
Tratamentos	6	2,22	0,37	0,13	2,372
Erro	35	98,24	2,81		
Total	41	100,46			

APÊNDICE III

Tabela de análise da variância da altura de plantas.

Causas de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
Tratamentos	6	133	22	0,02	2,372
Erro	35	37064	1059		
Total	41	37197			

APÊNDICE IV

Tabela de análise da variância do número de folhas por planta.

Causas de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F (5%)
Tratamentos	6	83	14	0,01	2,372
Erro	35	36077	1031		
Total	41	36160			

APÊNDICE V

Tabela de análise da variância do número de vagens/planta⁻¹ (NVP).

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	475	79	0,3	2,85
Erro	14	3674	262		
Total	20	4149			

APÊNDICE VI

Tabela de análise da variância do número de grãos/vagem⁻¹ (NGV) para a aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	0,01	0	0	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	14,01			

APÊNDICE VII

Tabela de análise da variância do número de vagens/planta⁻¹ (NVP), aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	62,69	10,45	10,45	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	76,69			

APÊNDICE VIII

Tabela de análise da variância do massa seca do grão (MSG) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	572,5	95,42	95,42	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	586,5			

APÊNDICE IX

Tabela de análise da variância do número de plantas/m⁻² (NPL) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	0	0	0	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	14			

APÊNDICE X

Tabela de análise da variância do número de grãos/vagem⁻¹ (NGV) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	0,01	0	0	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	14,01			

APÊNDICE XI

Tabela de análise da variância da massa seca dos grãos/planta⁻¹ (MSGRAO) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	6,351	1,059	1,17	2,85
Erro	14	12,667	0,905		
Total	20	19,018			

APÊNDICE XII

Tabela de análise da variância da massa seca do colmo/planta⁻¹ (MSC) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	62,69	10,45	10,45	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	76,69			

APÊNDICE XIII

Tabela de análise da variância da massa seca média das vagens/planta⁻¹ (MSVG) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	1913,14	318,86	318,86	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	1927,14			

APÊNDICE XIV

Tabela de análise da variância da massa seca total da planta (MSTOTAL) aos 95 DAE.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	2756,57	459,43	459,43	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	2770,57			

APÊNDICE XV

Tabela de análise da variância da produção de Sc.ha⁻¹ para a cultivar de soja Munasqa.

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	6	1401,95	233,66	233,66	2,85
Erro	14	14	1		
Total	20	1415,95			

APÊNDICE XVI

Tabela de análise de variância da comparação da lamina média de irrigação do irrigâmetro com o tanque classe "A"

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	1	13,47	13,47	4,80	7,71
Erro	4	11,23	2,81		
Total	5	24,70			

APÊNDICE XVII

Tabela de análise de variância da comparação da irrigação entre o irrigâmetro e o tanque classe "A"

Causa de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	F(5%)
Tratamento	1	6504	6504	8,19	7,71
Erro	4	3177	794		
Total	5	9682			