

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

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO DE
PRECISÃO NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fátima Cibele Soares

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO DE PRECISÃO
NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)**

por

Fátima Cibele Soares

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

Orientadora: Prof^a. Marcia Xavier Peiter

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

S676a Soares, Fátima Cibele, 1985-
Análise da viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (Zea mays L.) / Fátima Cibele Soares. - 2010. 113 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.
“Orientador: Prof. Marcia Xavier Peiter”

1. Agricultura 2. Irrigação de precisão 3. Milho 4. Solo 5. Semeadura I. Peiter, Marcia Xavier II. Título

CDU: 631.67

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**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

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO DE PRECISÃO NA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays L.*).**

elaborada por
Fátima Cibele Soares

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Marcia Xavier Peiter, Dra.
(Presidente / Orientadora)

Adroaldo Dias Robaina, Dr., (UFSM)

Liane de Souza Weber, Dra., (UFSM)

Santa Maria, 18 de janeiro de 2010.

Ofereço

Aos meus pais, Antonio e Clenir, minha avó, Faustina pelo apoio incondicional durante toda esta caminhada.

Por terem me ensinado o verdadeiro sentido da vida.

Aos meus irmãos, pelo apoiado nos momentos mais difíceis desta jornada, muito obrigado por terem acreditado em mim.

Vocês foram maravilhosos

Fica aqui a minha gratidão, meu carinho e amor que sinto por vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus que está sempre comigo dando coragem, força, saúde e inteligência para tomar as decisões corretas.

À minha orientadora, Professora Márcia Xavier Peiter, pela orientação, dedicação, alegria e ensinamentos para a minha formação e realização deste trabalho.

Ao Professor Adroaldo Dias Robaina, pela pronta colaboração, aprendizado e sempre cooperação na realização deste trabalho.

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

Aos membros da Comissão Examinadora.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural.

Aos professores do PPGEA, pelos ensinamentos.

Aos meus pais, pelo amor e dedicação incondicional para que este meu sonho se tornasse possível.

Aos meus irmãos Herton e Daniele, pelo amor, carinho e compreensão, durante esta caminhada.

A toda minha família, pela força e incentivo, ao meu namorado Cleiton Ramão, que foi fundamental para a realização deste trabalho pelo apoio, carinho e compreensão, pela ajuda incansável em todos os momentos.

Aos funcionários do Centro Tecnológico do Vale do Jaguari: Eng. Agrônomo Ciro Brum e bolsistas Leneu Lazari e Vinicus Zinelli pelo constante apoio na realização do experimento de campo e coleta de dados meteorológicos.

Aos colegas e amigos do PPGEA e do laboratório de Engenharia de Irrigação, pela amizade e contribuição.

À colega e amiga Ana Rita Costenaro Parizi pela contribuição, amizade e carinho.

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

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

Muito Obrigada!

"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, RS, Brasil

ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IRRIGAÇÃO DE PRECISÃO NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)

AUTORA: FÁTIMA CIBELE SOARES
ORIENTADORA: MARCIA XAVIER PEITER
Santa Maria, 18 de janeiro de 2010

A disponibilidade hídrica no solo, dentro de uma mesma área cultivada, varia no espaço e no tempo. Entretanto, a aplicação da lâmina de irrigação é realizada igualmente em toda a lavoura irrigada, sem levar em conta as variações das características físico-hídricas do solo, que influem em sua capacidade de retenção. O presente trabalho teve por objetivo, analisar a variabilidade das características físico-hídricas do solo, na área de cultivo, relacionando-as com as características morfológicas de duas cultivares de milho (BM 1120 e BM 1115), em área irrigada sem variação de lâmina de irrigação, a fim de construir um cenário que permita avaliar a viabilidade da irrigação de precisão para a cultura. O experimento foi conduzido na área experimental do Centro Tecnológico do Vale do Jaguari, município de Jaguari/RS, em uma área de 4,35ha, com sistema de irrigação do tipo pivô setorial, de 270°, sendo esta dividida em seis setores de 45° cada. Dentro de cada setor foram realizados pontos de coletas, para a caracterização das propriedades físicas e químicas do solo. Para avaliar os diferentes componentes da parte aérea da planta, eram coletadas cinco plantas inteiras, dentro de cada setor, a cada vinte dias. O manejo da irrigação foi realizado igualmente em toda a área, através da estimativa da evapotranspiração da cultura pelo tanque classe "A", também monitorou-se diariamente o conteúdo de água no solo, através de sensores dielétricos de umidade, instalados nos diferentes setores. No final do ciclo da cultura foram determinados os componentes de produção da cultura, para estimativa da produção de grãos nos diferentes setores. Os resultados foram submetidos a análise da variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Através dos resultados observou-se variabilidade espacial da produtividade e das características físico-hídricas e químicas do solo. Devido à variabilidade da área em estudo, a cultura do milho apresentou uma variação na produtividade de 40%, para a variedade BM 1120 e de 56% na variedade BM 1115. O setor S6 foi o que apresentou a maior disponibilidade hídrica às culturas, logo, destacou-se em maior produtividade de grãos. Deve-se considerar a área cultivada, por menor que seja, de forma heterogênea, realizando a divisão em subáreas para a aplicação precisa da lâmina de irrigação, a fim de otimizar o aproveitamento dos recursos naturais e minimizar custos.

Palavras-Chave: irrigação de precisão; milho; disponibilidade hídrica do solo.

ABSTRACT

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

ANALYSIS VIABILITY OF THE IRRIGATION OF PRECISION IN THE CULTURE OF THE MAIZE (*Zea mays* L.)

AUTHOR: FÁTIMA CIBELE SOARES
ADVISER: MARCIA XAVIER PEITER
Santa Maria, January 18th, 2010.

The hydrous availability in the soil, within the same cultivated area, varies on space and time. However, the application of the irrigation lamina is accomplished likewise in the entire irrigate tilth, without taking into account the variance of the physical-hydro characteristics of the soil that influence in its capacity of retention. This present work had as objective the analysis of the variability of physical-hydro characteristics of the soil in the cultivation area, connecting them to the morphologic characteristics of two corn cultivation types (BM 1120 e BM 1115), in an irrigate area with no variation of the irrigation lamina, in order to build up a scenery that allows us to evaluate the viability of the irrigation precision for the cultivation. The experiment was conducted in the experimental area of "Technologic Center from Jaguari Valley", in a town called Jaguari, in RS, in an area of 4,35ha, with a sectorial pivot irrigation system of 270°, divided in six sectors of 45° each. Within each sector were made collection points for the characterization of physical and chemical properties of soil. To evaluate the different components of the plant canopy, were collected five whole plants, within each sector, every twenty days. The irrigation was carried out equally across the area through the estimation of crop evapotranspiration by a class "A", also monitored daily to the water content of soil from the dielectric humidity sensors, installed in different sectors. At the end of the cycle were determined components of crop production for estimation of grain production in different sectors. The results were subordinate to an analysis of variation, and the averages were compared to the Tukey test to 5%. Through the generated maps the spatial variability of productivity and the physical-hydro chemical characteristics of the soil were observed. Due to the variability of the area of study, the cultivation of corn presented a variation in the 40 % productivity to the BM 1120 variety and from 56 % in the BM 1115 variety. The S6 sector was the one that presented the greatest hydrous availability to the cultivations, ergo, it showed up in more grain productivity. The cultivated area must be considered, no matter how small it is, in a heterogeneous way, accomplishing the division in sub-areas for the precise application of the irrigation lamina, in order to optimize the use of natural resources and minimize the expenditures.

Key Words: irrigation of precision; corn; hydrous availability of the soil.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Área de realização do experimento. Fonte: Google earth (2009).....	40
FIGURA 02 - Localização dos pontos das coletas para a caracterização física. Jaguari, RS, 2007.....	43
FIGURA 03 - Localização dos pontos das coletas para a caracterização química. Jaguari, RS, 2007.....	44
FIGURA 04 - Implantação do experimento, detalhes da semeadora. Jaguari, RS, 2007.....	45
FIGURA 05 - Relação funcional para calibração entre a leitura das régua medidoras de umidade e o conteúdo de água gravimétrico do solo. Jaguari, RS, 2007.....	48
FIGURA 06 - Estação meteorológica, (convencional) (a), tanque de evaporação (b) e sensor de umidade do solo (c). Jaguari, RS, 2007.....	49
FIGURA 07 - Evolução temporal da altura de planta ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	57
FIGURA 08 - Evolução temporal do número médio de folhas por plantas dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	59
FIGURA 09 - Evolução temporal do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	61
FIGURA 10 - Evolução temporal da altura de planta ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	63

FIGURA 11 - Evolução temporal do número médio de folhas por planta dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	65
FIGURA 12 - Evolução temporal do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	67
FIGURA 13 - Relação da disponibilidade hídrica (mm) com a classificação textural do solo em cada setor, na profundidade de 0 - 30 cm.....	68
FIGURA 14 - Relação da disponibilidade hídrica (mm) com a densidade do solo média, para cada setor.....	69
FIGURA 15 - Disponibilidade hídrica média (mm), em cada setor, ao longo do ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1120.....	70
FIGURA 16 - Histograma de distribuição de freqüências da disponibilidade hídrica do solo.....	71
FIGURA 17 - Altura média de planta (cm) relacionado com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	72
FIGURA 18 - Número médio de folhas por planta, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento..	72
FIGURA 19 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio, relacionado com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	73
FIGURA 20 - Matéria seca ($kg.ha^{-1}$) médio, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	73
FIGURA 21 - Relação da disponibilidade hídrica média (mm) com a classificação textural do solo em cada setor, na profundidade 0 – 30 cm.....	75
FIGURA 22 - Relação da disponibilidade hídrica média (mm) com a densidade do solo média, em cada setor.....	75
FIGURA 23 - Disponibilidade hídrica média (mm), em cada setor, ao longo do ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1115.....	77
FIGURA 24 - Histograma de distribuição de freqüências da disponibilidade hídrica do solo.....	78

FIGURA 25 - Altura média de planta (cm) relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	79
FIGURA 26 - Número médio de folhas por planta, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	79
FIGURA 27 - Índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) médio, relacionado com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	80
FIGURA 28 - Matéria seca ($kg.ha^{-1}$) média, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.....	80
FIGURA 29 - Produção de grãos ($kg.ha^{-1}$) com relação a disponibilidade hídrica média (mm) para a cultivar BM 1120.....	87
FIGURA 30 - Produção de grãos ($kg.ha^{-1}$) com relação a disponibilidade hídrica média (mm) para a cultivar BM 1115.....	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Caracterização textural do solo em duas profundidades, para os diferentes setores.....	52
TABELA 02 – Valores médios de densidade de solo, em diferentes profundidades, para os distintos setores.....	53
TABELA 03 - Características químicas do solo Argissolo Vermelho Distrófico, unidade de mapeamento São Pedro. Valores médios de três repetições.....	54
TABELA 04 - Valores médios de altura de planta (cm) do híbrido BM 1120, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.....	56
TABELA 05 - Valores médios do número de folhas por planta do híbrido BM 1120, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.....	58
TABELA 06 - Valores médios do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) do híbrido BM 1120, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.....	59
TABELA 07 - Valores médios de altura de planta (cm) do híbrido BM 1115, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.....	62
TABELA 08 - Valores médios do número de folhas por planta do híbrido BM 1115, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.....	64
TABELA 09 - Valores médios do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) do híbrido BM 1115, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.....	66

TABELA 10 - Disponibilidade hídrica (mm), para a profundidade de 30 cm, valores observados ao longo do ciclo da cultura, para os diferentes setores.....	68
TABELA 11 - Disponibilidade hídrica (mm), para a profundidade de 30 cm, valores observados ao longo do ciclo da cultura, para os diferentes setores.....	74
TABELA 12 - Irrigação e precipitação pluvial (mm) ao longo do ciclo da cultura do milho semeadura.....	82
TABELA 13 - Valores médios dos componentes de produção para a variedade BM 1120 aos 124 DAE.....	83
TABELA 14 - Valores médios de massa seca e índice de colheita (IC), em cada setor para a cultivar BM 1120 aos 124 DAE.....	84
TABELA 15 - Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de matéria seca, produção de grãos e eficiência de água aplicada (EAA) nos diferentes setores para a cultivar BM 1120.....	85
TABELA 16 - Valores médios da disponibilidade hídrica observada nos diferentes estágios fenológicos da cultivar BM 1120 para os distintos setores.....	86
TABELA 17 - Valores médios dos componentes de produção para a variedade BM 1115 aos 124 DAE.....	89
TABELA 18 - Valores médios de massa seca e índice de colheita (IC), em cada setor para a cultivar BM 1115 aos 124 DAE.....	90
TABELA 19 - Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de matéria seca, produção de grão e eficiência de água aplicada (EAA) nos diferentes setores para a cultivar BM 1115.....	91
TABELA 20 - Valores médios da disponibilidade hídrica observada nos diferentes estágios fenológicos da cultivar BM 1115 para os distintos setores.....	92

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 A cultura do milho.....	18
2.2 Ciclo da cultura e componentes da produção.....	20
2.3 Irrigação na cultura de milho.....	22
2.3.1 Manejo da irrigação.....	24
2.3.1.1 Estimativa da evapotranspiração.....	27
2.4 Irrigação e variabilidade espacial do solo.....	29
2.4.1 Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo.....	30
2.4.2 Variabilidade espacial das propriedades químicas do solo.....	32
2.5 Agricultura e irrigação de precisão.....	35
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Local	40
3.2 Clima.....	41
3.3 Solo.....	42
3.4 Coleta do solo.....	42
3.4.1 Determinações físicas.....	42
3.4.2 Determinações químicas.....	43
3.5 Cultivares.....	44
3.5.1 Híbrido BM 1120.....	44
3.5.2 Híbrido BM 1115.....	45
3.6 Semeadura.....	45
3.7 Adubação.....	46
3.8 Controle fitossanitário.....	46
3.9 Irrigação.....	46
3.10 Elementos meteorológicos.....	48
3.11 Avaliações agronômicas da cultura do milho.....	49
3.11.1 Altura de planta.....	49
3.11.2 Número de folhas.....	50
3.11.3 Índice de área foliar.....	50
3.11.4 Massa verde e massa seca.....	50

3.12 Componentes de produção e massa seca final	50
3.13 Índice de colheita.....	51
3.14 Análise estatística.....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Características físicas do solo.....	52
4.2 Características químicas do solo.....	54
4.3 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento das cultivares...	55
4.3.1 Híbrido Biomatrix 1120 (BM 1120).....	55
4.3.1.1 Altura de planta.....	55
4.3.1.2 Número de folhas por planta.....	57
4.3.1.3 Índice de área foliar.....	59
4.3.2 Híbrido Biomatrix 1115 (BM 1115).....	61
4.3.2.1 Altura de plantas.....	61
4.3.2.2 Número de folhas por planta.....	63
4.3.2.3 Índice de área foliar.....	65
4.4 Variações da umidade do solo.....	67
4.5 Componentes da produção, matéria seca total, índice de colheita e produção.....	82
4.5.1 Híbrido BM 1120.....	82
4.5.2 Híbrido BM 1115.....	89
5 CONCLUSÃO.....	95
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho em função do seu alto potencial de produção, composição química e valor nutricional, constitui, atualmente um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. No Brasil este cereal é cultivado em todas as regiões, com destaque às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, as quais são responsáveis pela maior percentual de produção do país. Uma das principais características desta cultura, que o faz que seja mais cultivada que outros cereais é a sua capacidade de resposta a irrigação.

O rendimento desta cultura pode ser afetado por déficits hídricos causados por variações climáticas, cujo efeito depende da intensidade, época e duração em relação ao ciclo de crescimento e desenvolvimento da planta.

Uma forma de assegurar e elevar a produção e a produtividade de grãos, nas propriedades agrícolas é através da aplicação de lâminas de irrigação. Em uma visão mais atual, dentro do foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma prática que deixou de ser vista como uma técnica que visava basicamente à luta contra a seca, mas passou a ser enxergada como uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade, de forma sustentável e com maior geração de renda, com enfoque nas cadeias produtivas.

A partir desta visão, a expansão das lavouras irrigadas nos últimos anos em todo o Brasil, tem exigido maior investimento na área da pesquisa, no intuito de suprir a demanda de conhecimento com relação ao uso da água e nutrientes, a fim de obter-se altas produções com retorno econômico. Uma das formas de manejo de irrigação que tem possibilitado a obtenção de altas produções, sem risco de déficit hídrico às culturas, é a irrigação programada através do uso de sistema de pivô central.

Embora a água seja um dos principais componentes de produção que afeta a produção das culturas, sua variabilidade dentro da área irrigada é freqüentemente ignorada. A aplicação espacialmente diferenciada de água ou irrigação de precisão permite maximizar a produção e a eficiência de uso da água em solos com variabilidade espacial da disponibilidade hídrica. A maioria dos sistemas de irrigação

com aplicação espacialmente variável desenvolvidos até o momento utilizam equipamentos móveis, tais como pivôs centrais ou sistemas lineares.

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. Os avanços técnicos obtidos nos sistemas de posicionamento global e de informação geográfica têm sido fatores determinantes na abordagem da irrigação de precisão.

É importante que o produtor não considere a irrigação como uma opção tecnológica isolada, que pode proporcionar maior produção das culturas, mas que a irrigação 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. Uma vez que o manejo da adubação é também sem dúvida, juntamente com a irrigação, uma das principais maneiras de garantir alta produtividade, pois o adequado fornecimento de nutrientes é essencial para o bom desenvolvimento da cultura.

Para dar suporte os produtores, uma técnica que tem contribuído para aumento da produção de grãos, é a agricultura de precisão que é um prática que permite diferenciar a área total cultivada em pequenas áreas, esta apoiada em recursos tecnológicos, vêm a otimizar e maximizar a eficiência na utilização dos insumos agrícolas e recursos hídricos. Com esta técnica objetiva-se elevar a produção, reduzir o custo da área cultivada, diminuir o impacto ambiental causado pelo uso excessivo de insumos e ineficiente dos recursos naturais.

A técnica da agricultura de precisão permite gerar informações, que possibilite a verificação das variações espaciais e temporais dos fatores limitantes à produção, a fim de identificar áreas específicas que apresentam diferentes potenciais de produção e orientar os produtores no processo de tomada de decisão para o manejo diferenciado das culturas no campo. Neste manejo diferenciado, pode-se destacar a irrigação de precisão em função da variabilidade de solo e topografia dos diferentes sítios dentro de uma área considerada. Neste caso, além da redução no uso de insumos têm-se também a alocação otimizada do uso da água.

Em função da importância da cultura do milho na economia do país, da necessidade de introdução de técnicas racionais para o manejo da água e aumento da produção, o presente trabalho teve como objetivo analisar a variabilidade das

características físico-hídricas da área de cultivo, relacionando-as à variabilidade no processo de desenvolvimento e produtividade da cultura, em área irrigada sem variação de lâmina de irrigação. Construindo um cenário que permita avaliar a viabilidade da irrigação de precisão para a cultura do milho, através de pivô central setorial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo todo. É uma planta gramínea da espécie *Zea mays* L., um cereal de altas qualidades nutritivas sendo cultivado há muitos séculos. O milho está entre as graníferas de alta importância na produção agrícola do Brasil, haja visto a significativa área cultivada e a destinação, tanto para consumo humano como animal (SANTOS, 2002).

Segundo Bergamashi (2004), o milho pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo. Sua elevada produtividade ocorre quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico. Essa condição permite a máxima fotossíntese possível, porém aumenta a necessidade hídrica da cultura, já que o elevado fluxo energético incidente também eleva a evapotranspiração.

A cultura do milho é produzida em climas que variam desde a zona temperada até a tropical, durante os períodos em que as temperaturas médias são superiores a 15°C sem ocorrência de geadas. Para obter a produção máxima, com período médio de amadurecimento, o milho necessita de 500 a 800 mm de água, dependendo do clima (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

A cultura do milho apresenta ciclo vegetativo variável, contemplando desde genótipos precoces, onde a polinização pode ocorrer 30 dias após a emergência (DAE), até mesmo aqueles cujo ciclo vital pode alcançar 300 dias após semeadura (DAE). No Brasil, a cultura de milho apresenta um ciclo vegetativo variando entre 110 DAE a 180 DAE, em função da caracterização dos genótipos, ciclos superprecoce, precoce e tardio (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

O Brasil ocupa a terceira posição no ranking mundial de área colhida de grãos de milho, colhendo em média 12 milhões de hectares a cada safra, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China (CIB, 2008).

Apesar de estar entre os três maiores produtores, o Brasil não se destaca entre os países com maior nível de produtividade, devido ao grande número de pequenos produtores que cultivam esse cereal.

A produção de milho no Brasil tem crescido, porém o consumo tem aumentado mais que a produção. O milho possui alto potencial produtivo, e é bastante responsivo à tecnologia, se beneficiando muito de técnicas modernas de plantio e colheita (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

A cultura do milho no Brasil ocupou, em 2007, uma área em torno de 12,9 milhões de hectares, responsável por uma produção de cerca de 41,3 milhões de toneladas de grãos, apresentando um rendimento médio de 3.198 kg.ha^{-1} (3.298 kg.ha^{-1} na safra e 2.907 kg.ha^{-1} na safrinha), de acordo com a CONAB (2008). Mesmo considerando o rendimento dos estados da região Centro-Sul, que foi de 3.893 kg.ha^{-1} , esse rendimento é muito inferior ao que poderia ser obtido, levando-se em consideração o potencial produtivo da cultura.

Além de ocupar uma área cultivada considerável no território brasileiro, gerando empregos no setor agrícola, o milho é importante pela sua utilização direta na alimentação humana e de animais, bem como na indústria para a produção de cola, amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas e de muitos outros produtos importantes em nosso cotidiano. De acordo com Souza e Braga (2004), a importância do milho para a produção animal pode ser verificada pelo emprego de 80% de todo o milho produzido no país ser consumido na forma de ração.

Por ser um dos cereais de maior importância econômica no mundo, o milho é uma das espécies vegetais mais estudadas. Constantemente programas de melhoramento estão buscando novos procedimentos para a obtenção de variedades mais produtivas e economicamente rentáveis e muitos esforços vêm sendo realizados para entender sobre a sua origem e evolução (EMBRAPA, 2008).

Ainda, de acordo com a citação acima, sua importância econômica no Brasil é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vão desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo.

2.2 Ciclo da cultura e componentes da produção

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (1999), o ciclo da cultura compreende as seguintes etapas de desenvolvimento: (i) germinação e emergência: período compreendido desde a sementeira até o efetivo aparecimento da plântula, o qual em função da temperatura e umidade do solo pode apresentar 5 a 12 dias de duração; (ii) crescimento vegetativo: período compreendido entre a emissão da segunda folha e o início do florescimento, tal etapa apresenta extensão variável, sendo este fato comumente empregado para caracterizar os tipos de materiais genéticos (híbridos ou variedades) de milho, quanto ao comprimento do ciclo; (iii) florescimento: período compreendido entre o início da polinização e o início da frutificação, cuja duração raramente ultrapassa 10 dias; (iv) frutificação: período compreendido desde a fecundação até o enchimento completo dos grãos, sendo sua duração estimada entre 40 e 60 dias; (v) maturidade: período compreendido entre o final da frutificação e o aparecimento da “camada negra”, sendo este relativamente curto e indicativo do final do ciclo de vida da planta, denominado ponto de maturidade fisiológica.

A formação da “camada negra” representa o rompimento do elo de ligação entre a planta mãe e o fruto, caracterizando o momento ideal para a colheita, em função da máxima produção concentrada nesse estágio, entretanto, a alta umidade contida nos grãos (35 a 45%) impede a realização dessa prática, mediante o emprego de colhedoras convencionais.

Entretanto, para maior facilidade de manejo e estudo, bem como objetivando a possibilidade do estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, anatômicos, morfológicos e fitotécnicos, com desempenho da planta, o ciclo da cultura do milho foi dividido em alguns estádios distintos de desenvolvimento, segundo Ritchie e Hanway (1989): (i) VE (emergência); (ii) V1 (planta com a primeira folha desenvolvida); (iii) V2 (segunda folha desenvolvida); V3 (terceira folha desenvolvida); (v) V4 (quarta folha desenvolvida); (vi) V(n) (“n” igual ao número da folha desenvolvida); (vii) VT (emissão da inflorescência masculina); (viii) R1 (emissão da inflorescência feminina); (ix) R2 (grãos folha d’água); (x) R3 (grãos leitosos); (xi) R4 (grãos pastosos); (xii) R5 (formação de dente) e R6 (maturidade fisiológica) (RITCHIE e HANWAY, 1989).

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

De acordo com Loomis e Amthor (1999), a grande maioria das plantas de lavoura segue um modelo de crescimento sigmóide, ou seja, no início do ciclo o crescimento é lento, aumentando gradativamente até atingir um ponto máximo, quando se estabiliza.

Segundo Queiroz et al., (2000), as características das culturas variam no espaço (distância e profundidade) e no tempo. Os autores acreditam que para produzir grãos de milho de boa qualidade, várias recomendações técnicas devem ser atendidas, como uma boa seleção de híbridos, manejo da cultura, água na quantidade necessária, umidade certa para colheita, entre outros.

Segundo Flaresso et al., (2000) estudando cultivares de milho de dois ciclos (tardios e precoces) para a produção de silagem, observou que, nos ciclos mais tardios a altura da planta foi maior em comparação com os ciclos precoces, enquanto que o número de espigas por plantas se igualou, com valores próximos a um. Com relação aos componentes das plantas de milho, as cultivares mais precoces apresentaram em torno de 30% de colmo em sua composição, enquanto que cultivares mais tardios em torno de 35%. Estes autores observaram valores em torno de 18% para a quantidade de folhas. A proporção de espiga destacou-se nos precoces variando de 42,4% a 47%, já nos tardios esse valor ficou de 38,6% a 41,4%.

Zimmermann (2001), trabalhando com cultivares de milho em plantio direto e sob irrigação, com uma população de 65.741 plantas.ha⁻¹, obteve o número de 450 grãos.espiga⁻¹ e uma massa de 1000 grãos de 310,68 g. As cultivares de milho em plantio direto e sob déficit hídrico obtiveram o número de 268 grãos.espiga⁻¹ e uma massa de 1000 grãos de 295,25 g, sendo que esta não se diferenciou estatisticamente dos dados obtidos do milho sob irrigação.

Bernardon (2005) trabalhando com milho irrigado cultivar AG 9020 e P 32R21 encontrou valores médios de número de grãos.espiga⁻¹ variando de 325,00 a 525,75 e 414,75 a 533,75, respectivamente; variação da massa seca média do grão de 0,30

g a 0,36 g e 0,27 g a 0,38 g , respectivamente, aos 144 dias após a emergência (DAE). Obteve valores médios de produtividade de 9.076 kg.ha⁻¹ para a cultivar AG 9020 e 8.455,26 kg.ha⁻¹ para a cultivar P 32R21.

Para a cultura do milho, Fancelli e Dourado Neto (2000) citam que dentre as estratégias básicas relacionadas para a obtenção da alta produtividade, pode-se destacar, a escolha da época correta de semeadura, o uso de genótipos adequados para as condições do ambiente de produção, o conhecimento pleno das etapas críticas da cultura, o emprego das recomendações e ações de intervenção fundamentadas em estádios fenológicos e a garantia do equilíbrio e do fornecimento de nutrientes em doses adequadas.

De acordo com os mesmos autores, acima citado, a produtividade de milho depende do número de grãos por unidade de área e da quantidade de fotoassimilados disponíveis para esses grãos. É variável entre os diferentes híbridos ou cultivares e é influenciado por fatores de ambiente que predominam nos períodos em torno da fertilização.

Os autores acima, destacam que a fotossíntese, a respiração e a transpiração são processos fisiológicos da planta de milho que resultam diretamente da energia disponível ao ambiente.

Embora a natureza forneça a maior parte da influencia ambiental sobre o crescimento e a produtividade do milho, um produtor pode manipular o ambiente ao utilizar práticas de manejo testadas e aprovadas. Tais operações incluem preparação do solo, fertilização, irrigação, controle de invasoras e de insetos entre muitas outras práticas (RITCHIE et. al., 2003).

2.3 Irrigação na cultura de milho

Na agricultura, a irrigação é fundamental para eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos, aumentar a produtividade, garantir a produção de alimentos e intensificar o uso da terra.

Na produção vegetal a água é um fator fundamental. Qualquer cultura durante o ciclo de desenvolvimento consome grande volume de água. Por volta de 98% deste volume apenas passa através da planta, sendo perdido posteriormente pelo

processo de transpiração. O solo comporta-se como reservatório dessa água, armazenando-a temporariamente e fornecendo-a às plantas à medida de suas necessidades (GORDON, 1995).

Segundo Sedyama (1996), os principais fatores que influenciam na quantidade de água requerida pelas plantas são os climáticos, as características das plantas, as práticas culturais e o tipo de solo. As principais técnicas de estimativa do requerimento de água pelas plantas baseiam-se em dados climáticos.

A sensibilidade do mecanismo de adaptação do déficit hídrico depende do estágio de desenvolvimento da planta. Todavia, a frequência e intensidade do déficit hídrico são fatores que limitam a produção agrícola (CASTRO et. al., 1987). Desconsiderando efeitos externos, esta limitação é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção, e isto ressalta a importância do conhecimento das condições meteorológicas durante o desenvolvimento das plantas em período de baixa precipitação e elevada evapotranspiração.

Segundo Pereira et al., (1997), o estresse hídrico é caracterizado quando o solo não contém água disponível às plantas, ou seja, a taxa de evapotranspiração fica mais dependente das características físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica (ANDRADE et al., 1991) e, numa segunda situação, quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica.

A ocorrência do déficit hídrico durante o crescimento tem menor influência sobre a redução do rendimento de grãos do que a ocorrência do mesmo na floração e enchimento de grãos, segundo Castro et. al. (1987).

A deficiência de água, principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos é responsável pela redução do número de espigas do número de grãos na espiga e do peso de grãos, componentes diretamente envolvidos no rendimento (JENSEN, 1981).

Realizando estudos com alta tecnologia no cultivo do milho, Pioneer Sementes (1993), ressaltam que se ocorrer deficiência hídrica nos períodos mais críticos (florescimento e enchimento de grãos), que são as fases com a maior absorção de nutrientes, a adubação poderá ter nenhum efeito sobre o desenvolvimento das plantas. Nesse caso, um elevado número de plantas por área passa a ser um redutor do potencial produtivo, pela competição por água.

O cultivo do milho irrigado, apesar dos problemas que vem enfrentando nas últimas safras, é de suma importância principalmente em sucessão de culturas. Além disso, a produtividade desta cultura, em condições irrigadas, pode ser superior a 30 e 40% em relação à área de sequeiro, nesta situação, a cultura do milho pode ser uma opção bastante interessante principalmente na entre safra (BORGES, 2003).

Jensen (1981), em um estudo com um híbrido precoce e três densidades de plantas, sob condições naturais e irrigação, encontraram que 71% da variação no rendimento de grãos foram causadas pela variação na disponibilidade de água às plantas.

Matzenauer et al., (1988), obtiveram acréscimo na produtividade do milho de até 39,2% com a utilização da irrigação. Segundo Reichardt (1990), para que a cultura do milho atinja ótimas produções, cultivares de ciclo médio (90 a 110 dias), necessitam de 500 a 800 mm de água, dependendo das condições climáticas.

Conforme vários estudos (PEITER, 1998; ARNOLD e STOCKLE, 1991) com o uso da irrigação, em diversos locais de clima subtropical sub úmido, conseguiu-se elevar de 2.000 kg.ha⁻¹ em cultivo de sequeiro para 12.900 kg.ha⁻¹ com o cultivo irrigado. Nestes mesmos trabalhos, pesquisou-se o uso da irrigação, chegando a conclusão que é viável o uso da irrigação na cultura do milho, principalmente pelo seu potencial produtivo e seu valor comercial, bem acima de 10 ton.ha⁻¹.

Büll (1993) salienta que grande parte dos sistemas de irrigação são projetados de maneira satisfatória. Entretanto, as baixas produtividades obtidas em lavouras de milho em condições irrigadas, são devido a erros no manejo inadequado da cultura e da irrigação.

2.3.1 Manejo da irrigação

No Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação. Apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo, os irrigantes não têm sido receptivos a qualquer método em particular (ESPINDULA NETO, 2002). Segundo Jensen (1983), os principais fatores que colaboram para tal ocorrência são os baixos custos da água de irrigação, em comparação com o custo de implantação de um programa de manejo, bem como a dificuldade na identificação e quantificação da redução na

produtividade devido ao atraso na irrigação, à fertilização imprópria e irrigação excessiva.

O manejo da irrigação busca suprir a necessidade hídrica da cultura, na medida certa sem déficit nem excesso. É muito importante para se obter sucesso na produção e também preservar o meio ambiente, que o manejo de irrigação seja feito de forma correta (GOMES e TESTEZLAF, 2004).

A irrigação permite a suplementação de água nos períodos de estiagem e a utilização contínua da área a fim de possibilitar duas ou três safras por ano, de acordo com a espécie cultivada (RESENDE et. al., 2003)

Segundo Mantovani et al., (2006), mesmo considerando a melhoria dos sistemas modernos de irrigação, com maior eficiência de distribuição da água nas mais diversas situações, a falta de um programa de manejo pode levar tudo a perder, seja pela aplicação de água em excesso (mais comum) ou pela sua falta, antes ou depois do momento adequado em cada fase da cultura, nas situações vigentes.

De acordo com Sentelhas (2001), a irrigação é a atividade agrícola cujo objetivo é o fornecimento de água às culturas, de modo a atender suas exigências hídricas nas diferentes fases de seu desenvolvimento, sendo que tais exigências irão depender fundamentalmente das condições climáticas vigentes e da disponibilidade de água no solo e, para Brandão et al., (2006), a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram prejuízos de tal magnitude que, atualmente, problemas sociais e ambientais de grande relevância advêm de aspectos relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água.

Peiter et al., (1999) relataram que existem três aspectos que devem ser considerados na programação das estratégias de irrigação: o momento apropriado da aplicação, a quantidade necessária em cada aplicação e o consumo total de água da cultura durante o seu ciclo. No entanto, atualmente, para o estudo da eficiência do manejo da irrigação, deve-se priorizar os retornos econômicos ao irrigante, cuja quantidade de água e a época de aplicação são de grande importância para se obter a máxima produção econômica (PAZ et al., 1997), principalmente em regiões que tem a água como fator limitante (CALHEIROS, et al., 1996).

O manejo de irrigação é o processo para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água. Esse é o único meio para otimizar a produção agrícola e conservar a água, além de ser a chave para melhorar o desempenho e a

sustentabilidade de sistemas de irrigação. Para o manejo de irrigação, é necessário ter bons conhecimentos do requerimento de água das culturas e das características físico-hídricas do solo, para determinar quando irrigar e estabelecer com certo grau de exatidão a água a aplicar (ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2000).

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.

Segundo o autor citado acima, o manejo da irrigação via clima pode ser realizado pela reposição da água consumida pela cultura desde a última irrigação, ou ainda, por meio do balanço hídrico. O balanço hídrico considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorado pelas raízes. A irrigação, a precipitação e a ascensão capilar são as componentes de entrada no balanço hídrico e as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas são as componentes de saída (JAMES, 1988).

Ainda, segundo James (1988) o manejo de irrigação via solo considera a umidade do solo onde o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo e pode ser feito usando tensiômetros, mas requerem manutenção adequada e freqüente. Outros métodos compreendem sensores eletrométricos e por dissipação térmica, sonda de nêutrons, sonda enviroscan, TDR (reflectometria no domínio do tempo), tomografia computadorizada e atenuação de raios gama.

O manejo racional da irrigação deve evitar que a água disponível atinja valores que afetam a transpiração das plantas. 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 e NAKAMURA, 1989).

Sendo o milho uma cultura muito exigente de água, pode ser cultivado em regiões com precipitação mínima de 250 mm até 5000 mm anuais, porém o recomendável, para o consumo durante o seu ciclo, está em torno de 600 mm, conforme observaram Magalhães e Paiva (1993).

Após 100% de cobertura do solo pela cultura do milho, o consumo pode se elevar para 5 a 7,5 mm diários, mas se a temperatura estiver muito elevada e a umidade do ar muito baixa, poderá chegar 10 mm.dia⁻¹ (MARINATO, 1980).

Matzenauer (1984) também observaram que as maiores exigências da cultura em água se encontraram na fase de emergência, florescimento e formação de grãos. O consumo de água pela planta, nos estágios iniciais de crescimento, raramente excede 2,5 mm.dia⁻¹, afirmou Avelar (1986). Diante do exposto, o conhecimento da lâmina crítica de irrigação, capaz de promover uma melhor produtividade, é importante para o manejo racional da irrigação e conforme English e Raja (1996), a insuficiência das lâminas de irrigação expõe a cultura a situações de condições hídricas insuficientes, bem como diminui o potencial produtivo da mesma.

Em estudos sobre lâmina de irrigação, Pereira et al., (1997) ressaltaram que é importante para o manejo racional da irrigação, conhecer a lâmina crítica de irrigação para melhorar a produtividade agrícola.

Trabalhos com distintas lâminas de irrigação, a partir da evapotranspiração da cultura (ETc), estudados por Lamm et al., (1995), verificaram que o rendimento máximo de grãos foi alcançado com aplicação de 75% da ETc.

Entretanto Ruviano (2003), ao aplicar lâminas de irrigação na cultura do milho, baseados na evapotranspiração da cultura, não encontrou diferença no rendimento de grãos.

2.3.1.1 Estimativa da evapotranspiração

O manejo da irrigação, baseado em dados climáticos, tem como principal objetivo determinar a evapotranspiração da cultura (ETc), pois esta corresponde a água transferida para a atmosfera pela evaporação do solo e da transpiração das plantas, segundo Gomes e Testezlaf (2004), e ainda, a estimativa da evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos (lisímetros) e indiretos (evaporímetros e equações).

Para Sedyama (1996), conhecendo-se a evapotranspiração, pode-se determinar o limite de água a ser aplicada. A relação entre evapotranspiração de culturas com elementos meteorológicos ou estimados por fórmulas de evaporação ou evapotranspiração é uma importante linha de pesquisa, pois segundo Matzenauer et. al., (1998), permite a estimativa do consumo da água em diferentes locais, bem como melhora o suprimento de irrigação.

Em estudo realizado na área da Estação Experimental da PESAGRO-Rio, em Campos dos Goytacazes, RJ. Onde foi instalado um lisímetro de pesagem com 6 m² de área, dotado de células de carga, instalado no centro de uma área de 900 m², cultivada com grama tipo Batatais (*P. notatum* L.), Mendonça et. al., (2003) comparam os valores de evapotranspiração de referencia (ET_o) obtidos em lisímetros de pesagem com grama com os valores resultantes da utilização dos métodos de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, Radiação solar, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Tanque classe A e Atmômetro SEEI modificado. Todos os métodos avaliados, com exceção do Atmômetro SEEI modificado, atenderam satisfatoriamente à estimativa da ET_o da região Norte (Rio de Janeiro), principalmente em períodos de sete e dez dias.

Ao estudar a evapotranspiração do milho, Silveira (2003), obteve valores médios de 4,7 mm.dia⁻¹, no ciclo, enquanto obteve a tensão de água no solo de -30 kpa. Enquanto Silva (2003), quando utilizou tanque classe A, obteve evapotranspiração de 3,12 mm.dia⁻¹.

Existem vários métodos para efetuar-se o manejo da água de irrigação. Dentre eles, destaca-se o do tanque classe A, devido à sua facilidade de operação, custo relativamente baixo e, principalmente, a possibilidade de instalação próxima à cultura a ser irrigada (Volpe e Churata-Masca, 1988), além dos resultados satisfatórios para a estimativa da demanda hídrica das culturas (Klar, 1974; Sedyama, 1987; Saad e Scaloppi, 1988; Lima et al., 1989; Bastos, 1994). Apesar de fornecer uma medida superestimada da demanda hídrica da cultura, essa medida associa os efeitos integrados dos diferentes fatores que influem na evapotranspiração da cultura.

O tanque classe A tem sido empregado largamente para obtenção de coeficientes de evapotranspiração da cultura, abordaram Denmead e Shaw (1959); Fritschen e Shaw (1961); Doss et al., (1962); Lomas et al., (1974); Tan e Fulton (1980); Berlato et al., (1986); Matzenauer et al., (1988). Os mesmos autores ainda

citam diversos trabalhos que determinam a relação entre a evapotranspiração de diferentes culturas com a evaporação do tanque classe A.

Carlesso et al., (2000), em estudos do manejo de irrigação no milho a partir da evapotranspiração máxima, concluíram que o mesmo deve ser realizado com aplicação da irrigação quando a evapotranspiração da cultura indicar valor acumulado de 20 a 25 mm, e lâminas maiores que 30 mm ocasionam redução no rendimento de grãos e acúmulo de massa seca da parte aérea da planta, válido para o estado do Rio grande do Sul.

Carlesso et al., (2000), aplicando a metodologia com aplicação de lâminas de irrigação baseados na evaporação do tanque classe A na cultura do feijão e observaram que a evapotranspiração obtida pela fórmula desconsidera a ocorrência de restrições de água no solo para as plantas, contudo de acordo com a demanda atmosférica, a medida que ocorre a depleção de água no solo, a evapotranspiração real se torna máxima. Por outro lado é uma prática que apresenta funcionalidade para o manejo da irrigação porque assegura as plantas condições de umidade do solo sempre superiores, ou, no máximo igual a lâmina de manejo pré-estabelecida. Este é o motivo da grande utilização do tanque classe A para determinações da evapotranspiração e manejo da cultura.

2.4 Irrigação e variabilidade espacial do solo

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.

Mesmo em uma área de solo homogêneo, a medida de uma propriedade em alguns pontos pode revelar grandes variações de valores, pois o solo é produto da ação de diversos fatores de formação e varia continuamente na superfície. Uma propriedade do solo é uma variável com continuidade espacial (BURGESS e

WEBSTER, 1980) e, como tal, constitui em uma população infinita em uma determinada área.

A produtividade das lavouras não é homogênea, sendo que algumas áreas são mais produtivas que outras, reflexo de diferenças no desenvolvimento das culturas. Essas diferenças devem-se à variabilidade do solo em suas propriedades químicas, físicas, biológicas e mineralógicas (SANTI, 2007).

Este mesmo autor coloca que essa variabilidade é resultante do processo natural de formação do solo, bem como do manejo e práticas agrícolas utilizadas, agindo em diferentes escalas no espaço e tempo.

Para Grego e Vieira (2005) a aplicação de tecnologia associada à variabilidade espacial e temporal faz-se necessária, sobretudo na pesquisa agrícola que estuda o solo e a sua capacidade produtiva. O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala.

Experimentos de campo são, em sua maioria, divididos em parcelas ou áreas relativamente pequenas amostradas aleatoriamente. Contudo, ao considerar as parcelas experimentais uniformes quanto aos seus atributos, mesmo em pequenas áreas, pode-se interpretar erroneamente as respostas obtidas às questões existentes, pois a hipótese de ocorrência de dependência espacial estará sendo ignorada (GREGO e VIEIRA, 2005).

A variabilidade espacial do solo foi verificada em áreas de dimensões variadas, 150 ha por Biggar e Nielsen (1976), 5.000 m² por Lima e Silans (1999) e mesmo em áreas menores do que 100 m² por Reichardt et al., (1978).

Conhecer as causas da variabilidade e mapear as propriedades do solo que influenciam a produção das culturas depende do conhecimento dos processos que operaram e continuam operando em locais específicos da paisagem (WILDING e DREES, 1983).

2.4.1 Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo

A variabilidade espacial das propriedades do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais de

variabilidade (CORÁ, 1997). Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo. Da mesma forma, áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar-se semelhantes em seus atributos. O manejo pode alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (BLEVINS et al., 1983; SETA et al., 1993; CORÁ, 1997).

As propriedades físicas do solo são de fundamental importância para caracterização dos mesmos quanto ao uso e manejo e também são parâmetros que nos permite inferir sobre os diversos fatores que atuam sobre o solo. (COSTA, 2003).

O conhecimento sobre a distribuição granulométrica de partículas sólidas é essencial para várias aplicações. Assim, é por meio da análise granulométrica que se determina a textura dos solos, parâmetro fundamental na inferência do potencial de compactação, da disponibilidade de água, da aeração, da condutividade do solo ao ar, à água e ao calor, da infiltração e da redistribuição de água (PREVEDELLO, 1996).

A textura é uma das propriedades mais estáveis do solo, sendo alterada somente por mistura de horizontes, deposição de materiais de textura diferente ou perda de alguma fração granulométrica por erosão. Está intimamente relacionada com a composição mineralógica do solo, bem como a sua área superficial específica e a porosidade do solo, influenciando em grande parte dos fatores de crescimento das plantas. Ao estudar sete glebas de aproximadamente 60 ha cada, localizadas em propriedades que adotam técnicas avançadas de manejo e representam os mais importantes tipos de solo da região do Planalto Médio (RS), Berg e Klamt (1997) encontraram grande homogeneidade da textura nas glebas estudadas, porém a variabilidade entre as glebas foi grande, indicando a influência do material de origem na formação dos solos.

A textura do solo tem grande influência no manejo da irrigação, pois está relacionada com a capacidade de retenção de umidade, a permeabilidade e o seu preparo. Embora a capacidade de retenção de água e nutrientes esteja relacionada com outras características, como estrutura, conteúdo de matéria orgânica, tipo de argila e de cátions, possui boa relação com os teores de argila, aumentando, em geral, proporcionalmente a estes. De modo geral, os solos com elevados teores de

argila possuem faixa mais ampla de umidade, enquanto a dos arenosos é bem mais estreita (KITAMURA et al., 2007).

Entre os vários atributos do solo que interferem no manejo de irrigação e crescimento vegetal, a densidade do solo pode ser considerada a principal, sendo muito importante sua medição em projetos de irrigação e drenagem. A densidade do solo é um atributo que é afetado pela estrutura do solo, grau de compactação, manejo e tipos de culturas (AMÉRICO, 1979). A maioria das culturas é seriamente afetada quando a densidade do solo ultrapassa $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, essencialmente por duas razões: primeiro, pela falta de O_2 para a respiração das raízes, devido à baixa porosidade e má drenagem e, segundo, por impedimento mecânico para o crescimento das raízes, limitando-se a zona de absorção de água e nutrientes (SOUZA et al., 1997).

A densidade do solo é definida como a relação entre a massa seca e um determinado volume. Assim, essa variável está relacionada com a estrutura e, conseqüentemente, com a compactação do solo. Valores comuns de densidade ficam entre $0,95$ e $1,8 \text{ Mg.m}^{-3}$. A tendência é um aumento nos pontos mais profundos do solo, em função dos pesos das camadas superficiais (AZEVEDO e DALMOLLIN, 2004). A densidade do solo também é afetada pelo manejo da área, sendo aumentada pela compactação intrínseca do solo e reduz pela incorporação da matéria orgânica, bem como pelas práticas de preparo que afetem o espaço poroso.

Conforme Torres e Saraiva (1999), cada solo apresenta uma amplitude de densidade com valores máximos e mínimos diferentes, em função de suas características mineralógicas, composição e estrutura.

2.4.2 Variabilidade espacial das propriedades químicas do solo

O conhecimento da variabilidade das propriedades químicas do solo é importante principalmente para a definição do manejo mais adequado a ser utilizado na área, uma vez que o cultivo do solo altera as propriedades químicas iniciais do solo, através das práticas agrícolas, tais como aplicações de corretivos e práticas de manejo (SANTOS e VASCONCELOS, 1987; COUTO et al., 1997; SCHLINDWEIN e ANGHINONI, 2000).

Paz-Gonzalez et al., (2000) encontraram alterações nas propriedades químicas de uma área cultivada quando comparada com uma área sob vegetação

natural, tendo ocorrido redução na variabilidade espacial das propriedades de: matéria orgânica, fósforo disponível, pH e capacidade de troca de cátions, devido à utilização de práticas de fertilização. O aumento da variabilidade espacial do solo em áreas cultivadas é verificado quando ocorre a utilização do sistema de plantio direto, devido à ação residual das linhas de adubação, juntamente com a redistribuição dos nutrientes reciclados dos resíduos das culturas (SOUZA, 1992; COUTO et al., 1997; ANGHINONI e SALET, 1998). A aplicação de adubos a lanço, quando de forma desuniforme, favorece a variabilidade horizontal de nutrientes tais como fósforo e potássio, que ficam disponíveis por mais de uma cultura (KLEPKER e ANGHINONI, 1995).

A análise química de amostras de solos é a técnica mais difundida entre os métodos existentes para a avaliação da fertilidade do solo, e tem como objetivo principal quantificar o conteúdo de nutrientes no solo, fornecendo informações para a recomendação de práticas como as de adubação e calagem (MAGALHÃES, 2007).

De acordo com esta mesma autora, a análise química de solo, apesar de ser praticada há mais de um século, ainda observa-se que não existe uma conscientização da maioria dos produtores quanto sua à importância, como ferramenta indispensável para orientar práticas de correção e a adubação, quando da implantação e/ou manutenção de qualquer cultivo.

Razões para caracterizar esta importância não faltam, considerando-se que a calagem e adubação, responsáveis por até 100% do aumento da produtividade dos cultivos, dependem do conhecimento prévio das características químicas do solo. E só a análise química do mesmo permitirá também a identificação de barreiras químicas, a exemplo do alumínio, que poderão prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Magalhães, 2007).

Ainda esta mesma autora, afirma que o conhecimento dos teores de nutrientes disponíveis no solo, orienta na formulação das recomendações mais acertadas para a adubação das plantas, evitando-se o desperdício e o uso inadequado de adubos e corretivos e prejuízo, que haveria tanto nas despesas com adubação como na redução das colheitas.

As pesquisas mundiais indicam que, num curto prazo, nenhum outro fator causará maior impacto no aumento da produção agrícola do que o uso racional de fertilizantes e corretivos. Por isso é importante que o produtor torne o uso desta

prática habitual e rotineira, não negligenciando, e fazendo a análise química do seu solo com antecedência que lhe permita a escolha de um bom calcário, para que sua incorporação ocorra antes da aração e/ou gradagem e adubação. E também, permitir a aquisição dos adubos recomendados em tempo hábil, pois só assim os mesmos serão aplicados nas épocas indicadas para a cultura (MAGALHÃES, 2007).

O potencial produtivo de uma cultura pode ser definido como o rendimento apresentado por ela quando cultivadas em ambientes ao qual estão adaptadas, sem limitações de nutrientes e sem estresses bióticos e abióticos (ARGENTA et al., 2003).

A cultura do milho tem um alto potencial produtivo, podendo alcançar mais de 10 t ha⁻¹ de grãos tanto em condições experimentais como por agricultores que adotam tecnologias adequadas de manejo. No entanto, o que se observa na prática são produtividades baixas e irregulares, cerca de 3,5 t ha⁻¹ de grãos (PALHARES, 2003). Segundo Carvalho et al., (2004) a fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade.

Dentre os elementos essenciais ao crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, destaca-se a função que o nitrogênio (N) desempenha nas plantas de milho, como constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas. Como a formação dos grãos depende de proteínas na planta, a produção do milho está diretamente relacionada com o suprimento de N (YAMADA, 1997). Portanto a adubação nitrogenada influencia não só a produtividade, mas também a qualidade do produto em consequência do teor de proteína nos grãos de milho (FERREIRA et al., 2001).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura do milho, sendo necessário um manejo adequado para seu uso eficiente pelas plantas, evitando-se perdas excessivas especialmente por escoamento superficial e lixiviação, com destaque para áreas sob irrigação (YAMADA, 1997).

A deficiência do fósforo (P) limita a produtividade do milho, por ser uma cultura mais exigente em P por ocasião da formação e desenvolvimento dos grãos. A deficiência deste elemento ocasiona a formação de espigas malformadas, tortas e com falhas, além de causar atraso e desuniformidade na maturação (LUCENA et al., 2000).

No caso do potássio (K), a sua disponibilidade para a cultura do milho varia conforme o tipo do solo, o nível inicial de K no solo, saturação de cálcio e magnésio

na solução do solo e potencial do material genético da planta (ANDREOTTI et al., 2001). O K na planta de milho tem alta mobilidade tanto entre células individuais como entre tecidos e também alta mobilidade no transporte a longa distância via xilema e floema. É o cátion mais abundante no citoplasma, também ocorrendo em alta concentração no cloroplasto, sendo necessário para neutralizar ânions orgânicos e inorgânicos e para estabilizar o pH da planta entre 7,0 e 8,0 que é a faixa ótima para a maioria das reações enzimáticas (MALAVOLTA et al., 1997).

O potássio é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas de milho. Ao considerar que o milho cultivado com irrigação significa possibilidades de altas produtividades, em um cenário onde o custo com fertilizantes é alto e adicionando-se mais os custos com irrigação.

Ceretta e Silveira (2001) sugerem que pode ser possível a obtenção de respostas compensatórias à aplicação de potássio para o milho irrigado, mesmo com teor de potássio acima do nível crítico, embora reconheçam que o teor de potássio disponível no solo será determinante da magnitude de resposta à adubação com potássio.

O manejo regionalizado do solo e da cultura é parte integrante de um sistema de Agricultura de Precisão, o qual envolve conceitos de uso de informações sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas de uma área, visando ao aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente. Os processos e os atributos do solo que determinam o desempenho e a produção das culturas, bem como o impacto da agricultura ao meio ambiente, variam no espaço e no tempo. Por essa razão, o conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção da cultura é o primeiro passo para adoção, com êxito, do sistema de agricultura de precisão (RUNGE e HONS, 1999).

2.5 Agricultura e irrigação de precisão

A agricultura de precisão é uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões exatas. É uma maneira

de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pedaço da área tem propriedades diferentes (ROZA, 2000).

Segundo Manzatto et al., (1999), o principal conceito é aplicar os insumos no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam.

O principal objetivo da agricultura de precisão é o de diminuir os custos de produção, aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. Além disso, suas técnicas devem ser vistas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos são minimizados (BRUSCO, 2005).

Capelli (1999) afirma que a agricultura de precisão foi freqüentemente definida com base nas tecnologias que permitem que ela seja realizada como GPS (Sistema de Posicionamento Global). Tão importante quanto os dispositivos usados na agricultura de precisão, é perceber que a informação usada ou coletada é o ingrediente chave para o sucesso do sistema.

Conforme Canzian et al., (1999), algumas áreas podem ser bem uniformes, mas outras apresentam variações no tipo de solo, fertilidade e outros fatores que afetam a produção agrícola. Se a variabilidade desta área puder ser medida e registrada, estas informações poderão ser usadas para otimizar as aplicações em cada ponto, sendo este o novo conceito de agricultura de precisão.

Blackmore (1996) considera que o manejo da variabilidade é a chave para o uso efetivo da tecnologia de agricultura de precisão.

Para Searcy (1997) a idéia da agricultura de precisão é conhecer o solo e as características da cultura que causam uma produção diferente para cada parte do campo, e aperfeiçoar as entradas de insumos dentro de porções pequenas desta área. A filosofia atrás de agricultura de precisão é aquela de que os insumos (semente, fertilizante, substâncias químicas, etc.) só deveriam ser aplicados conforme as necessidades e que estes sejam mais econômicos para produção.

Segundo Capelli (1999) a agricultura de precisão apresenta as vantagens de possibilitar um melhor conhecimento do campo de produção, permitindo, desta forma à tomada de decisões mais embasadas. Com isto tem-se uma maior capacidade e flexibilidade para a distribuição dos insumos naqueles locais e no tempo em que são mais necessários, minimizando os custos de produção. A uniformidade na produção

é alcançada pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade obtendo-se, com isto, um aumento global da produtividade. Esta aplicação localizada dos insumos necessários para sustentar uma alta produtividade, contribui com a preservação do meio ambiente, já que estes insumos são aplicados somente nos locais, em quantidades e no tempo necessário.

O termo agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais, que são fatores que afetam a produtividade das mesmas (EMBRAPA, 1997). A agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura.

Esta técnica não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada com a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil à agricultura de precisão, esta definição engloba a idéia de compromisso no uso da terra, relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade (MANTOVANI et al., 1998). O conceito de agricultura de precisão se distingue da agricultura tradicional por seu nível de manejo.

A agricultura convencional é considerada uma agricultura “pela média”, uma vez que todo o controle de entradas e saídas na propriedade é feito com base em uma média. Ou seja, com base em apenas um resultado, define-se a quantidade a ser aplicada de insumos na propriedade como um todo (MOLIN, 2001).

Assim, na agricultura convencional, as aplicações de fertilizantes significam aplicações excessivas em algumas áreas do campo e insuficientes em outras, pois uma área nunca é totalmente uniforme, por menor que seja. A heterogeneidade do solo, principalmente quanto à fertilidade e propriedades físicas, tem sido considerada como uma das principais causas da variabilidade espacial no rendimento das culturas. O manejo uniforme de áreas heterogêneas, como na agricultura convencional, conduz à perda de eficiência no sistema produtivo (FRANÇA, 2001).

Tradicionalmente os agricultores têm feito a amostragem do solo de uma dada área e uniformizam as sub-amostras em uma única que passa a representar as

características daquela área, assumida como uniforme. Com base nessa interpretação, fazem a aplicação de quantidades uniformes de insumos como fertilizantes, defensivos e sementes. E baseados nesta mesma teoria realizam o manejo da irrigação na área (OHYAMA et al., 1997).

Os avanços tecnológicos na ciência agrária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetem o manejo de irrigação e conseqüentemente o rendimento das culturas, objetivando otimizar o aproveitamento racional de recursos e minimizar custos, onde o gerenciamento do processo de produção agrícola em função da variabilidade é a chamada agricultura de Precisão. Sendo esta uma ferramenta tecnológica de trabalho para exploração e gerenciamento da produção agrícola, baseada na coleta, organização, processamento e análise de informações relevantes ao processo agrícola (TORRE NETO 2001).

Ainda, de acordo com Torre Neto (2001), uma das áreas mais importantes da agricultura de precisão é a que trata da previsão de séries espacialmente aleatórias, onde os métodos de previsão constituem ferramentas importantes que podem auxiliar no processo de tomada de decisões. Inclui-se nesse rol de séries aleatórias, as propriedades físico-hídricas do solo, que é um dos principais parâmetros de solo a serem analisadas, em áreas irrigadas, a fim de maximizar a eficiência no uso da água (WARRICK e NIELSEN, 1980).

Os ganhos na eficiência do uso da água podem ser obtidos quando a aplicação de água é precisamente combinada com a distribuição espacial da demanda de água pela cultura. Esta distribuição de água que a cultura demanda está presente em campos agrícolas, principalmente por causa da variabilidade de propriedades do solo e topografia (PIERCE, 2006; CHÁVEZ, 2006). Portanto a determinação da variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas para várias profundidades pode ser determinante ao bom desenvolvimento da agricultura, e auxiliar no manejo da irrigação.

Segundo Silva (2003) uma das premissas na irrigação tradicional é considerar a área de plantio relativamente uniforme e homogênea, aplicando-se uma lâmina de irrigação média. Em muitos casos, o volume de água fornecido é maior ou menor do que o necessário à planta, comprometendo, então, o seu desenvolvimento e/ou produtividade, além de consumir combustível ou energia elétrica de forma

desnecessária e lixiviar nutrientes da zona do sistema radicular. Ainda, para este autor, a irrigação de precisão propõe-se corrigir essas falhas.

Devido a isto a agricultura de precisão tem sido amplamente estudada, desenvolvida e divulgada para melhorar a eficiência da agricultura e reduzir o seu impacto ambiental. Uma vez que a maior parte de seus esforços era concentradas na aplicação espacialmente variável de fertilizantes e pesticidas (SCHUELLER, 1992; SOUZA 2007). Porém, experimentos onde foram gerados e relacionados mapas das características físico-hídricas do solo com mapas de produtividade da área, têm convencido muitos pesquisadores e produtores da enorme importância do conhecimento espacial da disponibilidade de água no solo. Assim, tem ocorrido muito avanço na pesquisa da aplicação diferenciada de água, em virtude da variabilidade espacial do solo, em uma mesma área agrícola (FRAISSE et al., 1995; SADLER et al., 1996; TORRE-NETO et al., 2000).

Segundo Senay et al., (1998), o manejo da variabilidade espacial, das características químicas, físico-hídricas e de produção das culturas, começa através do mapeamento destes fatores. Estes mapas fornecem elementos básicos para o balanço de nutrientes, aplicação de água e na avaliação de manchas de fertilidade (SCHUNG et al., 2003).

Mapas de produtividade, por sua vez, permitem individualizar a produção da lavoura e segundo Molin et. al. (2000) muitos pesquisadores consideram que o mapa de colheita é o meio de informações mais completo para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras. Entretanto o mapa de produção é apenas uma etapa de todo o processo que envolve a agricultura de precisão e representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal.

O mapa de produtividade pode indicar a localização de áreas críticas em termos de rentabilidade, enquanto os mapas dos atributos do solo podem auxiliar na identificação dos fatores que estão limitando a produtividade, informação fundamental para a tomada de decisões (DURIGON, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O Trabalho foi desenvolvido no Centro Tecnológico do Vale do Jaguari (CTVJ), município de Jaguari-RS, antiga área experimental da Universidade Federal de Santa Maria. A latitude local é de 29°27'36"S, longitude de 54°43'44,11"W e altitude média de 390m. A área experimental corresponde a 4,35 hectares, irrigada sob mini-pivô central setorial (Figura 01).

Na Figura 01 é apresentada a vista aérea, da área experimental, com detalhes da área irrigada.



Figura 01 - Área de realização do experimento. Fonte: Google earth (2009).

O solo da área experimental foi preparado no sistema convencional, para o ano agrícola 2005/2006 e cultivada com milho e sorgo em um primeiro ano experimental, uma vez que o uso desta área e a instalação do mini-pivô foram realizadas em dezembro de 2005.

Neste primeiro ano, no mês de setembro de 2005, realizou-se uma calagem de 4,5 ton. de calcário.ha⁻¹, incorporados no preparo do solo, de acordo com recomendação da análise química de solos.

No ano agrícola 2006/2007, implementou-se o plantio direto na palha através da cobertura de nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*), que foi semeado na área no período de outono/inverno, seguido de dessecação e finalização da área para semeadura de milho.

No dia 1 de agosto de 2006 foi realizada a primeira dessecação do nabo forrageiro. Para o estabelecimento da cultura de milho, ocorreu a segunda dessecação no dia 25 de agosto de 2006.

A área experimental sob o mini-pivô é setorial, perfazendo uma circunferência com 135,9 m de raio irrigado e um ângulo de irrigação de 270° (4,35 ha). Este ângulo setorial irrigado foi subdividido em seis setores de 45° (Setores I, II, III, IV, V e VI) (Figura 01), sendo que cada setor é considerado como um tratamento.

A fim de contemplar cada setor (tratamento) com as duas cultivares de híbridos de milho, a semeadura foi realizada em linhas circulares, seguindo o alinhamento dos rodados das duas torres do mini-pivô.

3.2 Clima

A área onde se desenvolveu o experimento se localiza na região central do estado do Rio Grande do Sul, denominada como Depressão Central, onde predominam terrenos de baixa altitude ligados de leste a oeste, beirados por terras baixas, não passando de 400 metros de altitude.

Segundo o sistema de Köppen, o Rio Grande do Sul se enquadra na zona fundamental temperada ou "C" e no tipo fundamental "Cf" ou temperado úmido. No Estado este tipo "Cf" se subdivide em duas variedades específicas, ou seja, "Cfa" e "Cfb" (MORENO, 1961).

No caso, a região onde se localiza o município de Jaguari, o clima é classificado como "Cfa", e se caracteriza por apresentar chuvas durante todos os meses do ano e possuir a temperatura do mês mais quente superior a 22°C, e a do mês mais frio superior a 1°C.

O regime pluviométrico da região é bastante regular e as chuvas são bem distribuídas durante todo o ano. A média pluviométrica anual é de 1.643 mm.

3.3 Solo

A geologia do local é descrita por arenito da Formação Botucatu e Formação Santa Maria capeados por basaltos da Formação Serra Geral (transição entre a Depressão Central e Planalto Meridional do RS).

O solo da área experimental é classificado como um Argissolo Vermelho Distrófico, unidade de Mapeamento São Pedro (Podzólico Vermelho-Amarelo), (EMBRAPA, 1999).

Este solo caracteriza-se por apresentar um perfil profundo, avermelhado com textura superficial arenosa e bem drenado. Este subgrupo apresenta seqüência de horizontes A, B e C bem diferenciados, com o horizonte A estendendo-se até 0,8m de profundidade (EMBRAPA, 1999), podem apresentar limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio, sendo também de alta suscetibilidade à erosão e degradação.

3.4 Coleta do solo

3.4.1 Determinações físicas

Para coleta das amostras, destinadas as análises físicas do solo, foram delimitados sete alinhamentos. Em cada alinhamento foram marcados três pontos de coleta, e em cada ponto foram retiradas amostras nas profundidades de 0-30 cm e 30-60 cm, para obtenção da classe textural. Enquanto que para determinar a densidade do solo, as amostras foram retiradas nas profundidades de 10, 30, 50, 70

e 90 cm. Em ambas as determinações, em cada ponto de coleta foram realizadas três repetições.

A caracterização textural do solo foi realizada de acordo com metodologia proposta por Vettori (1969), e a densidade do solo foi determinada de acordo com método apresentado por Cauduro e Dorfman (1992) – método do anel volumétrico.

Na Figura 02 observar-se os pontos, dentro da área experimental, onde foram coletadas as amostras para a realização da caracterização física.

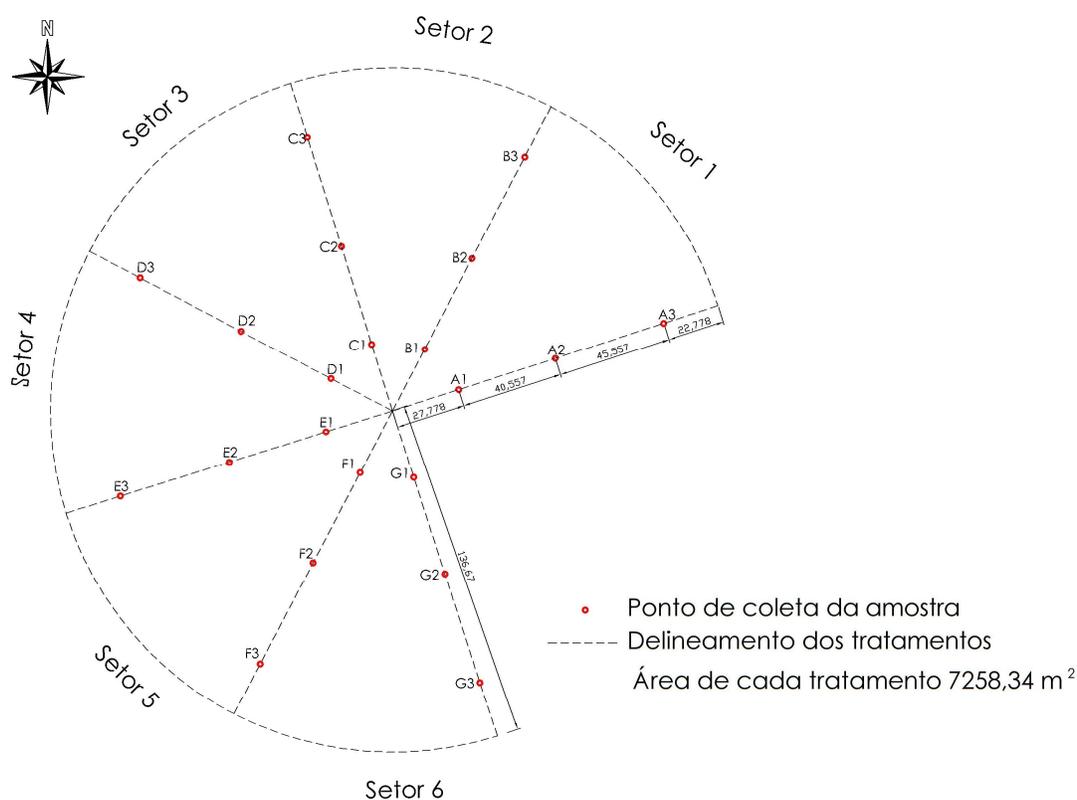


Figura 02 - Localização dos pontos das coletas para a caracterização física. Jaguarí, RS, 2007.

3.4.2 Determinações químicas

Para a análise química do solo, foram retiradas três amostras, com três repetições, dentro de cada setor de 45° do mini-pivô. Estas amostras foram encaminhadas para o Laboratório Central de Análises de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria.

Na Figura 03 é apresentado o mapa da área experimental, com a localização dos pontos onde foram coletadas as amostras para a caracterização química.

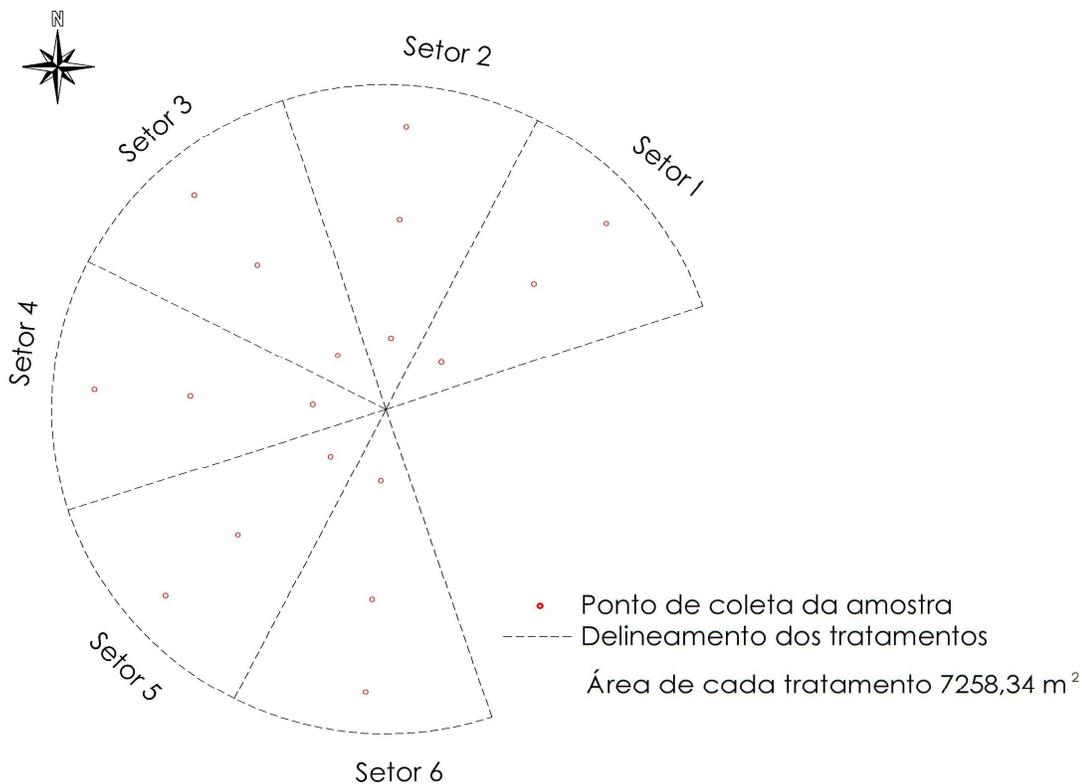


Figura 03 - Localização dos pontos das coletas para a caracterização química. Jaguari, RS, 2007.

3.5 Cultivares

Foram utilizados dois híbridos de milho (*Zea mays* L.) superprecoce: híbrido BM 1120 e o híbrido BM 1115, ambos da linha Biomatrix.

3.5.1 Híbrido BM 1120

De acordo com Biomatrix (2008), o híbrido BM 1120 é um híbrido para investimento médio/alto, com excelente relação custo benefício. É versátil, pode ser usado para grãos e silagem, em safra e safrinha. Superprecoce, sadio, espigas grandes e muito bem empalhadas, com ampla adaptação para a região Sul, Sudeste e Centro-Oeste.

3.5.2 Híbrido BM 1115

Segundo Biomatrix (2008), este é um híbrido de ciclo superprecoce para alto investimento, elevado potencial produtivo, uniforme, ótimo empalhamento e grãos saudios. Adapta ao Rio Grande do Sul, ao sul de São Paulo e Mato Grosso do Sul, em plantios do cedo e épocas normais. Também é recomendado para abertura de safrinha nos estados centrais e no Paraná.

3.6 Semeadura

A semeadura foi realizada em sistema plantio direto com uma semeadora de três linhas, no dia 19 de outubro de 2006.

Utilizou-se espaçamento de 0,8 m entre linhas e 5 sementes de milho.metro linear⁻¹, perfazendo uma população aproximada de 62.500 plantas.ha⁻¹.

A Figura 04 mostra a realização da semeadura na área experimental, com detalhes da semeadora.



Figura 04 - Implantação do experimento, detalhes da semeadora. Jaguari, RS, 2007.

3.7 Adubação

A adubação do solo foi feita com base nos resultados da análise química do solo processada no Laboratório Central de Análises de Solos do Departamento de Solos da UFSM, vinculado a ROLAS. A adubação foi realizada de forma uniforme em toda a área experimental, através da média dos resultados entre os diferentes setores.

A adubação de semeadura foi realizada concomitantemente à semeadura com 250 kg.ha⁻¹, da fórmula N, P₂O₅ e K₂O de 05-28-20, respectivamente.

Posteriormente, procedeu-se com a adubação de cobertura, que foi realizada quando o milho apresentava duas folhas totalmente expandidas, aos 15 dias após a semeadura (DAS), na quantidade de 70 kg.ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio.

3.8 Controle fitossanitário

Ao longo do período do ciclo vital da cultura, verificou-se a incidência de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). O controle foi feito nos dias 20/11/2006 (32 DAS) e 04/12/2006 (46 DAS) com inseticida Match (Syngenta), na dosagem (300 ml.ha⁻¹).

Em 27/11/2006 (39 DAS) foi realizada uma aplicação do herbicida U 46 (D-Fluid 2,4-D) para controle ao picão-preto (*Bidens pilosa*) e ao caruru (*Amaranthus quitensis*) na dosagem (1l.ha⁻¹).

3.9 Irrigação

A irrigação foi realizada uniformemente para toda a área experimental, com lâmina única. As irrigações foram aplicadas com base nas leituras diárias de evapotranspiração do Tanque Classe A. Para a obtenção das lâminas de irrigação foi aplicada a seguinte fórmula:

$$ET_o = E_t \times K_p \dots\dots\dots[1]$$

Onde:

E_t = evaporação do tanque classe A ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$);

K_t = coeficiente do tanque.

O tanque classe A era cilíndrico com 120 cm de diâmetro, 30 cm de altura e fundo plano, em chapa galvanizada nº 22 (Figura 06). Para uma leitura precisa, utilizou-se um poço tranquilizador da água dentro do tanque, de modo que a leitura do nível da água seja realizada por intermédio de um parafuso micrométrico de gancho, cuja precisão é de 0,02 mm. 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 quatro ou cinco dias, conforme Doorenbos e Kassam (1994).

O manejo da irrigação utilizado baseou-se no turno de rega prefixado, com intervalo de sete dias entre as irrigações quando não ocorria precipitação pluviométrica.

Ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, foi monitorada diariamente a umidade do solo, através de sensores dielétricos de água no solo, instalados em cada setor, a uma profundidade de 30 cm. Na Figura 06 é apresentado o sensor de umidade do solo utilizado para a determinação.

Estes sensores de umidade do solo, foram calibradas através da relação funcional da leitura da régua (mV) e medidas gravimétricas da profundidade de 0-30cm do solo da área experimental.

A calibração foi realizada com três repetições e os resultados são apresentados na Figura 05. Os valores de umidade do solo, obtidos por gravimétrica durante a calibração das régua foram contrastados com os valores da curva característica de água no solo, para equivalência do potencial matricial correspondente ao limite crítico de irrigação (-100kPa).

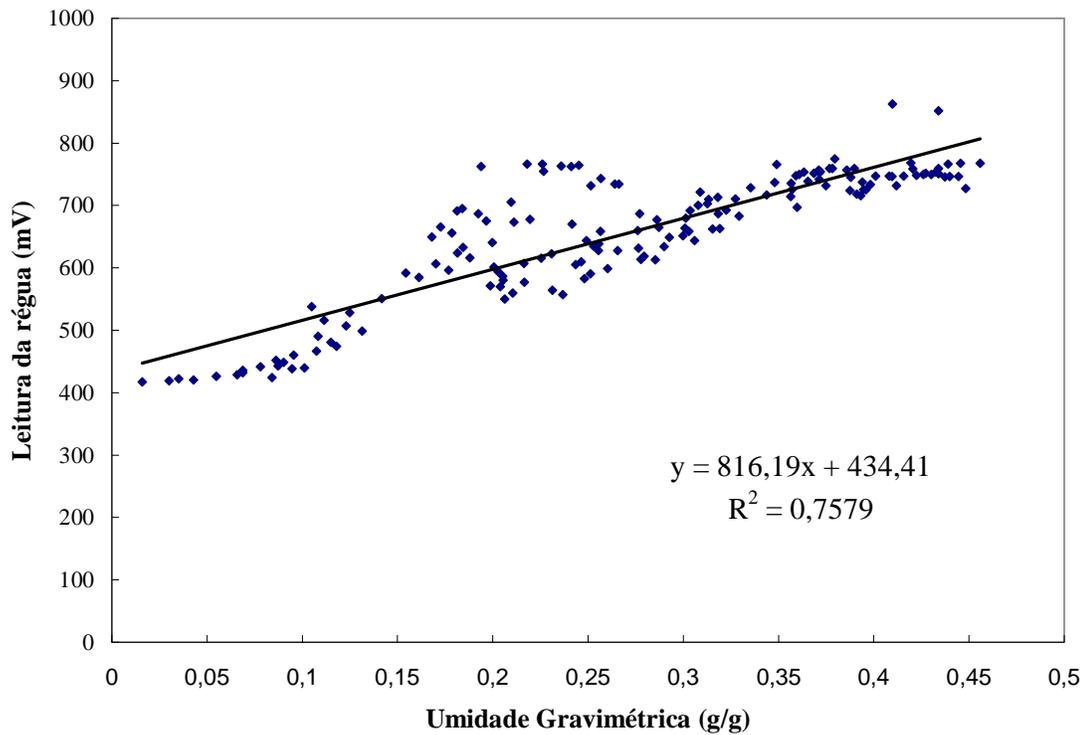


Figura 05 – Relação funcional para calibração entre a leitura das réguas medidoras de umidade e o conteúdo de água gravimétrico do solo. Jaguari, RS, 2007.

3.10 Elementos meteorológicos

As medidas meteorológicas (evaporação, precipitação pluvial e temperatura) ao longo do período do experimento foram monitoradas com uma estação meteorológicas (convencional), localizada na sede do CTVJ, que pode ser vista na Figura 06.

Os dados meteorológicos de radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, relativos ao período experimental, foram coletados no posto meteorológico automatizado pertencente ao departamento de Ciências Agrárias da URI/Santiago, instalado em Santiago, RS.



Figura 06 - Estação meteorológica, (convencional) (a), tanque de evaporação (b) e sensor de umidade do solo (c). Jaguari, RS, 2007.

3.11 Avaliações agrônômicas da cultura do milho

As coletas das plantas foram realizadas aleatoriamente, com cinco repetições por cultivar e em cada setor, perfazendo um total de 60 plantas por coleta, estas tiveram início aos 12 dias após a emergência (DAE), e eram realizadas a cada vinte dias.

Procurou-se coletar as plantas de modo aleatório para evitar possíveis clarões entre elas, evitando-se assim que a retirada de várias plantas em seqüência pudesse interferir no desenvolvimento das plantas vizinhas.

Os dados de campo analisados foram: altura de plantas, número de folhas, área foliar (para estimar índice de área foliar), matéria verde total e a matéria seca total.

3.11.1 Altura de planta

A altura da planta (cm) foi realizada medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha utilizando-se trena graduada, obtendo-se assim a altura média por planta, de acordo com SÁ et al., (2002), citado por Bernardon (2005).

3.11.2 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%.

3.11.3 Índice de área foliar

A área foliar foi determinada individualmente para cada folha e 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).

A estimativa do índice de área foliar foi determinada através da média do comprimento das folhas (comp. Médio - cm), média da largura das folhas (lar. Média - cm), fator de correção de 0.75, número de folhas.planta⁻¹ (nº. folhas.planta⁻¹) e número de plantas.m⁻² (nº. plantas.m⁻²), sendo:

$$IAF = \frac{(\text{comp.médio} \times \text{lar.média}) \times 0.75 \times \text{n}^\circ \text{.folhas.planta}^{-1} \times \text{n}^\circ \text{.plantas.m}^{-2}}{10000} \dots\dots\dots[2]$$

3.11.4 Massa verde e massa seca

As plantas utilizadas nas avaliações anteriores eram cortadas rente ao solo, a fim de observar-se a evolução da matéria verde total (MV) e matéria seca total (MS). Estas eram colocadas em sacos de papel, identificadas, pesadas para a determinação da MV e transferidas para estufa a 65°C, até obtenção de peso constante, para determinação da MS.

3.12 Componentes de produção e massa seca final

No dia 28 de fevereiro de 2007 (124 DAE), foi realizada a última coleta, onde foram determinados os componentes de produção da cultura, para estimativa da produtividade na área experimental.

As plantas foram cortadas rente ao solo, colocadas em sacos de papel, identificadas e transferidas para estufa a 65°C, até obtenção de massa constante, após foram determinadas em balança digital para obtenção da massa seca.

Após a retirada das plantas da estufa, determinou-se a massa seca de folhas, colmos, pendões, sabugos, palhas e grãos, compondo assim a massa seca total da parte aérea das plantas de milho.

Foi determinada ainda, a massa seca do grão, o número de grãos por espiga, o número de espigas por planta e o número de plantas por m², para realizar a estimativa da produção de grãos a 13% de umidade.

A estimativa da produção de grãos (Kg.ha⁻¹) da cultura do milho foi realizada com a utilização dos componentes de produção, da seguinte forma:

$$\text{Produção de grãos} = 10 \cdot \frac{\text{n}^\circ \text{plantas}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{n}^\circ \text{espigas}}{\text{planta}} \cdot \frac{\text{n}^\circ \text{grãos}}{\text{espiga}} \cdot \text{massa seca do grão (g)} \cdot 1,15 \quad [3]$$

3.13 Índice de colheita

Com a razão entre os valores de massa seca dos grãos e a massa seca total, foi possível obter o índice de colheita.

O índice de colheita refere-se à relação entre o rendimento de grãos (parte colhida e comercializada da cultura) e o rendimento biológico (produção total de fitomassa acima do solo).

3.14 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística, pelo programa SASM-Agri (Sistema para Análise e Separação de Médias em experimentos agrícolas). Foi realizada a análise da variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características físicas do solo

Nas Tabelas 01 e 02 são apresentados os resultados das características físicas do solo, na área experimental, que é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico - unidade de mapeamento São Pedro.

Tabela 01 – Caracterização textural do solo em duas profundidades, para os diferentes setores.

Alinhamento dos Setores	Granulometria (%)			
	Argila	Areia	Silte	Classe Textural
Camada 0 - 30 cm				
A	23,9 b*	58,9 ab	17,2 b	Franco Arenoso
B	21,9 b	57,9 a	20,2 b	Franco Arenoso
C	26,3 ab	49,9 ab	23,7 ab	Franco Argilo-Arenoso
D	24,0 ab	54,6 ab	21,4 ab	Franco Argilo-Arenoso
E	24,6 ab	51,6 ab	23,8 ab	Franco Argilo-Arenoso
F	32,5 a	45,9 b	21,6 ab	Franco Argiloso
G	33,3 a	41,0 b	26,7 a	Franco Argiloso
Média	26,5	51,4	22,1	
Desvio Padrão	4,2	6,4	3,0	
CV (%)	15,8	12,4	13,5	
Camada 30 - 60 cm				
A	26,2 b	48,9 a	24,9 ab	Franco Argilo-Arenoso
B	33,4 ab	42,9 ab	23,6 ab	Franco Argiloso
C	35,3 ab	44,9 ab	19,8 ab	Franco Argiloso
D	40,0 ab	40,5 ab	19,4 ab	Franco Argiloso
E	38,6 ab	43,8 ab	17,6 b	Franco Argiloso
F	41,5 a	32,4 b	26,1 a	Argiloso
G	44,7 a	37,3 b	18,0 ab	Argiloso
Média	37,1	41,5	21,3	
Desvio Padrão	6,1	5,4	3,5	
CV (%)¹	16,4	13,0	16,4	

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

¹CV = coeficiente de variação.

Através dos resultados da Tabela 01, pode-se observar que ocorreu variabilidade espacial quanto à granulometria na área experimental. Pelos resultados, nota-se que as porcentagens de argila são maiores na camada de 30 a

60 cm, em ambas as profundidades observou-se três classes texturais de solo. Também, observa-se que nas delimitações do setor S6, em ambas as profundidades, há uma maior porcentagem de argila, enquanto, que as delimitações do setor S1, para ambas as profundidades, apresentam os menores teores de argila.

Tabela 02 – Valores médios de densidade de solo, em diferentes profundidades, para os distintos setores.

Delimitação dos Setores	Densidade g.cm ³				
	Profundidades (cm)				
	10	30	50	70	90
A	1,64 ab*	1,58 a	1,55 a	1,52 a	1,48 a
B	1,65 a	1,57 a	1,54 a	1,50 a	1,46 a
C	1,63 ab	1,59 a	1,53 a	1,45 a	1,42 a
D	1,60 ab	1,57 a	1,52 a	1,46 a	1,44 a
E	1,57 ab	1,57 a	1,52 a	1,47 a	1,42 a
F	1,53 b	1,51 a	1,50 a	1,49 a	1,46 a
G	1,49 b	1,53 a	1,47 a	1,49 a	1,42 a
Média	1,59	1,56	1,52	1,48	1,44
Desvio Padrão	0,06	0,03	0,03	0,02	0,03
CV (%)¹	3,77	1,92	1,97	1,35	2,08

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

¹CV = coeficiente de variação.

A partir da Tabela 02, nota-se que a densidade média do solo para as profundidades de 10, 30, 50, 70 e 90 cm foram de 1,59, 1,56, 1,52, 1,48 e 1,44 g.cm⁻³, respectivamente. A elevada densidade do solo deve-se a ação antrópica, por esta área possuir em seu histórico o intenso uso da atividade pecuária.

A densidade do solo variou de 1,49 a 1,65 g. cm⁻³ na profundidade 10 cm, de 1,51 a 1,59 g.cm⁻³ na profundidade 30 cm, de 1,47 a 1,54 g. cm⁻³ na profundidade 50 cm, de 1,45 a 1,52 g.cm⁻³ na profundidade 70 cm e de 1,42 a 1,48 g.cm⁻³ na profundidade 90 cm. Sendo que o valor de densidade do solo considerado limite para culturas anuais em solos com 28-35 % de argila, no Sul do Brasil, segundo Reichert et al., (2003) é de 1,55 g.cm⁻³. Sendo assim, a densidade do solo pode ser considerada um fator limitante da produção, em certas regiões da área cultivada.

4.2 Características químicas do solo

Na Tabela 03 são apresentados os resultados das características químicas do solo, nos diferentes setores da área em estudo, na profundidade 0 - 30 cm.

Tabela 03 - Características químicas do solo Argissolo Vermelho Distrófico, unidade de mapeamento São Pedro. Valores médios de três repetições.

Set.	pH H ₂ O (1:1)	M.O %	CTC	Ca	Mg	Al	Índice SMP	K mg. dm ⁻³	P mg. dm ⁻³	Saturação (%)		Argila %
										Al	V	
S1	4,4 a*	2,2 a	5,1d	2,0a	0,8bc	0,5c	5,2b	44,0c	2,2b	8,0c	20,0c	24,0b
S2	4,6 a	2,3 a	5,4cd	2,0a	0,7c	0,1c	4,9b	20,0d	3,0b	2,0d	16,0c	27,0ab
S3	4,9 a	2,1 a	5,8bc	2,7a	1,3ab	1,4b	5,2b	56,0bc	3,0b	24,0b	30,0b	29,0ab
S4	4,8 a	2,0 a	5,6cd	2,8a	1,4a	1,4b	5,3b	56,0bc	3,7b	25,0b	33,0b	29,0ab
S5	5,1 a	2,3 a	6,2ab	4,0a	1,7a	2,3a	5,4b	116,2a	12,3a	45,0a	35,0a	30,0ab
S6	5,5 a	2,3 a	6,4ab	4,2a	1,8a	2,5a	6,1a	115,0a	13,2a	46,0a	61,0a	33,0a

Set. = setores

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 03, pode-se observar que o pH nos setores S1, S2, S3 e S4 são muito baixos (valores menores que 5,0), no setor S5 o pH é baixo (valores de 5,1 – 5,4), o setor S6 tem pH médio (valores de 5,1-5,4). O nitrogênio é indicado pelo parâmetro matéria orgânica, sendo esta baixa em todos os setores (valores menores que 2,5). A CTC é classificada como média (valores entre 5,1 e 15,0) para todos os setores, com teores de argila na classe 3 (valores entre 21 e 40), assim apresentando teores de fósforo muito baixo para os setores S1, S2, S3 e S4 (valores menores que 4), enquanto que para os setores S5 e S6 o fósforo é classificado como alto (valores entre 12,1 e 24,0), (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

O teor de potássio no S2 é considerado muito baixo (valores menores ou iguais a 20), médio nos setores S1, S3 e S4 (valores entre 41 e 60) e alto nos setores S5 e S6 (valores entre 61 e 120), (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

Quanto aos teores de cálcio nos setores S1 e S2 são interpretados como baixos (valores menores ou iguais a 20), nos setores S3, S4 e S5 os teores de cálcio são classificados como médio (valores entre 2,1 e 4,0), enquanto que no setor S6 o teor de cálcio é alto (valores maiores que 4,0), (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004).

4.3 - Parâmetros de crescimento e desenvolvimento das cultivares

Os híbridos BM 1120 e BM 1115 tiveram emergência determinada no 8º (oitavo) dia após a semeadura (27 de outubro de 2006), seu ciclo foi de 124 dias após a emergência (DAE), (colhido em 28 de fevereiro de 2007), o que está de acordo com o ciclo informado pela Biomatrix, que define como um híbrido superprecoce um ciclo de colheita entre 130 e 148 dias.

4.3.1 Híbrido Biomatrix 1120 (BM 1120)

Os parâmetros de desenvolvimento e crescimento analisados no híbrido, com a aplicação da análise da variância e do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, serão apresentados e discutidos a seguir.

4.3.1.1 Altura de plantas

A Tabela 04 mostra os valores médios de altura (cm) para o híbrido, no decorrer do seu desenvolvimento. Observa-se que a análise dos resultados referentes à altura das plantas não evidenciou diferença estatística entre os diferentes setores estudados.

Tabela 04 - Valores médios de altura de planta (cm) do híbrido BM 1120, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.

Setor	DAE					
	12	32	52	72	92	112
S1	51,80 a	87,60 a	191,80 a	230,40 a	241,00 a	247,00 a
S2	50,00 a	87,80 a	189,80 a	225,20 a	246,00 a	249,00 a
S3	53,20 a	89,00 a	194,20 a	237,40 a	243,00 a	250,00 a
S4	53,60 a	92,40 a	202,00 a	239,20 a	249,00 a	251,00 a
S5	53,42 a	94,40 a	206,00 a	240,80 a	253,00 a	253,80 a
S6	53,80 a	100,40 a	207,60 a	249,60 a	254,80 a	257,80 a
Média	52,64	91,93	198,57	237,10	247,80	251,43
Desvio Padrão	1,47	4,95	7,62	8,50	5,48	3,85
CV (%)¹	2,79	5,38	3,84	3,58	2,21	1,53

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

¹CV = coeficiente de variação.

Analisando a Tabela 04, observa-se que as menores uniformidades entre os setores ocorreram aos 32, 52 e 72 DAE, pois estes apresentarem os maiores coeficientes de variação. A maior altura de planta foi observada no setor S6, com 257,80 cm, no estágio de desenvolvimento apresentado aos 112 DAE, e neste mesmo período a menor altura de planta foi no setor S1, com 247,00 cm. Ainda pode-se observar que o setor S6 apresentou as maiores alturas de plantas durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, enquanto que os menores valores foram encontrados nos setores S1 e S2.

Resultados semelhantes foram encontrados por Baldo (2007), que observou uma altura máxima de 2,25m no estágio de florescimento, no híbrido de milho 30 P 70, em condições irrigadas, no município de Jaboticabal, SP. Resultados semelhantes, também fora encontrados por Fancelli e Dourado Neto (2000).

A Figura 07 representa graficamente a evolução temporal da altura média de planta (cm), entre os diferentes setores, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Através desta Figura 07 pode-se observar que o comportamento da altura de planta a partir dos 72 DAE, foi o de reduzir seu ritmo de crescimento, pois a partir desta fase quando a planta atinge o potencial máximo de crescimento e desenvolvimento, inicia-se o processo reprodutivo de florescimento e enchimento de grãos. Meneghetti (2005) observou que a partir dos 60 DAE, as plantas de milho começaram a apresentar altura constante, com leve redução até o final do ciclo.

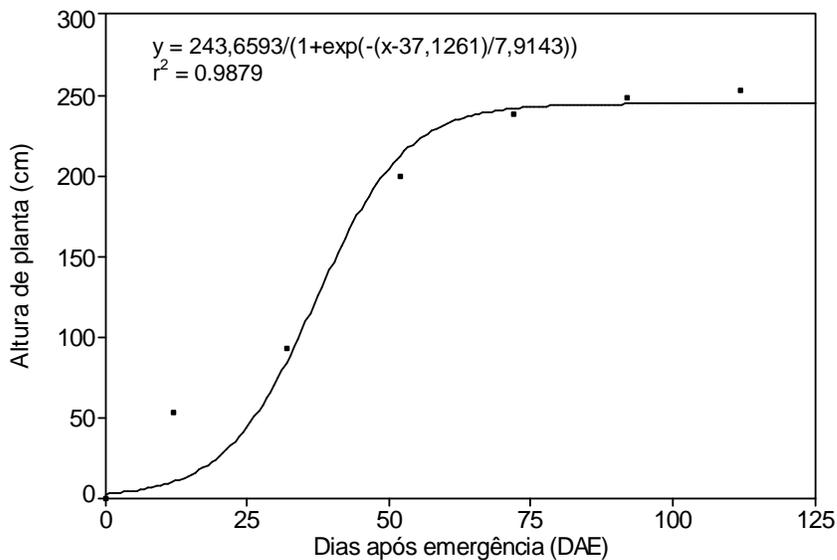


Figura 07 - Evolução temporal da altura de planta ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

4.3.1.2 Número de folhas por planta

A Tabela 05 apresenta os valores médios do número de folhas do híbrido, no decorrer do seu ciclo de desenvolvimento, nos diferentes setores em estudo.

Na Tabela 05 pode-se observar que apenas houve variabilidade significativa entre os setores aos 12 DAE. Podendo-se notar ainda, que a maior média do número de folhas por planta ocorreu aos 72 DAE, com 26,67 folhas, com destaque para o setor S6, com uma média de 28,6 folhas, enquanto o setor S2 apresentou a menor média com 24,8 folhas.

Nota-se que nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, o setor S6 foi o que se destacou com os maiores valores de número de folhas por planta, ao contrário do que ocorreu nos setores S1 e S2 que apresentaram os menores valores.

Tabela 05 - Valores médios do número de folhas por planta do híbrido BM 1120, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.

Setor	DAE					
	12	32	52	72	92	112
S1	6,60 b*	9,40 a	19,40 a	25,00 a	20,80 a	14,10 a
S2	7,40 ab	9,00 a	20,40 a	24,80 a	21,00 a	14,50 a
S3	6,80 ab	9,20 a	20,60 a	26,80 a	21,00 a	14,60 a
S4	7,60 ab	9,40 a	20,60 a	27,00 a	21,40 a	14,90 a
S5	8,40 a	9,80 a	21,00 a	27,80 a	21,80 a	15,90 a
S6	8,40 a	10,00 a	21,20 a	28,60 a	22,00 a	16,40 a
Média	7,53	9,47	20,53	26,67	21,33	15,07
Desvio Padrão	0,77	0,37	0,63	1,51	0,48	0,89
CV (%)¹	10,23	3,91	3,07	5,66	2,25	5,91

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

¹CV = coeficiente de variação.

Através dos coeficientes de variação apresentados na Tabela 09, nota-se pouca desuniformidade entre os setores, para quase todas as datas de coleta, devido aos baixos valores dos mesmos. Observando aos 12 DAE o maior coeficiente de variação entre os setores, conseqüentemente foi a data de coleta que apresentou menor uniformidade desta variável, entre os setores. Enquanto a data de coleta dos 92 DAE foi a que apresentou melhor uniformidade entre os setores, apresentando o menor valor de coeficiente de variação.

Baldo (2007), encontrou uma média de 20 folhas por planta, quando estudando o híbrido 30P70, sem sistemas irrigados. Este mesmo autor relata que é possível encontrar redução significativa no número de folhas por planta de milho, devido a submissão das plantas aos estresses por água. Ainda Fancelli e Dourado Neto (2000), observaram redução no número de folhas e espigas quando as plantas eram submetidas a lâminas reduzidas de irrigação.

Observa-se na Figura 08 que a partir dos 72 DAE, as plantas apresentaram uma redução no número de folhas, devido a senescência das mesmas. Resende et al., (2003) ressalta a importância do número de folhas na cultura do milho, uma vez que o número de folhas que a planta eventualmente irá produzir definirá o seu potencial de produção.

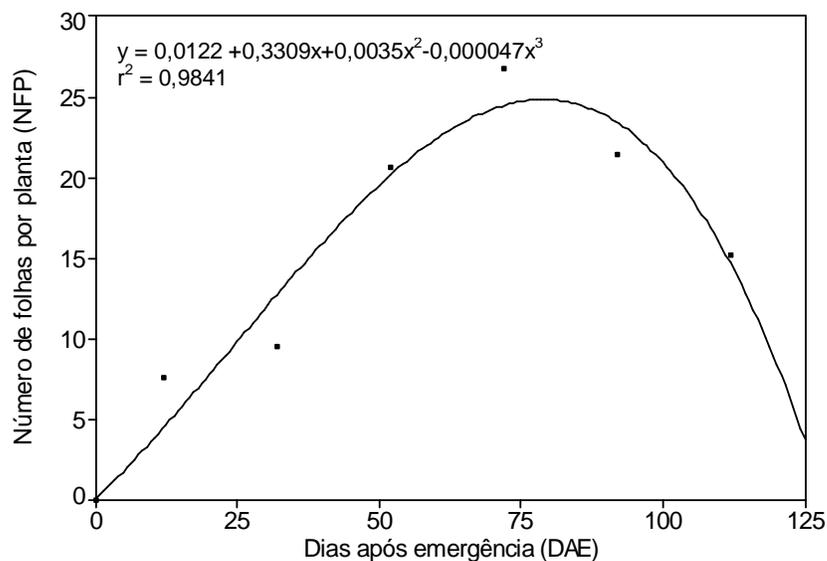


Figura 08 - Evolução temporal do número médio de folhas por plantas dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

4.3.1.3 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) expressa a área foliar da planta em relação à área de solo ocupada pela mesma.

A Tabela 06 mostra os valores médios obtidos na determinação do IAF ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, para os seis setores de coleta.

Tabela 06 - Valores médios do índice de área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) do híbrido BM 1120, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.

Setor	DAE					
	12	32	52	72	92	112
S1	1,26 b*	2,95 a	4,85 a	5,70 a	4,29 b	1,65 b
S2	1,48 ab	2,95 a	4,80 a	5,67 a	4,41 ab	1,77 ab
S3	1,53 ab	2,81 a	4,99 a	5,88 a	4,66 ab	1,71 ab
S4	1,61 ab	2,96 a	5,24 a	5,86 a	5,12 ab	1,97 ab
S5	2,07 ab	3,19 a	5,26 a	6,08 a	5,19 a	2,10 ab
S6	2,23 a	3,27 a	5,30 a	6,18 a	5,07 ab	2,15 a
Média	1,70	3,02	5,07	5,89	4,79	1,89
Desvio Padrão	0,37	0,17	0,22	0,20	0,39	0,21
CV (%)¹	21,76	5,63	4,34	3,40	8,14	11,11

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

¹CV = coeficiente de variação.

Baseado na análise dos resultados obtidos na Tabela 06, para esse parâmetro, observou-se diferença estatística entre os setores aos 12, 92 e 112 DAE, nas demais datas de coletas não houve diferença estaticamente significativa entre os setores.

Esta diferença significativa, observada entre os setores deve estar relacionada às características físicas e químicas do solo, uma vez que não houve manejo diferenciado entre os diferentes setores, quando a lâmina de irrigação, tratos culturais, etc. Pode-se ainda observar que até aos 72 DAE, quando a cultura encontrava-se no estágio de desenvolvimento R1 (cabelo da boneca visível em 50% das plantas), o índice de área foliar foi crescente, com valor máximo no setor S6, $6,18 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, após esta época, o índice de área foliar reduziu devido a senescência e queda das folhas, sendo que as plantas se encontravam-se no início do estágio R3 (grãos das espigas pastosos).

Manfron et. al (2003), trabalhando com diferentes híbrido de milho, encontrou resultados semelhantes, observando um IAF máximo de $7,50 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. Valores similares foram obtidos por Ruviano (2003), os quais variaram entre $4,01 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ e $4,37 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, este autor estudou o manejo da irrigação e a viabilidade econômica para a produção de silagem de milho e sorgo. Outros autores como Dourado Neto et. al (2004), observaram que as médias de IAF ficaram em torno de $3,34 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. Sá Ramalho e Souza Sobrinho (2002) obtiveram, para o IAF, valores médios de $3,18 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ e $3,63 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ ao analisarem os aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares de milho.

O comportamento do índice de área foliar (IAF) em relação ao tempo é apresentado na Figura 09. Observa-se que a evolução do IAF, seguiu o padrão característico de plantas anuais, com uma fase inicial lenta, seguida de uma fase de rápido crescimento, após apresentou uma fase de estabilização do IAF, a partir da qual o IAF começou a reduzir, em função do desenvolvimento das folhas, processo de senescência.

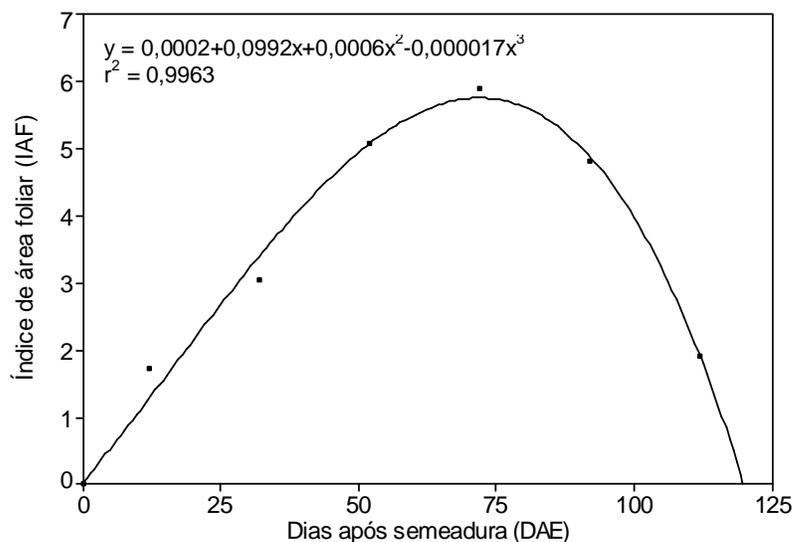


Figura 09 - Evolução temporal do índice de área foliar ($m^2 \cdot m^{-2}$) médio dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

4.3.2 Híbrido Biomatrix 1115 (BM 1115)

A seguir serão apresentados e discutidos os parâmetros de desenvolvimento e crescimento do híbrido, observados durante todo seu ciclo, juntamente com a aplicação da análise da variância e do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4.3.2.1 Altura de plantas

A Tabela 07 apresenta os valores médios de altura de planta (cm), nos diferentes setores de análise, no decorrer do ciclo de desenvolvimento do híbrido. Observa-se que não houve diferença significativa, entre os setores, ao longo do ciclo da cultura. Porém através dos coeficientes de variação, nota-se que houve desuniformidade entre os setores. Aos 52 DAE observou-se o maior valor de coeficiente de variação, logo, foi a data de coleta que apresentou menor uniformidade desta variável entre os setores, enquanto que aos 112 DAE observou-se uma maior uniformidade entre os setores, devido ao seu valor de coeficiente de variação.

Tabela 07 - Valores médios de altura de planta (cm) do híbrido BM 1115, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.

Setor	DAE					
	12	32	52	72	92	112
S1	34,60 a	73,00 a	146,80 a	198,12 a	207,75 a	217,54 a
S2	34,20 a	68,00 a	160,20 a	206,94 a	216,51 a	230,54 a
S3	32,80 a	72,40 a	142,40 a	211,08 a	220,73 a	225,34 a
S4	35,28 a	74,40 a	165,60 a	219,10 a	228,74 a	232,54 a
S5	36,60 a	76,00 a	169,80 a	217,94 a	227,09 a	236,34 a
S6	39,00 a	81,40 a	168,40 a	222,71 a	232,32 a	244,14 a
Média	35,41	74,20	158,87	212,65	222,19	231,07
Desvio Padrão	2,16	4,43	11,61	9,13	9,08	9,13
CV (%)¹	6,10	5,97	7,31	4,29	4,09	3,95

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

¹CV = coeficiente de variação.

Através da Tabela 07, observou-se a maior altura de planta aos 112 DAE, no setor S6, com uma média de 244,14 cm, e neste mesmo período a menor altura de planta foi no setor S1 com 217,54 cm. Sendo que os maiores valores de altura das plantas, durante todo o ciclo, podem ser observados no setor S6 para quase todas as datas de coleta, exceção feita aos 52 DAE, em que ocorreu destaque para o setor S5.

Parizi (2007), obteve valores semelhantes, com altura máxima de planta, aos 131 dias após emergência (DAE), de 260,32 cm para a cultivar AGN 2012, em área irrigada. Resultados similares também foram encontrados por Bernardon (2005), com altura máxima de planta de 266,50 cm, aos 142 DAE, para a cultivar P35R31 e 211,47 cm para a cultivar AG 9020 aos 140 DAE, sob condições irrigadas.

Este mesmo comportamento foi encontrado por Furtado (2004), que observou plantas com estatura média de 2,58 m, ao estudar a deficiência hídrica no desenvolvimento da cultura do milho. Ainda Emygdio (2003), avaliando o desempenho agrônomico do híbrido de milho BRS 1001 no Estado do Rio Grande do Sul, encontrou valores entre 2,35 m a 2,43 m.

Segundo Benincasa (2003), a altura da planta apresenta um comportamento sigmóidal até atingir um valor máximo e permanecer praticamente constante. Característica semelhante foi observada no híbrido estudado, e pode ser verificada na Figura 10, na qual se observa a evolução temporal, da altura de plantas ao longo do ciclo.

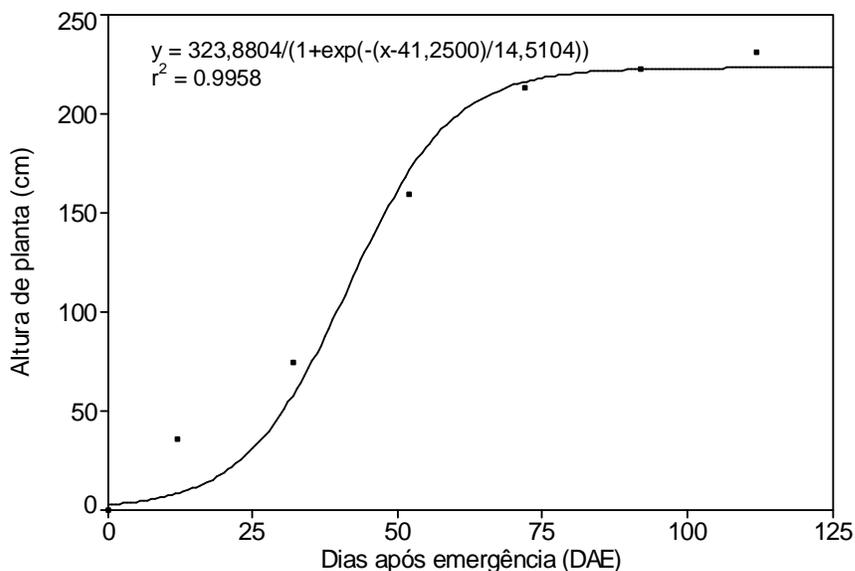


Figura 10 - Evolução temporal da altura de planta ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

4.3.2.2 Número de folhas por planta

A Tabela 08 apresenta os valores médios do número de folhas por planta, nos diferentes setores, durante todo o ciclo de desenvolvimento do híbrido. A análise dos resultados relacionados ao número de folhas por plantas, não apresentou diferença significativa entre os setores avaliados, para as diferentes épocas de coleta, com exceção apenas no estágio de desenvolvimento aos 12 DAE. Podendo-se observar através dos baixos valores do coeficiente de variação, que não ocorreu grande variabilidade, desta variável, entre os setores, nas distintas épocas de coleta.

Notou-se que até aos 72 DAE o número de folhas foi crescente, com destaque para o setor S5 e S6, com uma média de 25 folhas por planta, enquanto que para a mesma época o setor S1 apresentou a menor média, com 22,81 folhas por planta.

Tabela 08 - Valores médios do número de folhas por planta do híbrido BM 1115, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.

Setor	DAE					
	12	32	52	72	92	112
S1	6,60 ab*	8,20 a	15,42 a	22,81 a	19,60 a	12,10 a
S2	6,40 b	8,86 a	14,41a	24,20 a	19,00 a	11,91 a
S3	7,00 ab	8,40 a	15,00 a	24,40 a	19,80 a	11,72 a
S4	7,00 ab	8,80 a	15,60 a	24,60 a	20,00 a	12,93 a
S5	7,40 ab	8,80 a	15,80 a	25,00 a	20,80 a	12,90 a
S6	8,61 a	9,21 a	16,01 a	25,00 a	20,20 a	13,11 a
Média	7,20	8,71	15,40	24,30	19,90	12,40
Desvio padrão	0,81	0,40	0,60	0,80	0,60	0,60
CV (%)¹	11,11	4,60	3,90	3,29	3,02	4,84

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

¹CV = coeficiente de variação.

Observa-se ainda que os setores S6 e S5 apresentaram os maiores número de folhas por planta, em todas as datas de coletas realizadas durante seu ciclo de desenvolvimento. Enquanto que os menores números foram observados nos setores, S1 e S2, sendo que esta redução do número de folhas pode acarretar diminuição da atividade fotossintética, com conseqüente redução na produção de carboidratos e na produção.

Resultados semelhantes, para esta mesma variável, foram observados por Tsumanuma (2004), em experimento realizado no estado de São Paulo, analisando o número de folhas por planta, quanto estas encontravam-se em estágio de florescimento, obteve valores semelhantes, encontrando valores médios de 14,63 folhas por planta de milho, em sistema irrigado sob pivô central.

Analisando o parâmetro número de folhas, para a cultivar de milho BR 3060 no estágio de desenvolvimento apresentado aos 30 dias após a emergência, Carvalho (2008) obteve uma média de 7 folhas por planta, em sistema de manejo de irrigação por aspersão.

Outros autores, como Dourado Neto et al., (2004), observaram, em pesquisas com finalidade de avaliarem o aspecto da morfologia e rendimento do milho em duas épocas de aplicação de herbicidas, valores médios de número de folhas entre 12,25 a 12,75 unidades.

Estas observações reforçam os resultados encontrados nesta pesquisa em que a média geral ficou em 14,65 unidades, e também com os valores encontrados por Sá Ramalho e Souza Sobrinho (2002), cujas médias variaram entre 12,50

unidades a 14,00 unidades em estudo dos aspectos morfológicos e fisiológicos de cultivares modernas e antigas de milho.

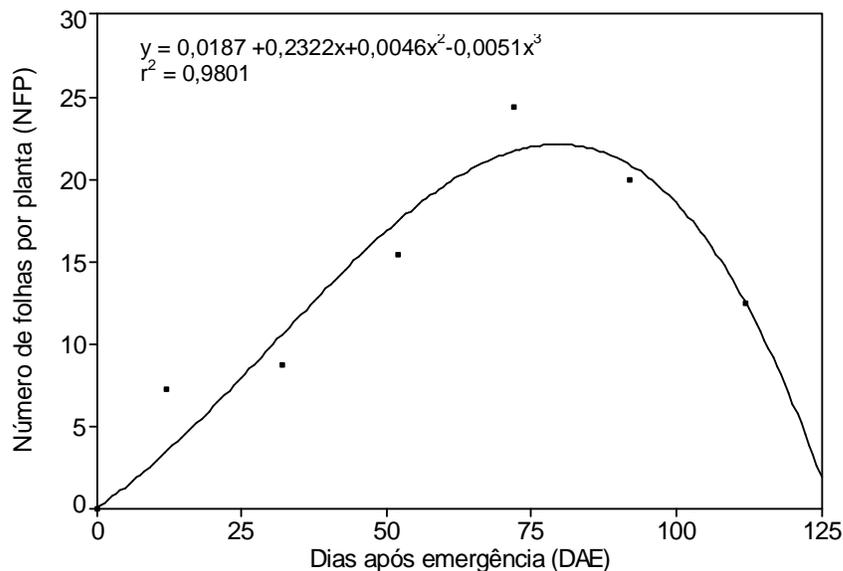


Figura 11 - Evolução temporal do número médio de folhas por planta dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

A evolução temporal do número médio de folhas por planta (NFP) pode ser observado através da Figura 11. Notou-se que o comportamento do número de folhas foi crescente até aproximadamente 72 DAE, após apresentou ligeira redução, devido as plantas entrarem em seu estágio final de desenvolvimento, início do processo de senescência.

4.3.2.3 Índice de área foliar

A Tabela 09 mostra os valores experimentais médios obtidos na determinação do IAF ($m^2 \cdot m^{-2}$), durante todo seu ciclo de desenvolvimento, para diferentes setores de coleta.

Baseado na análise dos resultados obtidos, para esse parâmetro, observou-se diferença estatística entre os setores aos 12, 32, 72 e 112 DAE, com significativa variabilidade espacial entre estes. Esta variabilidade pode estar relacionada com a

as características físico-hídricas e químicas do solo. Nas demais datas de coletas não houve diferença estaticamente significativa entre os setores.

Tabela 09 - Valores médios do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) do híbrido BM 1115, durante todo seu ciclo de desenvolvimento para cada setor de coleta.

Setor	DAE					
	12	32	52	72	92	112
S1	0,58 b*	1,71 b	4,53 a	4,98 b	3,95 a	1,31 b
S2	0,69 ab	2,04 b	4,54 a	4,85 b	4,38 a	1,54 ab
S3	0,70 ab	2,14 ab	4,66 a	5,18 b	4,34 a	1,50 b
S4	0,49 b	2,59 ab	5,25 a	5,57 ab	4,23 a	1,79 ab
S5	1,00 ab	3,00 ab	4,83 a	5,75 ab	4,54 a	2,10 ab
S6	1,14 a	3,45 a	5,30 a	6,55 a	4,97 a	2,13 a
Média	0,77	2,49	4,85	5,48	4,40	1,73
Desvio Padrão	0,25	0,65	0,35	0,63	0,34	0,34
CV (%)¹	32,47	26,10	7,22	11,50	7,73	19,65

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

¹CV = coeficiente de variação.

Na Tabela 09, os valores de coeficiente de variação mostram que houve pouca uniformidade nos valores de IAF, entre os setores, ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Observou-se ainda, que até aos 72 DAE, quando a cultura encontrava-se no estágio de desenvolvimento, o índice de área foliar foi crescente, com máximo valor de $6,55 m^2.m^{-2}$, no setor S6. Após esta época, o índice de área foliar reduziu devido ao processo de senescência e queda das folhas. Na Figura 12 pode-se visualizar melhor o comportamento do índice de área foliar, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Parizi (2007), que obteve valores máximos de IAF aos 74 DAE, com uma média de $6,08 m^2.m^{-2}$, em experimento realizado no estado do Rio Grande do Sul. Esta mesma autora verificou redução do IAF aos 90 DAE.

Comportamento semelhante foi observado por Romano (2005), em experimento realizado no estado de São Paulo, que verificou IAF de 5,96, 6,14 e $6,44 m^2.m^{-2}$ para as cultivares BRS 1010, BRS 3003 e BRS 1001 respectivamente, em sistema irrigado. Ainda, Meneghetti (2005) encontrou valores de IAF, para a cultura do milho, no início do estágio de desenvolvimento vegetativo entre $1,90 m^2 m^{-2}$ e $3,57 m^2.m^{-2}$ (30 DAE) e após este período até aos 42 DAE observou acréscimo

nos valores, em torno de $3,40 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ a $5,86 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, após o IAF reduziu, variando entre $2,77 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ a $1,43 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

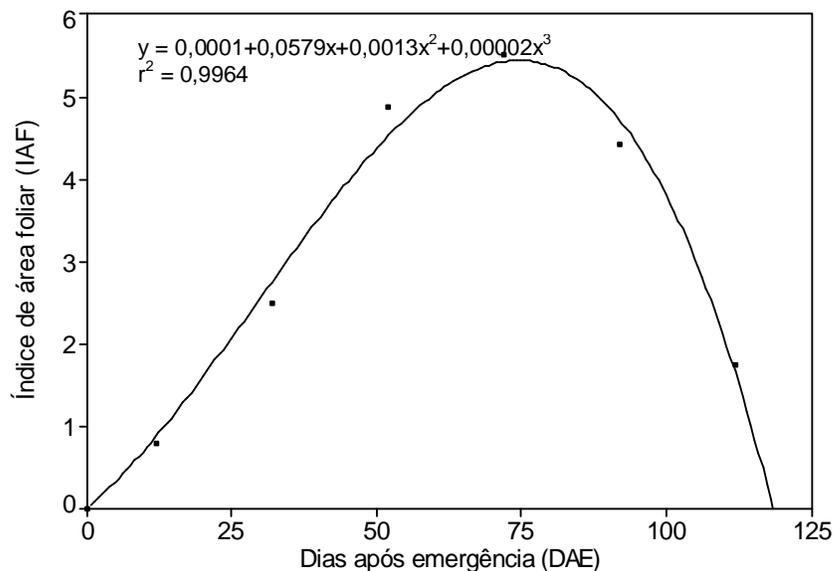


Figura 12 - Evolução temporal do índice de área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) médio dos seis setores ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

4.4 Variações da umidade do solo

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios da disponibilidade hídrica no solo, nos diferentes intervalos de coleta, realizados durante todo o ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1120. Pode-se observar uma variabilidade expressiva da disponibilidade hídrica (mm) entre os diferentes setores, para um mesmo período. Sendo que esta variabilidade, tanto espacial como temporal, é de grande importância na quantificação das necessidades hídricas dos vegetais.

Tabela 10 - Disponibilidade hídrica (mm), para a profundidade de 30 cm, valores observados ao longo do ciclo da cultura, para os diferentes setores.

Setores	Período (DAE)					
	0-12	13-32	33-52	53-72	73-92	93-112
S1	21,60	24,04	30,72	30,73	40,57	44,56
S2	25,34	34,06	38,44	35,63	45,86	46,89
S3	37,96	41,63	43,93	48,48	49,51	51,40
S4	48,15	50,76	51,70	52,70	58,11	68,27
S5	56,41	62,98	63,41	66,88	68,22	74,09
S6	69,80	71,31	77,89	79,96	80,82	89,02
Média	43,21	47,46	51,02	52,40	57,18	62,37
Desv.Padrão	18,54	17,79	17,30	18,63	15,13	17,66
CV (%)¹	42,91	37,48	33,91	35,55	26,46	28,31

¹ Valor médio no intervalo.

¹CV = coeficiente de variação.

As Figuras 13 e 14 apresentam a variação média da disponibilidade hídrica, relacionando-as com as características físicas do solo, (classe textural e densidade do solo) nos diferentes setores, cultivados com híbrido BM 1120.

De acordo com a classificação textural, a área experimental apresenta-se dividida em três classes: franco arenoso (F.A.), franco argilo arenoso (F.Ar.A) e franco argilosos (F.Ar.).

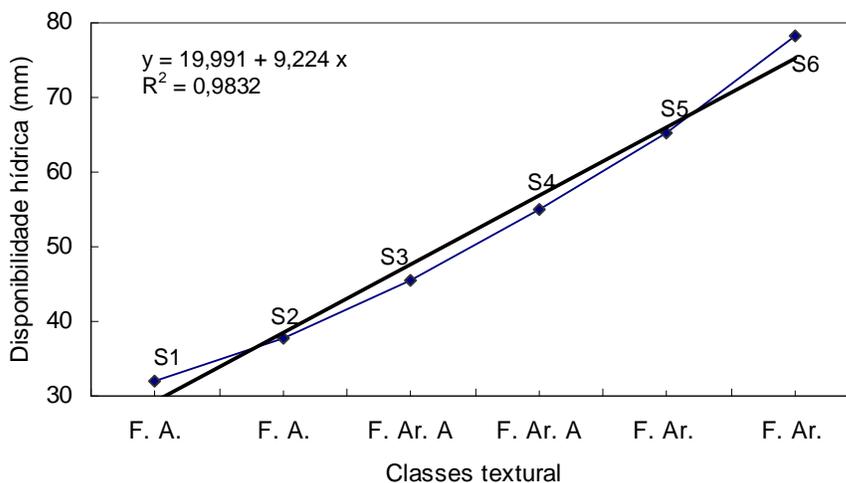


Figura 13 - Relação da disponibilidade hídrica (mm) com a classificação textural do solo em cada setor, na profundidade de 0 - 30 cm.

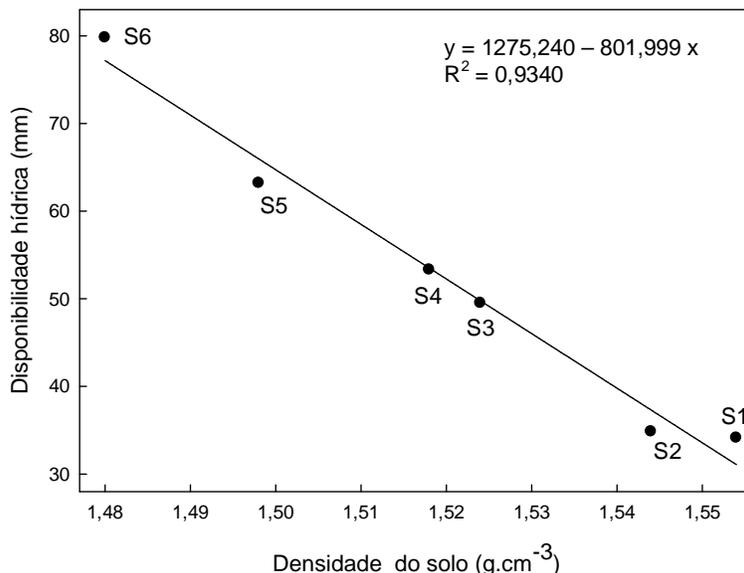


Figura 14 - Relação da disponibilidade hídrica (mm) com a densidade do solo média, para cada setor.

Através das Figuras 13 e 14, observa-se que as características físicas do solo, influenciam na capacidade que o solo tem de armazenar e disponibilizar água as plantas.

Quanto à classificação textural, observou-se que os setores que apresentavam maiores teores de argila tiveram uma maior disponibilidade hídrica. De maneira geral, solos com textura mais finas, com elevadas proporções de silte e argila, possuem capacidade maior de armazenamento e disponibilização de água (THURLER, 1989). Além disso, o tipo de argila e a seqüência dos horizontes junto com as propriedades físicas distintas e umidade, também exercem influencia na retenção e disponibilização de água pelos solos (REICHARDT, 1985; REICHARDT, 1996; TABBAGH et al., 2000).

Soares Neto (2008), estudando solos do oeste da Bahia, observou que nos Latossolos a disponibilidade de água para as plantas era maior que nos Neolosos, este autor coloca que tal fato ocorre devido à presença de um maior teor de argila nos Latossolos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Soares Neto (1999) estudando diferentes tipos de solo da região central do país.

Segundo Reinert e Reichert (2006) tão importante como a textura, a densidade de um solo pode influenciar na capacidade de armazenamento e

disponibilização de água pelo solo, devido a redução da porosidade, além de afetar diversos atributos do solo como a condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração de água e outras características ligadas a porosidade do solo.

A Figura 15 apresenta graficamente a disponibilidade hídrica média (mm) em cada setor, ao longo do ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1120.

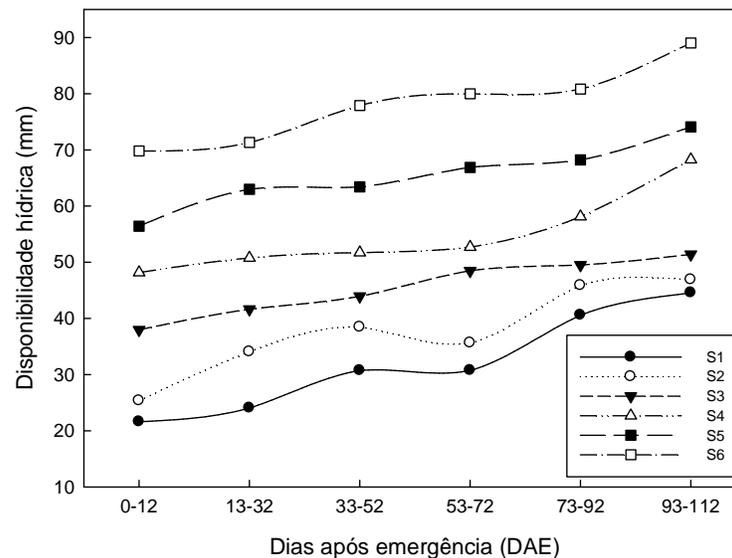


Figura 15 - Disponibilidade hídrica média (mm), em cada setor, ao longo do ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1120.

Na Figura 15 observou-se que a menor disponibilidade hídrica média, 32,04 mm, foi observada no setor S1, enquanto que para o setor S6 foi observada uma disponibilidade média de 78,13 mm, estes resultados estão ligados as diferentes características físico-hídricas que o solo da área apresenta, e pode ser observado pelas Figuras 13 e 14. Em consequência da baixa disponibilidade hídrica que os setores S1 e S2 oferecem, as plantas apresentaram redução em seu crescimento e desenvolvimento vegetativo.

Segundo Carlesso (1995) a disponibilidade de água no solo afeta todos os aspectos ligados ao crescimento da planta, redução da área foliar, diminui a fotossíntese bem como outros processos.

A Figura 16 mostra o histograma de distribuição de freqüência da disponibilidade hídrica, ao longo de todo o ciclo da variedade BM 1120.

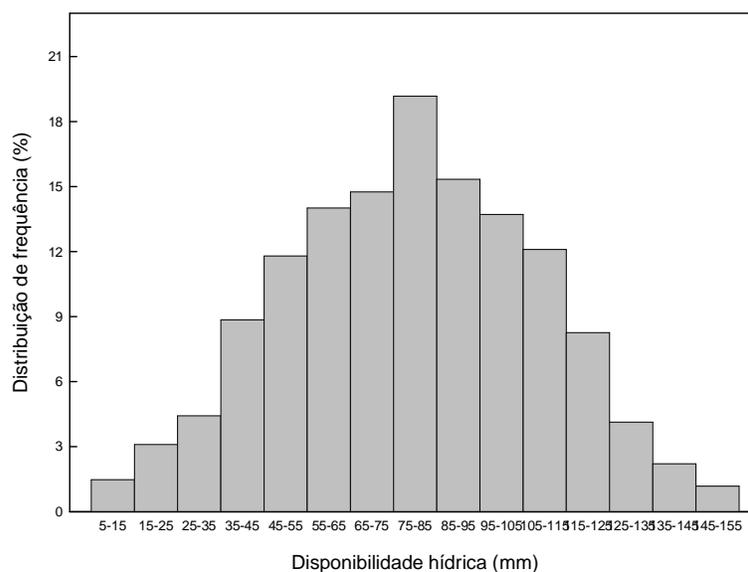


Figura 16 - Histograma de distribuição de freqüências da disponibilidade hídrica do solo.

Através da Figura 16 observa-se que os dados de disponibilidade hídrica apresentaram um histograma de freqüência simétrico, ou seja, o valor médio está localizado no centro do histograma e a freqüência é mais alta no meio e diminui gradualmente em direção dos extremos. Através da distribuição de freqüência, observa-se que durante uma considerável parte do ciclo de desenvolvimento da cultura, o solo apresentava uma disponibilidade hídrica variando entre 25 e 115 mm. E ainda, que na grande maioria do ciclo da cultura, o solo da área experimental, proporcionava uma disponibilidade hídrica na faixa entre 65-75 mm, com uma distribuição de freqüência de 20 %.

As Figuras 17, 18, 19 e 20 mostram a relação entre os resultados obtidos de altura de planta (cm), número de folhas por planta, índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$) e matéria seca total ($kg.ha^{-1}$) em função da água disponível (mm), nos diferentes setores, para a variedade BM 1120.

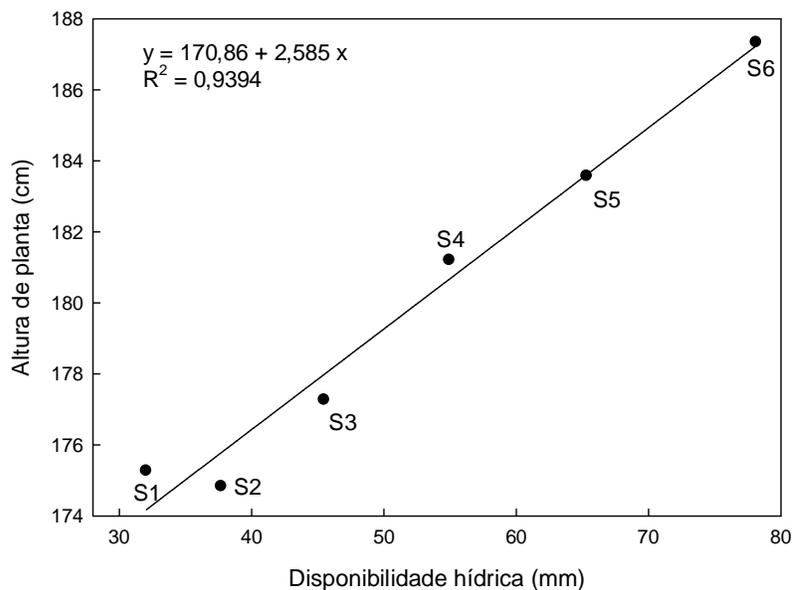


Figura 17 – Altura média de planta (cm) relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

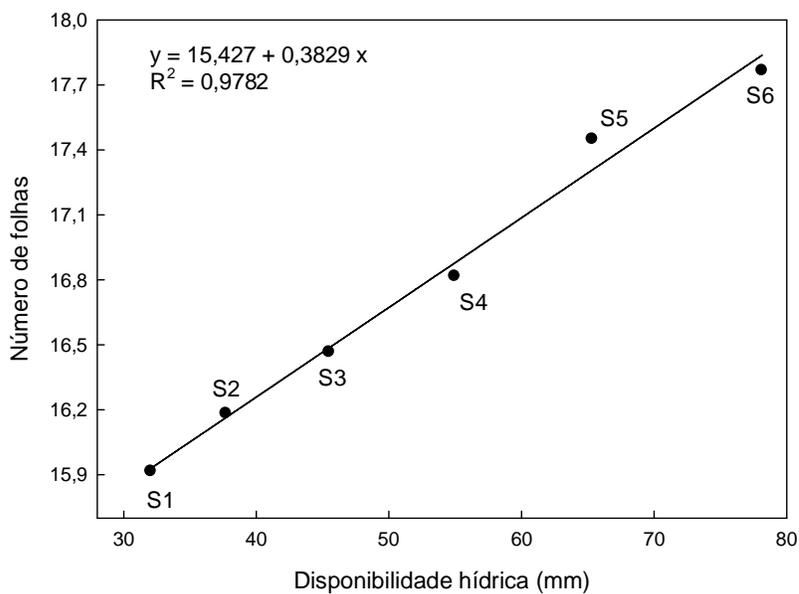


Figura 18 – Número médio de folhas por planta, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

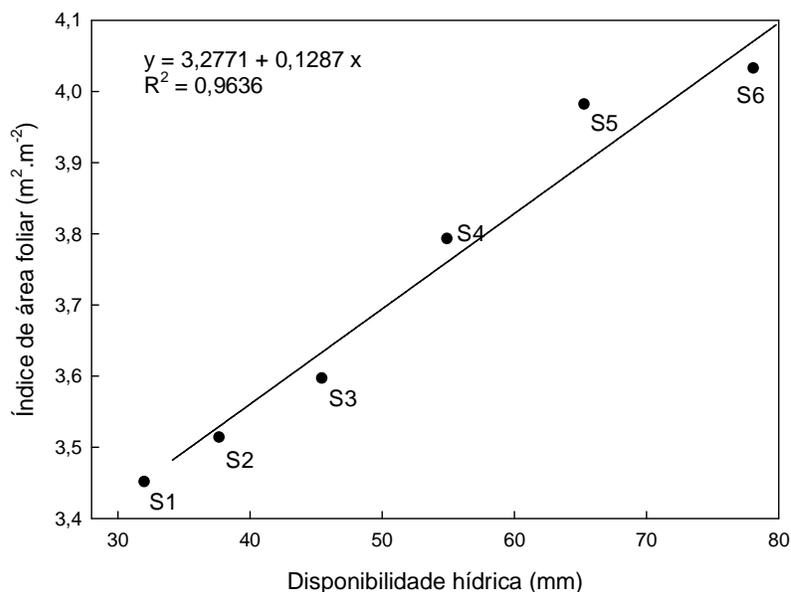


Figura 19 - Índice de área foliar (m².m⁻²) médio, relacionado com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

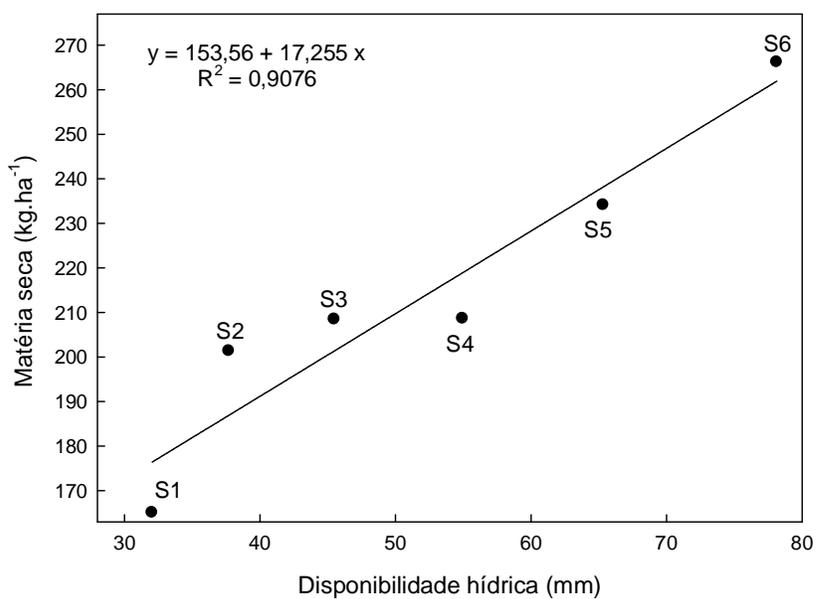


Figura 20 - Matéria seca (kg.ha⁻¹) médio, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

Para ambos os gráficos foi ajustada uma equação linear, com valores para (y), diferentes parâmetros da planta, em relação à disponibilidade hídrica (mm) (x).

Sendo que para ambos os gráficos, as equações apresentaram coeficientes de determinação acima de 0,90. A partir desta relação, pode-se observar que à medida que a disponibilidade hídrica do solo aumenta, os parâmetros: altura de planta, número de folhas por planta, índice de área foliar e matéria seca total também se elevam.

A pouca disponibilidade de água, em certos setores, fez com que as plantas sofressem déficit hídrico, com isto afetando seu crescimento e desenvolvimento, e logo sua produção final de grãos, uma vez que, segundo Matzenauer (1994) e Bergonci et al., (2001) quando o déficit hídrico, na cultura do milho, ocorrer durante seu período crítico, a produtividade de grãos é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios da disponibilidade de água no solo, para o híbrido BM 1115. Observa-se que houve variabilidade expressiva da disponibilidade hídrica (mm) entre os diferentes setores, sendo que esta variabilidade irá fazer com que está lavoura apresente áreas com variações de produção.

Tabela 11 - Disponibilidade hídrica (mm), para a profundidade de 30 cm, valores observados ao longo do ciclo da cultura, para os diferentes setores.

Setores	Período (DAE)					
	0-12	13-32	33-52	53-72	73-92	93-112
S1	23,46 ¹	24,04	29,35	29,38	34,36	32,68
S2	21,69	33,95	35,45	35,63	38,15	46,62
S3	17,28	39,45	48,60	50,46	50,91	52,23
S4	37,69	47,41	49,43	58,93	59,29	59,31
S5	50,92	57,01	62,59	63,14	63,87	70,93
S6	66,76	66,85	71,04	75,44	83,84	87,08
Média	36,30	44,79	49,41	52,16	55,07	58,14
Desv. Pad.	19,41	15,62	15,74	17,34	18,20	19,07
CV (%)¹	53,47	34,87	31,86	33,24	33,05	32,80

¹Valor médio no intervalo.

¹CV = coeficiente de variação.

As Figuras 21 e 22 mostram a variação da disponibilidade hídrica média, relacionando-as com as características físicas do solo, (classe textural e densidade do solo) nos diferentes setores, cultivados com o híbrido BM 1115. As classes

texturais encontradas na área foram: franco arenoso (F.A.), franco argilo arenoso (F.Ar.A) e franco argilosos (F.Ar.).

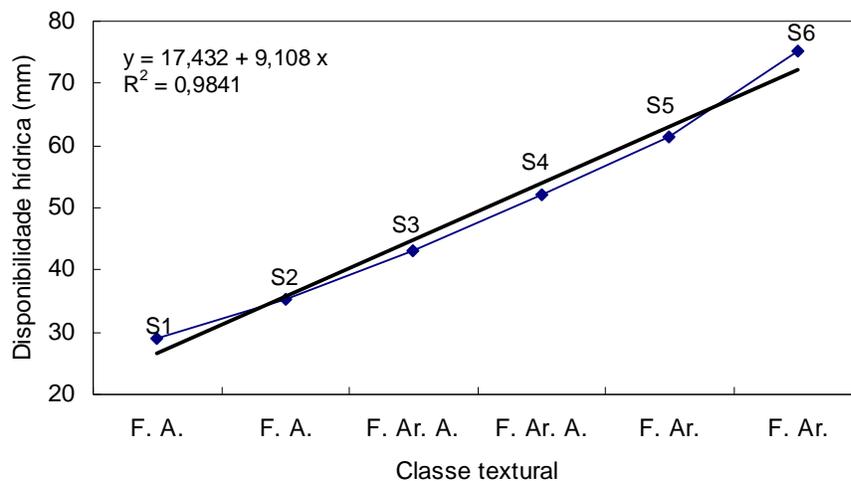


Figura 21 - Relação da disponibilidade hídrica média (mm) com a classificação textural do solo em cada setor, na profundidade 0 – 30 cm.

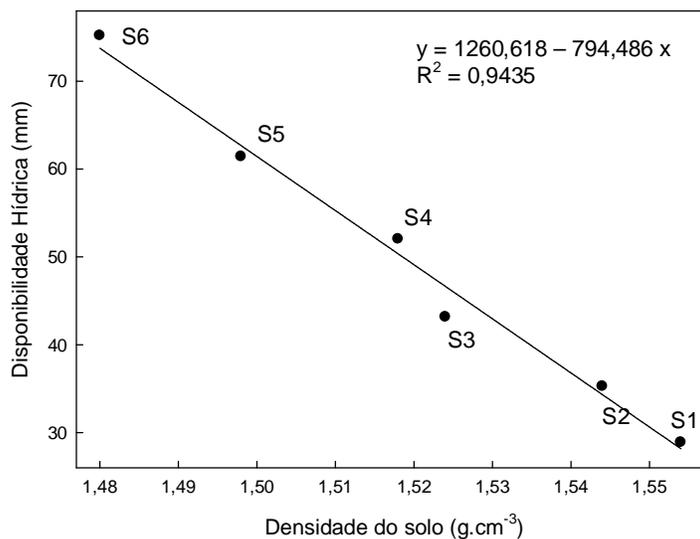


Figura 22 - Relação da disponibilidade hídrica média (mm) com a densidade do solo média, em cada setor.

Através das Figuras 21 e 22 nota-se que assim como ocorreu no solo da variedade BM 1120, este também apresentou variação expressiva na disponibilidade de água, devido variações nas características físicas do solo.

De acordo com Carlesso (1995), a quantidade de água armazenada no solo varia com a textura, o que leva as plantas a apresentarem diferentes comportamentos em relação aos mecanismos de adaptação. Segundo Pereira (2008) a textura dos solos afeta significativamente o rendimento das plantas, devido a restrição de água pelo solo a planta. Este autor observou em plantas cultivadas em solo de textura média uma redução de 43 % da área foliar, 34 % de diâmetro de colmo e 54 % de matéria seca da parte aérea em relação a plantas desenvolvidas em solo de textura argilosa.

Observa-se que os setores S5 e S6 apresentaram os menores valores de densidade do solo, isto pode estar relacionado, diretamente, com suas capacidades hídricas, uma vez que densidade do solo tem uma relação inversamente proporcional com a porosidade do solo. Solos com densidade elevada apresentam redução da porosidade do solo, sendo está responsável pela infiltração e aeração no solo (STRECK et al., 2004).

Na Figura 23 é apresentada graficamente a disponibilidade hídrica média (mm) em cada setor, ao longo do ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1115. A menor disponibilidade hídrica (28,88mm) foi observada no setor S1, enquanto que para o setor S6 foi observada uma disponibilidade de 75,17 mm, estes valores podem estar relacionados com as características físicas do solo, apresentadas nas Figuras 22 e 23, onde observou-se que o solo do setor S1 tem baixas baixa disponibilidade de água, e elevados valores de densidade do solo, características contrárias as apresentadas pelo solo dos setores S5 e S6. Conseqüentemente nestes setores onde a disponibilidade hídrica é baixa, as plantas apresentaram um crescimento e desenvolvimento reduzido. De acordo com Letey (1985), a textura e estrutura do solo exercem influência direta sobre a movimentação e distribuição de água no solo.

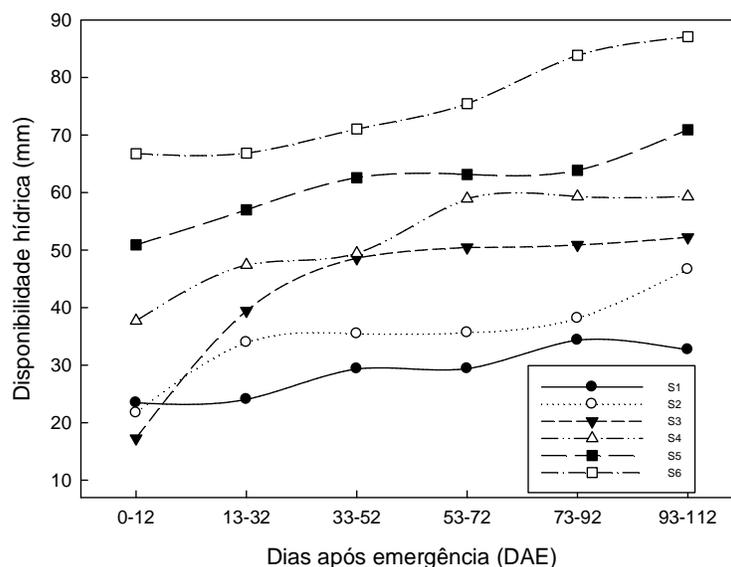


Figura 23 - Disponibilidade hídrica média (mm), em cada setor, ao longo do ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1115.

Considerando que, de acordo com Nóbrega et al., (2001), redução da umidade do solo a níveis que influenciam os processos fisiológicos, resultando na diminuição do crescimento foliar e da atividade fotossintética das plantas, limita a produtividade da cultura. Ainda Guerra et al., (2000) relatam que a condição de estresse hídrico moderado é suficiente para causar uma redução significativa do número de grãos por planta.

Na Figura 24 é apresentado o histograma de distribuição de frequência para a disponibilidade hídrica (mm) ao longo do ciclo para a variedade BM 1115.

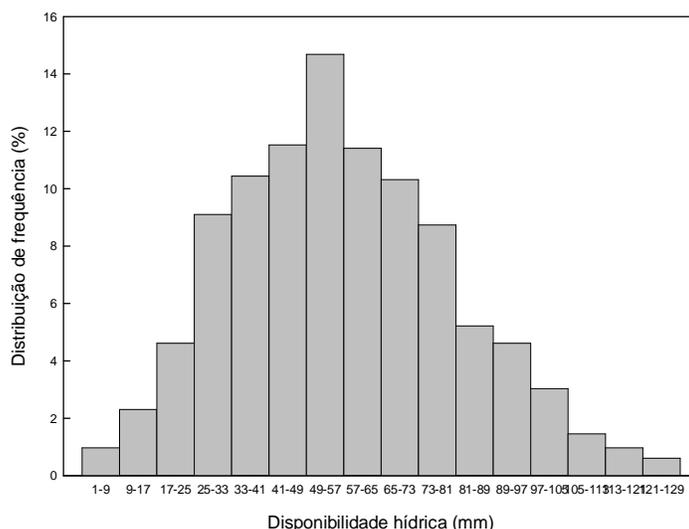


Figura 24 - Histograma de distribuição de frequências da disponibilidade hídrica do solo.

Através da Figura 24 observa-se que os dados de disponibilidade hídrica (mm) apresentaram um histograma com distribuição de frequência assimétrica, ou seja, o valor médio está localizado fora do centro do histograma e a frequência diminui gradativamente em um dos lados e de modo um tanto abrupto do outro lado. Foram observadas classes de distribuição da disponibilidade hídrica, desde o intervalo de 1-9 mm até 121-129 mm. Sendo, que durante a maior parte do ciclo de desenvolvimento da cultura, o solo na área apresentou uma disponibilidade hídrica na faixa entre 46-54 mm.

As Figuras 25, 26, 27 e 28 apresentam a relação entre os resultados obtidos de altura de planta (cm), número de folhas por planta, índice de área foliar ($m^2 \cdot m^{-2}$) e matéria seca total ($kg \cdot ha^{-1}$), em função da lâmina de água disponível (mm) nos diferentes setores, para a variedade BM 1115.

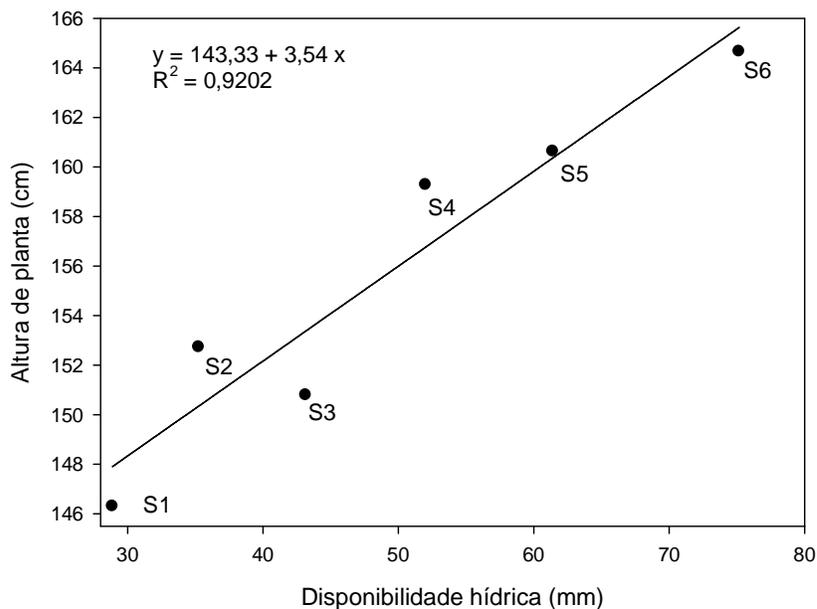


Figura 25 – Altura média de planta (cm) relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

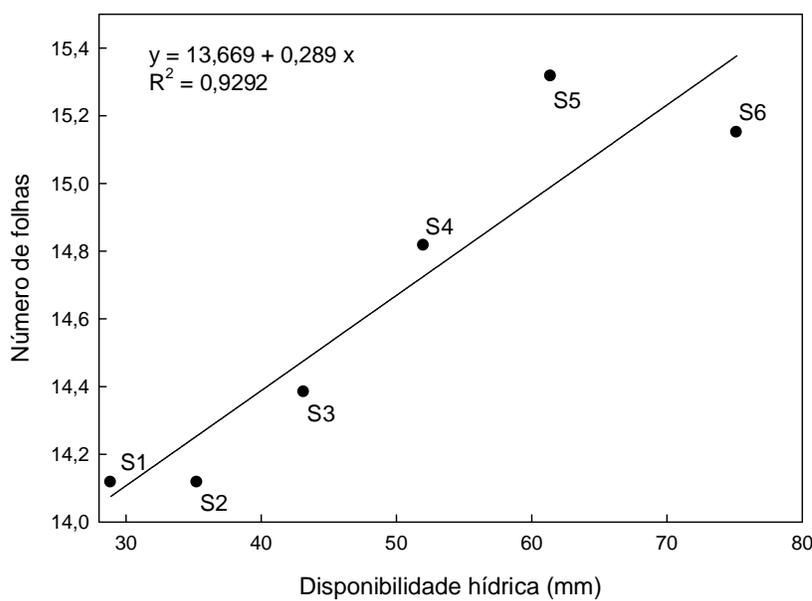


Figura 26 - Número médio de folhas por planta, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

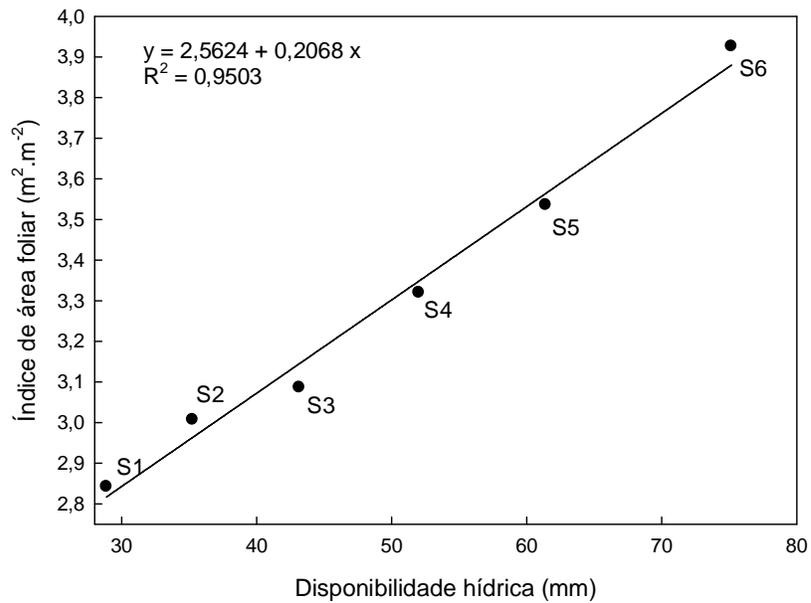


Figura 27 - Índice de área foliar (m².m⁻²) médio, relacionado com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

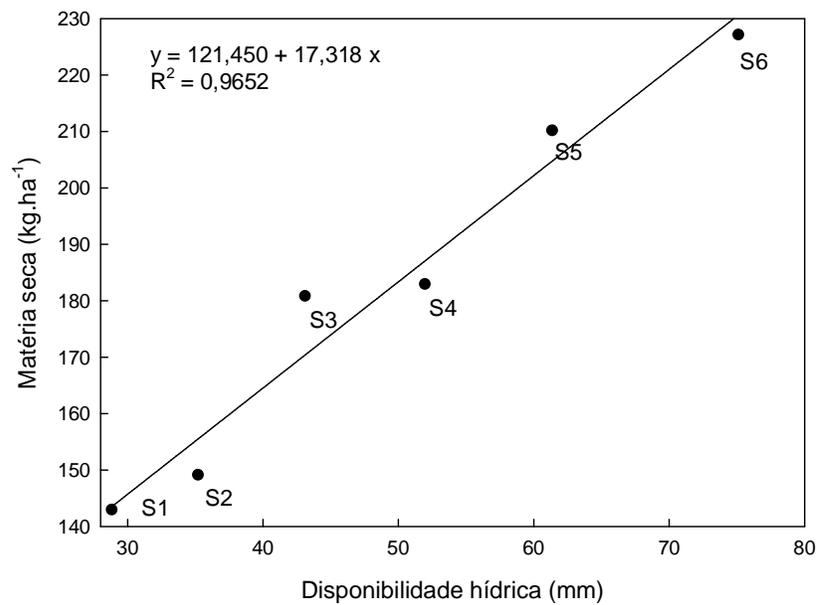


Figura 28 - Matéria seca (kg.ha⁻¹) média, relacionada com a disponibilidade hídrica média (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento.

Para ambos os gráficos, apresentados acima, foram ajustadas equações lineares, com valores de (y), diferentes parâmetros da cultura em função da disponibilidade hídrica (mm) (x). Sendo que ambos os gráficos apresentaram coeficientes de determinação acima de 0,90. Observando-se, que à medida que a disponibilidade hídrica do solo se eleva os parâmetros: altura de planta, número de folhas por planta, índice de área foliar e matéria seca total também aumentam.

Já foi observado que os setores S5 e S6 foram os que apresentaram as maiores disponibilidades de água, com isto, também, foram os responsáveis pelo melhor desempenho da cultura, uma vez que esta cultura em condições de déficit hídrico, principalmente nas fases crítica, que são florescimento e enchimento de grãos, reduz seu potencial produtivo.

Esta redução no desempenho da cultura é relatada por Carlesso e Santos (1998), que ressaltam que o milho é tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, mas apresenta sensibilidade com decréscimo no rendimento se este ocorrer na fase de florescimento e enchimento de grãos, devido à expansão foliar, à redução do aproveitamento dos nutrientes do solo e à redução na área fotossintética das plantas. Estes autores, em condições experimentais, observaram um decréscimo de 25% de produção do milho, quando este sofreu déficit antes da emissão dos estigmas e de 50 % quando o déficit foi na fase de florescimento. Resende et al., (2003), observaram que durante os processos morfológicos e fisiológicos, a cultura do milho sofre perda significativas quando submetidas a condições de déficit hídrico, sendo que o déficit anterior à fase reprodutiva reduz a produtividade de 20 a 30%, no período reprodutivo, de 40 a 50 % e após esta fase, de 10 a 20 %.

Ainda, Yang et al., (1993) e Embrapa (1993), relataram que a deficiência hídrica no período vegetativo diminui o crescimento das plantas pela menor disponibilidade de CO₂, além de limitar os processos de alongação celular.

4.5 Componentes da produção, matéria seca total, índice de colheita e produção

A Tabela 12 apresenta, o número de irrigações, lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ (mm), irrigação total (mm), precipitação pluvial (mm) e total de água aplicada (irrigação + precipitação) (mm) ao longo do ciclo de desenvolvimento dos híbridos.

Tabela 12 – Irrigação e precipitação pluvial (mm) ao longo do ciclo da cultura do milho.

Nº de irrigações	Lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ (mm)	Irrigação total (mm)	Precipitação pluvial (mm)	Total de água aplicada (mm)
8	21,4	171,3	430,1	601,5

Através da Tabela 12 pode-se observar que foram realizadas oito irrigações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, com uma lâmina média aplicada.irrigação⁻¹ de 21,4 mm. A precipitação pluvial durante o ciclo da cultura foi de 430,1 mm, com um total de água aplicado, irrigação mais precipitação pluviométrica de 610,5 mm.

4.5.1 Híbrido BM 1120

A Tabela 13 apresenta os valores médios dos componentes de produção, para os diferentes setores, aos 124 dias após a emergência (DAE), com a aplicação da análise da variância e do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 13 - Valores médios dos componentes de produção para a variedade BM 1120 aos 124 DAE.

Setores	NPL ¹	NE ²	NGE ³	PMG ⁴
S1	7,40 a [*]	1,00 a	343,20 a	0,31 a
S2	6,00 a	1,00 a	370,00 a	0,39 a
S3	8,20 a	1,00 a	394,00 a	0,27 a
S4	8,40 a	1,00 a	466,80 a	0,25 a
S5	9,00 a	1,00 a	432,80 a	0,31 a
S6	8,40 a	1,00 a	488,00 a	0,32 a
Média	7,90	1,00	415,80	0,31
Desvio Padrão	1,06	0,00	56,47	0,05
CV (%)⁵	13,42	0,00	13,58	15,73

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a de 5%

¹NPL = Número de plantas.m⁻²

²NE = Número de espigas.planta⁻¹

³NGE = Número de grãos.planta⁻¹ (g)

⁴PMG = Massa seca média do grão(g)

⁵CV= coeficiente de variação.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12, observa-se que nenhum componente de produção apresentou diferença estatisticamente significativa.

O maior número de grãos.espiga⁻¹ foi obtido no setor S6 com uma média de 488,00 grãos.espiga⁻¹, e o menor valor foi observado no setor S1, com uma média de 343,20 grãos.espiga⁻¹. Bernardon (2005) em experimento irrigado, com a cultivar de milho AG 9020, obteve resultados semelhantes, com valores médios de 497 grãos.espiga⁻¹ aos 144 dias após emergência (DAE). Estes resultados também concordam com os obtidos por Bergonci et. al (2001) que encontrou 426,38 grãos.espiga⁻¹ em condições com suplementação hídrica para a cultura do milho. Argenta et. al (2001) obtiveram 501 e 524 grãos.espiga⁻¹ para os híbridos Cargill 901 e Braskalb XL 212 respectivamente, com uma população média de 50.000 plantas.m⁻², para um experimento conduzido no município de Eldorado do Sul, na região da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, no ano agrícola de 1997/1998.

O valor máximo de massa seca de grão foi obtido no setor S2 com 0,39 g, enquanto o setor S5 apresentou o valor mínimo, com 0,21 g. Resultados semelhantes foram obtidos por Parizi (2007), que encontrou média máxima de 0,30 g, em experimento com milho cultivar AGN 2012, sob diferentes estratégias de irrigação. Tabela 14 apresenta os valores médios de matéria seca e índice de colheita (IC), nos distintos setores, aos 124 DAE.

Tabela 14 - Valores médios de massa seca e índice de colheita (IC), em cada setor para a cultivar BM 1120 aos 124 DAE.

Setores	MC ¹	MF ²	MP ³	MS ⁴	MG ⁵	MPE ⁶	MST ⁷	IC
S1	88,60 b ⁻	34,16 bc	34,09 c	63,02 b	108,86 b	1,67 c	330,22 b	0,33
S2	98,00 ab	32,61 c	28,95 c	57,88 b	146,08 ab	1,76 c	365,28 ab	0,40
S3	100,40 a	34,24 bc	46,41 ab	75,34 b	108,37 ab	1,81 bc	366,57 ab	0,30
S4	104,80 a	45,95 a	48,18 ab	77,11 ab	117,50 ab	2,50 ab	396,04 ab	0,30
S5	111,20 a	45,80 a	48,48 ab	78,63 a	134,80 ab	2,65 ab	421,56 a	0,32
S6	107,40 a	55,86 a	49,70 a	77,41 ab	159,73 a	2,74 a	452,84 a	0,35
Média	101,73	41,44	42,64	71,57	129,19	2,19	388,75	0,33
Desv Pad.	7,99	9,27	8,82	8,82	21,17	0,49	44,06	0,04
CV (%)⁸	7,85	22,37	20,68	12,32	16,438	22,37	11,33	11,86

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, e nível de 5% de probabilidade de erro.

¹MC = Massa seca de colmo.planta⁻¹ (g)

²MF = Massa seca de folha.planta⁻¹ (g)

³MP = Massa seca de palha.planta⁻¹ (g)

⁴MS = Massa seca de sabugo.planta⁻¹ (g)

⁵MG = Massa seca de grãos.planta⁻¹ (g)

⁶MPE = Massa seca pendão.planta⁻¹ (g)

⁷MST = Massa seca total.planta⁻¹ (g)

⁸CV = coeficiente de variação

Através da Tabela 14 apresentada, nota-se que somente para massa seca de colmo.planta⁻¹ não houve diferença estatisticamente significativa, entre os diferentes setores. Observa-se que o setor S6 atingiu os maiores valores para, massa seca de folha.planta⁻¹ com 55,86 g , massa seca de palha.planta⁻¹ 49,70 g, massa seca de grãos.planta⁻¹ 159,73 g, massa seca de pendão.planta⁻¹ 2,74 g e a maior massa seca total.planta⁻¹ 452,84 g. Os setores S1 e S2 foram os que apresentaram os menores valores de massa seca total.planta⁻¹, com 330,22 g e 365,28 g respectivamente.

O índice de colheita apresentou uma média de 0,33, com os maiores valores observados nos setores S6 e S2. Valores semelhantes foram observados por Argenta et.al. (2001) nas cultivares Cargill 901 e Braskalb, com índices de colheita de 0,50 e 0,42, respectivamente. Aguiar et.al. (2003) verificaram índices de colheita de 0,44, 0,40, 0,34, 0,43 e 0,27 para as cultivares de milho AG1051, BR 473, BR 106, BR 2121 e Ferro, respectivamente, em experimento conduzido em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico, e sob diferentes manejos de irrigação. A Tabela 15 mostra a produção (kg.ha⁻¹) de matéria seca e grãos para cada setor, com seus respectivos valores de eficiência do uso da água (EUA), para o híbrido.

Tabela 15 - Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de matéria seca, produção de grãos e eficiência de água aplicada (EAA) nos diferentes setores para a cultivar BM 1120.

Setor	Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		EUA ¹ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
	Matéria seca	Grãos	
S1	24436,08	9087,60	4,06
S2	21916,98	9904,43	3,64
S3	30058,70	10041,52	5,00
S4	33267,32	11153,05	5,53
S5	37940,63	13709,42	6,31
S6	38038,44	15161,44	6,32
Média	30943,03	11509,58	5,14

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

Através da Tabela 15 pode-se observar que os setores que apresentaram os maiores valores de produção de matéria seca e de grãos, foram S6 e S5 com produção de grãos de 15161,44 e 13709,42 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente e produção de matéria seca de 38038,44 e 37940,63 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente, resultando em maior eficiência do uso da água nestes setores.

Resultados semelhantes são apresentados por Parizi (2007) em trabalho com milho sob diferentes estratégias de irrigação no município de Santiago-RS, onde obteve produtividade máxima de 12847,44 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aos 144 DAE, com uma eficiência do uso da água de 3,46 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Ainda esta mesma autora, observou uma média da eficiência do uso da água entre os diferentes tratamentos de 3,29 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, observando também que os maiores valores de EUA foram notados nos tratamentos que apresentaram maior produção de grãos. Peiter (1998) estudando a cultivar de milho P 3069 com diferentes estratégias de irrigação observou que as melhores estratégias de irrigação, conduziam a valores máximos da eficiência do uso da água, os resultados médios de EUA variaram entre 1,80 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ e 0,85 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. E segundo esta mesma autora, estes resultados destacam a importância da aplicação da água no momento adequado, pois a relação entre a produção de grãos e água evapotranspirada pode ser duplicada pelo uso de estratégias ótimas de irrigação.

A Tabela 16 traz os valores médios de disponibilidade hídrica, em cada setor, nos diferentes estágios fenológicos da cultura, com seus respectivos valores de produção (kg.ha⁻¹), com aplicação da análise da variância e do teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Tabela 16 - Valores médios da disponibilidade hídrica observada nos diferentes estágios fenológicos da cultivar BM 1120 para os distintos setores.

Set.	Disponibilidade hídrica (mm)												Prod. Kg.ha ⁻¹
	Estágios fenológicos												
	\bar{X}_{V4}^1	\bar{X}_{V8}^2	\bar{X}_{V15}^3	\bar{X}_{V20}^4	\bar{X}_{VT}^5	\bar{X}_{R1}^6	\bar{X}_{R2}^7	\bar{X}_{R3}^8	\bar{X}_{R4}^9	\bar{X}_{R5}^{10}	\bar{X}_{R6}^{11}	\bar{X}_{ciclo}	
S1	15,2 c	20,8 c	23,4 d	27,9 c	31,2 d	32,7 c	34,3 d	43,0 c	40,8 c	46,8 c	49,3 b*	33,2	9087,6
S2	21,8 bc	26,2 cd	25,1 d	26,9 c	34,9 d	38,6 bc	39,0 d	45,5 c	40,6 c	51,2 c	56,5 ab	37,0	9904,4
S3	44,8 ab	44,8 bc	39,4 cd	35,2 bc	35,5 d	51,3 abc	59,2 b	48,3 c	43,3 c	57,7 bc	64,6 ab	47,6	10041,5
S4	46,8 ab	50,8 b	52,4 bd	43,5 b	50,9 c	52,2 abc	57,4 b	65,0 b	60,4 b	64,9 b	75,1 ab	56,3	11153,1
S5	52,6 a	52,8 ab	66,4 ab	67,0 a	67,8 b	57,7 ab	48,7 c	71,7 b	73,9 a	80,8 a	82,0 ab	65,6	13709,4
S6	62,0 a	71,7 a	73,4 a	69,2 a	77,4 a	70,2 a	75,6 a	86,4 a	84,3a	89,7 a	102,5a	78,4	15161,4
Média	40,5	44,5	46,7	44,9	49,6	50,4	52,4	59,9	57,2	65,2	71,7	53,0	11509,6
Desv. Pad.	18,2	18,7	20,9	18,9	19,3	13,4	15,0	17,3	18,8	16,9	19,3	17,3	2404,1
CV (%)¹²	44,9	41,9	44,9	42,1	38,9	26,6	28,7	28,8	32,8	25,9	26,8	32,6	20,9

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, e nível de 5% de probabilidade de erro.

Set. = Setores.

¹V4 = Quatro folhas totalmente aberta

²V8= Oito folhas totalmente aberta

³V15 = Quinze folhas totalmente aberta

⁴V20 = Vinte folhas totalmente aberta

⁵VT = Pendão totalmente aberto

⁶R1 = Cabelo da boneca totalmente visível

⁷R2 = Grãos das espigas leitosos

⁸R3= Grãos das espigas pastosos

⁹R4 = Grãos das espigas farináceos

¹⁰R5 = Grãos das espigas farináceos duros (dentados)

¹¹R6 = Grãos das espigas em maturação fisiológica

¹²CV = coeficiente de variação.

Através da tabela 16 observa-se que no decorrer dos estágios fenológicos a disponibilidade hídrica foi se elevando, devido o aumento das exigências hídricas pela cultura, sendo que os maiores valores se encontram nas fases de florescimento e enchimento de grãos, que também são as fases mais sensíveis ao déficit hídrico.

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000) a deficiência de água, principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos é responsável pela redução do número de espigas do número de grãos na espiga e do peso de grãos, componentes diretamente envolvidos no rendimento. Jensen (1981), em um estudo com um híbrido precoce e três densidades de plantas, sob condições naturais e irrigação, encontraram que 71% da variação no rendimento de grãos foi causada pela variação na disponibilidade de água às plantas. A partir do desvio padrão, observa-se que a produção de grãos, apresentou variabilidade expressiva, entre os setores, com uma variação de 2.404,16 kg.ha⁻¹, em relação à média entre os setores.

A Figura 29 mostra graficamente a produção de grãos (kg.ha⁻¹) em relação ao total de água aplicada (mm) para a cultivar BM 1120.

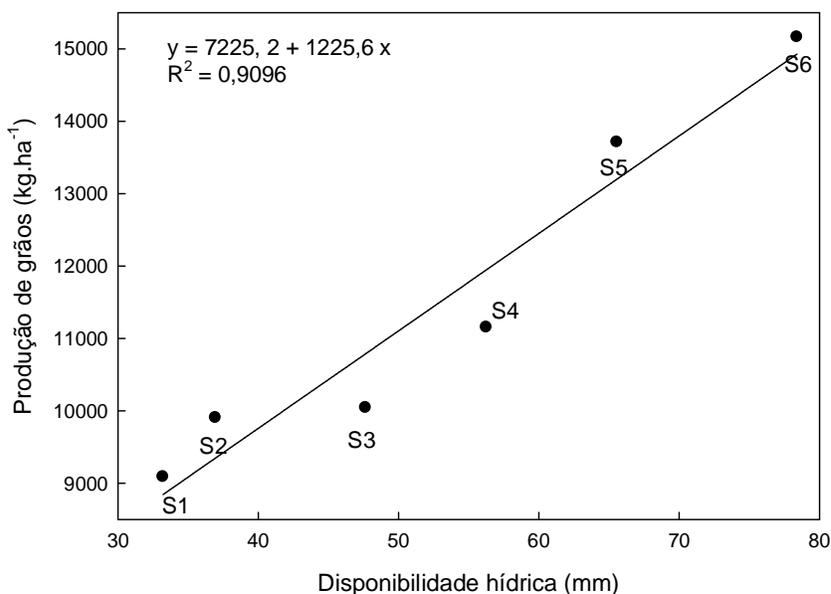


Figura 29 - Produção de grãos (kg.ha⁻¹) com relação a disponibilidade hídrica média (mm) para a cultivar BM 1120.

Através da Figura 29 pode-se observar que os setores que apresentavam melhores condições físicas e químicas, disponibilizaram maiores quantidades de água para as plantas, logo, nestas áreas foram observadas as maiores produções

Estudos desenvolvidos por Petersen et al., (1968) demonstraram que a disponibilidade de água nos solos está intimamente ligada com as suas características físicas e químicas. Uma vez que a disponibilidade de água é mínima em solos de textura arenosa, máxima nos solos de textura média com altos teores de silte e intermediária nos de textura mais fina. Solos argilosos costumam ser mais férteis que os arenosos, embora possam apresentar drenagem insuficiente (ZOBEL et al., 1987).

A partir da Figura 29, observou-se uma diferença na produção de grãos de 40 % entre o setor S1, com menor disponibilidade hídrica e uma produção de 9087,6 kg.ha⁻¹, e o setor S6, com a maior disponibilidade hídrica e produção de 15161,4 kg.ha⁻¹.

Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Farré et al., (2006) que obtiveram uma redução de 82 % na produtividade quando analisando a cultura do milho em sistema irrigado e não irrigado, a produção foi de 1082 g.m⁻² em condições irrigadas e 195 g.m⁻² em condições sem suplementação de irrigação, em experimento realizado em Zaragoza, Espanha.

Li et al., (2005) em um estudo comparativo em uma mesma área, sem irrigação suplementar e com irrigação suplementar na cultura do milho na província da China, encontrou que os tratamentos irrigados produziram um aumento na produção de grãos entre 43% e 55%.

4.5.2 Híbrido BM 1115

A Tabela 17 apresenta os valores médios dos componentes de produção, para cada setor aos 124 dias após emergência (DAE), com a aplicação da análise da variância e do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 17 - Valores médios dos componentes de produção para a variedade BM 1115 aos 124 DAE.

Setores	NPL ¹	NE ²	NGE ³	PMG ⁴
S1	9,00 a	1,00 a	324,40 ab	0,18 b
S2	8,40 a	1,00 a	313,20 b	0,26 ab
S3	8,60 a	1,00 a	396,80 ab	0,25 ab
S4	8,20 a	1,00 a	414,40 ab	0,26 ab
S5	9,20 a	1,00 a	405,60 ab	0,28 ab
S6	9,40 a	1,00 a	465,20 a	0,27 a
Média	8,80	1,00	386,60	0,25
Desvio Padrão	0,47	0,00	57,74	0,04
CV (%)⁵	5,34	0,00	14,94	15,21

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, e nível de 5% de probabilidade de erro.

¹NPL = Número de plantas.m⁻²

²NE = Número de espigas.planta⁻¹

³NGE =Número de grãos.planta⁻¹ (g)

⁴PMG = Massa seca média do grão(g)

⁵CV = coeficiente de variação

Observa-se na Tabela 17 diferença significativa para o número de grãos.planta⁻¹ e massa seca de grãos.planta⁻¹. Sendo que o valor médio para o NGE foi de 386,60g com valor máximo de 465,20g para o setor S6 e mínimo de 324,40g para o setor S1, para o PMG observou-se uma média de 0,25g, sendo que maior valor foi observado no setor S5. Resultados semelhantes foram encontrados por Bernardon (2005), em experimento conduzido com milho na região central do estado do RS, sob sistema de irrigação tipo pivô-central, observando uma média do número de grãos.planta⁻¹ de 470,33 para a cultivar P 32 R 21.

A massa seca média de grão foi máxima no setor S5 com 0,28 g e mínima de 0,17 g no setor S1, apresentando diferença estaticamente entre os setores. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Sangoi et al., (2005), que obteve uma média de 0,40 g de massa seca de grãos.planta⁻¹ para a variedade AG 303, em experimento conduzido em Lages –SC.

A Tabela 18 apresenta os valores médios de matéria seca e índice de colheita para cada setor aos 124 DAE, com aplicação da análise da variância e do teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Tabela 18 - Valores médios de massa seca e índice de colheita (IC), em cada setor para a cultivar BM 1115 aos 124 DAE.

Setores	MC ¹	MF ²	MP ³	MS ⁴	MG ⁵	MPE ⁶	MST ⁷	IC
S1	48,95 b [*]	22,70 ab	13,75 b	51,78 b	57,49 b	1,64 bc	196,34 c	0,29
S2	45,72 b	23,58 ab	15,40 ab	63,08 b	80,38 ab	1,67 bc	229,93 bc	0,35
S3	51,57 ab	16,42 b	17,78 ab	69,85 ab	99,37 ab	1,59 c	256,81 bc	0,39
S4	52,47 ab	17,27 ab	19,01 ab	73,23 ab	115,71 ab	2,42 ab	280,10 abc	0,41
S5	72,87 a	33,24 a	23,72 a	78,37 ab	113,03 ab	2,55 ab	323,88 ab	0,35
S6	66,34 ab	25,30 a	22,90 ab	79,18 a	124,75 a	2,65 a	321,22 a	0,39
Média	56,32	23,09	18,76	69,25	98,46	2,09	268,06	0,36
Desv. Pad.	10,75	6,11	3,98	10,41	25,32	0,50	50,62	0,04
CV (%)⁸	19,09	26,46	21,22	15,03	25,72	23,92	18,88	11,69

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5%.

¹MC = Massa seca de colmo.planta⁻¹ (g)

²MF = Massa seca de folha.planta⁻¹ (g)

³MP = Massa seca de palha.planta⁻¹ (g)

⁴MS = Massa seca de sabugo.planta⁻¹ (g)

⁵MG = Massa seca de grãos.planta⁻¹ (g)

⁶MPE = Massa seca de pendão.planta⁻¹ (g)

⁷MST = Massa seca total.planta⁻¹ (g)

⁸CV = coeficiente de variação.

A partir da Tabela 18 apresentada, observa-se que todos os componentes da massa total da planta apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os setores analisados. Os valores máximos de massa seca de sabugo.planta⁻¹, massa seca de grãos.planta⁻¹, massa seca de pendão.planta⁻¹ e massa seca total.planta⁻¹, foram observados no setor S6, com médias de: 79,18; 124,76; 2,65 e 321,22 g, respectivamente. O setor S1 apresentou os menores valores para massa seca total.planta⁻¹, com valores médios para massa seca de folha.planta⁻¹, massa seca de palha.planta⁻¹, massa seca de sabugo.planta⁻¹, massa seca de grãos.planta⁻¹, massa seca de pendão.planta⁻¹ de: 22,70; 13,75; 51,78; 57,49; 1,64 g, respectivamente.

O índice de colheita apresentou uma média de 0,36. Com o maior valor observado no setor S4 com 0,41. Valores semelhantes foram observados por Parizi (2007) em experimento com uma população média de 8,80 plantas.m⁻², encontrou para a cultivar AGN 2012 um índice de colheita médio de 0,30.

A Tabela 19 mostra a produção (kg.ha⁻¹) de matéria seca e grãos para cada setor com seus respectivos valores de eficiência do uso da água (EUA) para a cultivar BM 1115.

Tabela 19 - Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de matéria seca, produção de grão e eficiência de água aplicada (EAA) nos diferentes setores para a cultivar BM 1115.

Setor	Produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)		EUA ¹ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
	Matéria seca	Grãos	
S1	17670,94	5847,12	2,94
S2	19313,81	7630,27	3,21
S3	22085,52	9657,59	3,67
S4	22975,53	10721,63	3,82
S5	29796,97	11750,61	4,95
S6	30194,45	13251,75	5,02
Média	23672,82	9809,83	3,94

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

Através da Tabela 19 pode-se observar que os setores que apresentaram os maiores valores de produção de matéria seca e de grãos, foram S6 e S5 com uma produção de grãos de 13251,75 e 11750,61 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente e 30194,45 e 29796,97 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de matéria seca respectivamente, estes setores apresentaram as maiores eficiências de uso da água, 5,02 e 4,95 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

A eficiência do uso da água (EUA) apresentou uma média de 3,94 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, sendo que os maiores valores de EUA para a cultura foram observados nos tratamentos que apresentaram a maior produção de grãos e matéria seca, enquanto o menor valor foi obtido no setor S1 com EUA de 2,94 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. De acordo com Doorembos e Kassan (1979), a eficiência da água pelas culturas agrícolas depende, especialmente, das características físicas e químicas do solo, das condições atmosféricas, do estado nutricional das plantas, de fatores fisiológicos, da natureza genética e de seu estágio de desenvolvimento.

A Tabela 20 traz os valores médios de disponibilidade hídrica de cada setor, nos diferentes estágios fenológicos da cultura, com seus respectivos valores de produção ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), com aplicação da análise da variância e teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Tabela 20 – Valores médios da disponibilidade hídrica observada nos diferentes estágios fenológicos da cultivar BM 1115 para os distintos setores.

Set.	Disponibilidade hídrica (mm)											Prod. Kg.ha ⁻¹	
	Estágios fenológicos												
	\bar{X}_{V4}^1	\bar{X}_{V8}^2	\bar{X}_{V15}^3	\bar{X}_{V20}^4	\bar{X}_{VT}^5	\bar{X}_{R1}^6	\bar{X}_{R2}^7	\bar{X}_{R3}^8	\bar{X}_{R4}^9	\bar{X}_{R5}^{10}	\bar{X}_{R6}^{11}	\bar{X}_{ciclo}	
S1	22,5 e ⁺	28,4 e	28,3 d	23,1 e	31,1 d	30,7 c	37,7 d	33,9 e	29,5 d	47,3 c	33,4 d*	31,4	5847,1
S2	34,0 d	37,0 d	25,8 d	32,8 d	44,3 c	40,8 bc	39,4 d	39,6 d	31,3 d	51,8 bc	46,5 c	38,5	7630,3
S3	37,4 d	47,0 c	51,0 c	45,2 c	55,5 b	50,3 ab	45,2 c	50,2 c	55,5 c	53,0 bc	59,1 c	49,4	9657,9
S4	45,5 c	46,9 c	58,9 b	45,8 c	54,4 b	63,5 a	57,6 b	58,1 b	77,5 b	70,9 ab	72,1 b	58,7	10721,6
S5	61,8 b	58,3 b	61,9 b	56,5 b	73,9 a	63,8 a	59,6 ab	64,6 a	89,7 b	72,2 a	79,9 b	67,5	11750,6
S6	72,2 a	74,6 a	69,3 a	74,1 a	74,5 a	69,7 a	63,4 a	70,1 a	90,6 a	79,4 a	98,1 a	77,2	13251,7
Média	45,6	48,7	49,2	46,3	55,6	53,3	50,5	52,8	62,4	62,4	64,8	53,8	9809,8
Desv. Pad.	18,5	16,2	18,2	17,9	16,7	15,3	11,1	14,2	27,8	13,3	23,4	17,4	2717,4
CV (%)¹²	40,5	33,4	36,9	38,7	30,3	28,7	21,9	26,9	44,6	21,3	36,1	32,4	27,7

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, e nível de 5% de probabilidade de erro.

Set. = Setores

¹V4 = Quatro folhas totalmente abertas

²V8= Oito folhas totalmente abertas

³V15 = Quinze folhas totalmente aberta

⁴V20 = Vinte folhas totalmente abertas

⁵VT = Pendão totalmente aberto

⁶R1 = Cabelo da boneca totalmente visível

⁷R2 = Grãos das espigas leitosos

⁸R3= Grãos das espigas pastosos

⁹R4 = Grãos das espigas farináceos

¹⁰R5 = Grãos das espigas farináceos duros (dentados)

¹¹R6 = Grãos das espigas em maturação fisiológica

¹²CV = coeficiente de variação.

Conforme a Tabela 20 pode-se notar que durante todo o ciclo de desenvolvimento do híbrido BM 1120 o setor S6 apresentou os maiores valores de disponibilidade hídrica, com uma média de 77,2 mm, enquanto o setor S1 teve a menor disponibilidade de água para as plantas, 31,4 mm. A partir do desvio padrão, observou-se uma variabilidade, na produção, entre os setores, de 2717,41 kg.ha⁻¹.

Observou-se no decorrer dos estágios fenológicos que a disponibilidade hídrica no solo, foi se elevando, devido o aumento das exigências hídricas pela cultura, e os maiores valores se encontram nas fases de florescimento e enchimento de grãos, que também são as fases mais sensíveis ao déficit hídrico.

Em estudo sobre o efeito de diferentes períodos de irrigação no desenvolvimento, produção e qualidade das sementes da cultura do milho, Galbiatti et al., (2004) verificaram que o período de deficiência hídrica durante o período vegetativo foi mais prejudicial à cultura e à produção e não afetou a qualidade fisiológica das culturas. Yang et al., (1993) encontraram resultados semelhantes em que a deficiência hídrica durante o período vegetativo do milho, prejudicou o desenvolvimento reprodutivo, conseqüentemente reduziu seu rendimento. Silveira (2002) afirmou que a fase reprodutiva apresenta a maior exigência de água pela cultura do milho.

A Figura 30 mostra a produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação ao total de água aplicada (mm) para a cultivar BM 1115.

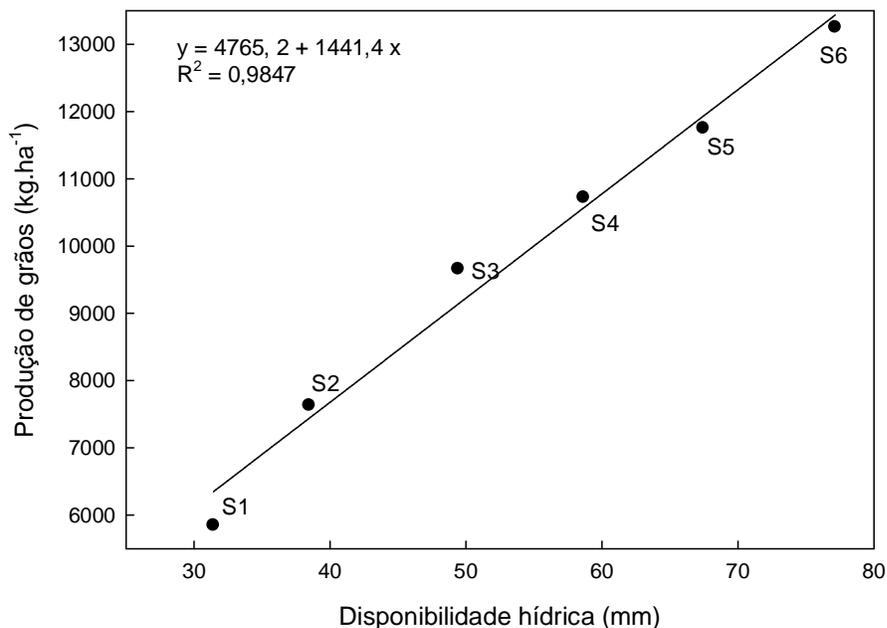


Figura 30 - Produção de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) com relação disponibilidade hídrica média (mm) para a cultivar BM 1115.

Através da Figura 30 pode-se observar que os setores que apresentavam melhores condições físicas e químicas disponibilizaram maiores quantidades de água para as plantas, logo, nestas áreas foram observadas as maiores produções de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nota-se uma diferença na produção de 56 % entre o setor S1, com menor disponibilidade hídrica apresentando uma produção de $5847,12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, e o setor S6, com a maior disponibilidade hídrica e uma produção de $13251,74 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Bergonci et. al (2001) na safra agrícola do ano de 1993/1994 em experimento conduzido na região de Eldorado do Sul, RS, comparando sistemas irrigados e não irrigados, observou resultados semelhantes, com uma redução de 63,30% da produção, sendo que no sistema irrigado a produção foi de $11.950 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e, $4.384 \text{ Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em sistema sem incremento de irrigação.

5 CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia utilizada e nas condições em que o trabalho foi realizado pode-se concluir que:

- ✓ A área de 4,35 ha apresentou variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas e químicas do solo.

- ✓ Deve-se considerar a área por menor que ela seja de forma heterogênea, realizando a divisão em subáreas para a aplicação precisa dos tratos culturais e manejo da irrigação.

- ✓ É indispensável à interpretação de forma heterogênea das propriedades agrícolas para obtenção da máxima produção da área.

- ✓ A disponibilidade hídrica do solo está relacionada com as características físicas do solo.

- ✓ Os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e os componentes de produção da cultura do milho, apresentaram variabilidade espacial e temporal.

- ✓ Devido à variabilidade da área, a cultura do milho apresentou uma variação na produção de 56 % para o híbrido BM 1115 e 40 % na variedade BM 1120.

- ✓ O setor S6 apresentou as melhores condições físico-hídricas e químicas para o desenvolvimento da cultura, logo, esta área apresentou maior produção de grãos, comparada com o restante da área cultivada.

- ✓ A maior eficiência de água aplicada para as variedades BM 1120 e BM 1115 foram observadas no setor S6 com valores de 6,32 e 5,02 kg.m⁻³ respectivamente.

Sugestão:

Com base nos resultados encontrados, sugeriu-se para trabalhos futuros, a aplicação espacialmente diferenciada das lâminas de irrigação, dentro de uma mesma área, levando-se em consideração a variabilidade das características físico-hídricas do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOCK, B.; PACHEPSKY, Y. Holes in precision farming: mechanistic crop models. In:_____.**Precision Agriculture**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1997. p. 397-404.

AGUIAR, A. C. F.; MOURA, E. G. de. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade protéica em solo de baixa fertilidade. **Revista Bragantia**, v.62, n.3, p. 429 – 435, 2003.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Uso de planilha eletrônica para a programação da irrigação na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 24 p. (Circular Técnica, n. 5).

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

ANDRADE, C.L.T. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da disponibilidade de água em um latossolo vermelho-escuro argiloso álico da região de sete lagoas (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 351-356, 1991.

ANDREOTTI, M. et al. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 145-150, 2001.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, SC : SBCS/Núcleo Regional Sul, 1998. p. 27-52.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. da.; SANGOI, L. Arranjos de plantas em milho: análise do estado – da – arte. **Revista Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 1075 – 1084, 2001.

ARGENTA, G. et al. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, v. 4, n. 1-2, p. 27-34, 2003.

ARNOLD, J. G.; STOCKLE, C. O. Simulation of supplemental irrigation from on-farm ponds. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.3, p.408-423, 1991.

AVELAR, B. C. Ciclo de crescimento e desenvolvimento de três cultivares de milho e oito épocas de plantio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., 1986. Belo Horizonte. **Anais...** Belo horizonte: Embrapa – CNPMS, 1986. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicações>>. Acesso em: 20 ago 2008.

AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução.** Santa Maria: Pallotti, 2004. 100p.

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

BALDO, M. N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agromônico do milho (*Zea Mayz L.*) submetido a estresses de ambiente em diferentes estágios fenológicos.** 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, São Paulo, 2007.

BASTOS, E. A. **Determinação dos coeficientes de cultura da alface (*Lactuca sativa L.*).** 1994. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 1994.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas.** 2. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2003. 41 p.

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

BERG, M. V. D.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de características de solos na região do planalto médio, RS: I. análise da variância por amostragem aninhada. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 21, p. 393 – 399, 1997.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.

BERGONCI, J. I. et al. Irrigation efficiency for grain and dry matter yields of maize crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 949 – 956, 2001.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de

Penman, evaporação do tanque "classe A" e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 243-259, 1986.

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.

BIOMATRIX SEMENTES. Produtos. Disponível em: <http://www.biomatrix.com.br/br/produtos.php>. Acesso em: 15 ago 2008.

BLACKMORE, B. S. **An information system for precision farming**. Silsoe, Inglaterra: Cranfield University, 1996. p. 09.

BLEVINS, R. L., et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil and Tillage Research**, v. 3, n. 2, p. 135-146, 1983.

BORÉM, A. et al. **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 108 p.

BORGES, I. D. **Avaliação de épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, fontes de nitrogênio e de espaçamento entre fileiras na cultura do milho**. 2003. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2003.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 120 p.

BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1993.

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.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como

fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 509-515, 1996.

CANZIAN, E. et al. **Projeto de um monitor de semeadora com GPS para pesquisa em agricultura de precisão**, 1999. Disponível em: <http://www.pcs.usp.br/~laa/projetos>. Acesso em: 27 Julho 2008.

CAPELLI, N. L. **Agricultura de precisão: novas tecnologias para o processo produtivo**. São Paulo: LIE/DMAQAG/ FEAGRI/UNICAMP, 1999. Disponível em: <http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc> . Acesso em: 3 maio 2008.

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

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

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

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 47-53, 2004.

CARVALHO, M. A. P. et al. **Avaliação do crescimento da parte aérea de plantas de milho (zea mays l.) submetidas a aplicação de uréia e aminoácidos como fontes de nitrogênio**. Disponível em: http://www.ufpel.edu.br/cic/2004/arquivos/CA_00432.rtf. Acesso em: 15 set. 2008.

CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, SP, POTAFOS, 1987. 249 p.
CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre, RS, UFRGS, 1992. 200 p.

CERETTA, C. A.; SILVEIRA, M. J. da. Manejo da fertilidade do solo para altas produtividades. In:_____ **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, Ed. UFSM, 2001. p. 10-19.

CHÁVEZ, J. L. et al. **Performance of a continuous move irrigation control and monitoring system**. Oregon: ASABE, 2006. 12 p.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA, Disponível em: www.cib.org.br. Acesso em: 13 agosto de 2008).

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 06 out. 2008.

CORÁ, J. E. **The potential for site-specific management of soil and corn yield variability induced by tillage**. 1997. 104 f. Tese (Doutorado em Crop and Soil Science) - Michigan State University, 1997.

COUTO, E. G.; STEIN, A.; KLAMT, E. Large area variability of soil chemical properties in central Brasil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 66, n. 2, p. 139 - 152, 1997.

DENMEAD, O. T., SHAW, R. H. Evapotranspiration in relation to the development of the corn crop. **Agronomy Journal**, v. 51, p. 725-726, 1959.

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

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

DOSS, B. D., BENNET, O. L., ASHLEY, D. A. Evapotranspiration by irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 497-498. 1962.

DOURADO NETO, D. et al. Aplicação e influencia do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia**. v. 11, n. 1, p. 93 – 102, 2004.

DOURADO NETO, D et al. Aspecto de morfologia e de produtividade em milho, afetados por herbicidas em duas épocas de aplicação. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 10, n. 1, p. 188-201, 2004.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura do arroz irrigado (*Oryza Sativa L.*)**. 2007. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: Embrapa – Milho, 1993. 204 p.

_____. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Sistema de Produção de Informação, 1999.

_____. **Cultivo do milho**, 2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>. Acessado em : 15 set. 2008.

EMYGDIO, B. M. **Avaliação da performance agronômica do híbrido de milho BRS 1001 no RS**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2003. 6 p. (Circular Técnica, n. 114).

ENGLISH, M. NAKAMURA, B. Perspective on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 32, p. 1 – 14, 1989.

ENGLISH, M.; RAJA, S. M. Effects of deficit irrigation and irrigation frequency on wheat yields. **Jornal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.115, n. 2, p. 172 – 184, 1996.

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.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. 1. ed. Piracicaba, SP: Fundação de Estudos Agrários "Luiz de Queiroz", 1999. 243 p.

_____; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Porto Alegre: Agropecuária, 2000. 360 p.

FARRÉ, I.; FACI, J. M. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural water management**, v. 83, n. 1, p. 135 – 143, 2006.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

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

FRAISSE, C. W., HEERMANN, D. F., DUKE, H. R. Simulation of variable water application with linear-move irrigation systems. **Transactions ASAE**, v. 38, n. 5, p. 1371-1376, 1995.

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.

FURTADO, F. L. **Efeito da eficiência hídrica no desenvolvimento da cultura do milho em diferentes texturas do solo**. Cascavel. 2004. 34 f. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste.

FRITSCHEN, L. J.; SHAW, R. H. A thermocouple-type anemometer and its use. **Bull. American Meteorological Society**, v. 42, n. 1, p. 42-46, 1961.

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

GOMES, E. P.; TESTEZLAF, R. **Manejo de irrigação na tomaticultura de mesa**, 2004. Disponível em: <http://www.agr.unicamp.br/tomates/irrigacaoerecursososhidricos.htm>. Acesso em: 12 set. 2008.

GORDON, W. B.; RANEY, R. J.; STONE, L. R. Irrigation management practices for corn production in north central Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, n. 4, p. 395-398, 1995.

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.

GUERRA, A. F.; SILVA, D. B. da; RODRIGUES, G. C. Irrigation timing and nitrogen fertilization for common bean crop in the cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1229 – 1235, 2000.

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

JENSEN, M. E. Summary and challengers. In: CONFERENCE IRRIGATION SCHEDULING, 2., Chicago, 1981. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1981. p. 225.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph, Madison: American Society of Agricultural Engineers, 1983. 829 p.

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.

KLAR, A. E. **A influência do solo e do clima nas necessidades hídricas da cultura da cebola**. Botucatu, 1974. 171 f. Tese (Livre-docência) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1974.

KLEPKER, D.; ANGHINOMI, I. Características físicas e químicas do solo, afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 395 – 401, 1995.

LAMM, G. L.; MANGES, H. L.; STONE, L. R. Water requeriment of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansan. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 2, p. 441 – 448, 1995.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

LI, Q. S. et al. Crop water deficit estimation and irrigation scheduling. **Water Management**, v. 71, n. 1, p. 47–60, 2005.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 2311-2320, 1999.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Brasília, 1989. 95 p.

LOMAS, J.; SCHLESINGER, E.; LEWIN, J. Effects of environmental and crop factors on the evapotranspiration rate and water use efficiency of maize. **Agricultural Meteorology**, v.13, p. 239-251, 1974.

LOOMIS, R. J.; AMTHOR, J. S. Yield potential, plant assimilatory capacity and metabolic efficiencies. **Crop Science**, v. 39, n. 6, p. 1584-1596, 1999.

LUCENA, L. F. C. et al. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.

MAGALHÃES, P. C.; PAIVA, E. Fisiologia da Produção. In: CRUZ, J. C. et al. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: EMBRAPA, 1993. p. 85-95

MAGALHÃES, A. F. J. **A importância da análise química de solo**, 2007. Disponível em: <http://www.abam.com.br/artigos/Artigo%20-%20A%20IMPORT%20ANCIA%20DA%20AN%20LISE%20QU%20CDMICA%20DE%20SOLO.doc>. Acesso em: 10 de ago 2008.

MALAVOLTA, E.; VITII, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1997. 319 p.

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

MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da. (Coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 109-157.

_____; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 318 p.

MANZATTO, C. V.; BHERING, S. B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão**: propostas e ações da Embrapa solos. EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01>. Acesso em: 20 ago. 2008.

MARINATO, R. Irrigação em milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 72, p. 42-45, 1980.

MATZENUER, R. Estimativa da evapotranspiração do milho através de parâmetros meteorológicos. **Agronomia Sul-riograndense**, v. 20, n. 1, p. 133 – 144, 1984.

MATZENUER, R.; BERGAMASCH, H.; BERLATO, M. A. Evapotranspiração da cultura do milho. II: relações com a evaporação do tanque classe “A”, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de Semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 15-21, 1988.

MATZENUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. 1994. 172 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

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.

MENEGHETTI, A. M. **Manejo da irrigação para produção do mini-milho através do tanque classe A**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

MOLIN, J. P. et al. Acurácia de um monitor de produtividade com sensor de fluxo volumétrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBEA, 2000. 1 CD-Rom.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão**: o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba, SP: [s.n.], 2001. 83 p.

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

NÓBREGA, J. Q. et al. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

OHYAMA, K., H. et al. A precise irrigation system with an array of nozzles for plug transplant production. **Transactions of the ASAE**, Michigan. v. 48, n. 1, p. 211-215, 2005.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.

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

PAZ, V. P. S. et al. Redução da receita líquida por déficit ou excesso de água na cultura do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 9, p. 869-875, 1997.

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

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

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. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, M. R. R. et al. Influencia de solos de diferentes texturas no desenvolvimento de plantas anuais submetidas a déficit hídrico. **Revista Irriga**, v. 13, n. 2, p. 249 – 260, 2008.

PETERSEN, G. W. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: i moisture retention as related to texture. **Soil Science**, v. 32, p. 271-275, 1968.

PIERCE, F. J. A. et al. **Remote-Real-Time continuous move irrigation control and monitoring system**. ASABE: Oregon, 2006. 12 p.

PIONEER SEMENTES: sementes de milho, sorgo e soja. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/>. Acesso em: 10 out. 2008.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, PR: Salesward-discovery, 1996. 446 p.

QUEIROZ, D. M. de; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: Borém et al. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: A. Borém, 2000. p. 1-42.

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.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta atmosfera**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1. ed. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 1996. 160 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 27, n. 2, p. 29 – 48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**, 2006. Disponível em: http://w3.ufsm.br/msrs/Textos%20download/Apresentacoes%20aulas%20palestras/Propriedades%20fisicas%20do%20solo%20-%20Reichert_Reinert.pdf. Acesso em: 12 set. 2008.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317 p.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 1989. 21 p. (Special Report n. 48).

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J. BENSON, G. O. Como a planta de milho se desenvolve. **Arquivo do Agrônomo**, v. 133, n. 15, p. 1-20, 2003.

ROMANO, M. R. **Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante**: parâmetros para modelos de crescimento. 2005. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2005.

ROZA, D. **Novidade no campo**: geotecnologias renovam a agricultura. Revista InfoGEO, n 11, 2000. Disponível em. <http://www.infogeo.com.br/Revista/>. Acesso em: 12 set. 2008.

RUNGE, E. C. A.; HONS, F. M. Precision agriculture: development of a hierarchy of variables influencing crop yields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Minnesota, 1998. **Proceedings...** Madison: ASA-CSSA- SSSA, 1999. p. 143-158.

RUVIARO, C. **Manejo da irrigação e viabilidade econômica para a produção de silagem de milho e sorgo**. 2003. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

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.

SAAD, J. C. C.; SCALOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração potencial. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., Florianópolis, SC, 1988. **Anais...** Florianópolis, SC: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988. v. 2, p. 999-1021.

SADLER, E. J. et al. Irrigation system for coastal plain soils. **Precision Agriculture**, Minneapolis, v.1, n. 2, p. 827-834, 1996.

SANGOI, L. et al. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 11, n. 1, p. 25-31, 2005.

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.

SANTOS, H. L.; VASCONCELOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, n. 1, p. 97-100, 1987.

SANTOS, A. O.; PRADO, H., Análise de interações solo-planta-clima em zonas diferenciadas de área de cultivo de milho, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p 101–106, 2002.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p.85-91, 2000.

SCHUELLER, J. K. A review and integrating analysis of Spatially-Variable Crop Control of crop production. **Fertilizer Research**, v. 33, n. 1, p.1-34, 1992.

SEARCY, S. W. **Precision farming**: a new approach to crop management. Texas: Agricultural Extension Service, 1997. p. 4. Disponível em. <http://agpublications.tamu.edu/pubs/eengine/15177>. Acesso em: 18 set. 2008.

SEDIYAMA, G. C. Necessidades de água para os cultivos. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO SUPERIOR. **Curso de engenharia de irrigação**. Brasília, 1987. 413 p. (Curso de Especialização por Tutoria à Distância, módulo 4).

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

SENAY, G. B. et al. Manipulation of high spatial resolution aircraft remote sensing data for use in site-specific farming. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v. 41, p. 489-495, 1998.

SENTELHAS, P. C. et al. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 357-376, 2001.

SETA, A. K. et al. Reducing soil erosion and agricultural chemical losses with conservation tillage. **Jornal of Environmental, Quality**, v. 22, n. 4, p. 661-665, 1993.

SCHUNG, E. et al. Yield mapping and application of yield maps to computer-aided local resource management. In: I PROC. SOIL SPECIFIC CROP MANAGE. Madison, **Proceedings...** Am. Society of Agronomy, 1993.

SILVA, C. R. et al. Variabilidade espacial da área foliar e sua influência na aplicação de água em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, Cordeirópolis, v.24, n.2, p.459-469, 2003.

SILVEIRA, M. J. **Produtividade e análise econômica da utilização de nitrogênio e potássio em milho irrigado por aspersão**. 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

SILVEIRA, M. H. D. **Manejo da irrigação e da cultura nitrogenada em minimilho (Zea mays. L)**. 2003. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2003.

SOARES NETO, J. P. **Avaliação dos limites de consistência, curvas de compactação, resistência a penetração, porosidade, condutividade hidráulica saturada e retenção, armazenamento e disponibilidade de água de solos coesos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia**. 1999. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual da Bahia, Bahia, BA, 1999.

SOARES NETO, J. P. **Caracterização hídrica de três latossolos e três neossolos quartzarênicos dos cerrados do oeste da Bahia**. Disponível em: http://www.seia.ba.gov.br/SGDIA/transarq/arquivos/Projetos%20Base%20Cerrado/Projetos%20Apoiados%20pela%20Base%20Cerrado/Download/PROJ_RETEN%C3%87AO_AGUA_PROF_JOAQUIM.pdf. Acesso em: 18 set. 2008.

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.

SOUZA, L. **Variabilidade Espacial do Solo em Sistemas de Manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Eds) Tecnologia de produção do milho. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v.1, p.13-53, 2004.

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

STORCK, L. **Experimentação vegetal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2006. 198 p.

STRECK, C. A. et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

TABBAGH A. et al. Soil resistivity: a non-invasive tool to map soil structure horization. **Geoderma**, v. 97, p. 393-404, 2000.

TAN, C. S.; FULTON, J. M. Ratio between evapotranspiration of irrigated crops from floating lysimeters and Class A pan evaporation. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 60, p. 197-201, 1980.

THURLER, A. M. **Estimativa da macro e da microporosidade através da granulometria e densidades de partículas e do solo**. Piracicaba, SP, 1989, 66 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Carlos, SP, 1989.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistema agrícolas**. Londrina: EMBRAPA. 1999. 58 p. (Circular Técnica, n. 23).

TORRE NETO, A., SCHUELLER, J. K., HAMAN, D. Z. **Networked sensing and valve actuation for spatially variable microsprinkler irrigation**. St. Joseph, Michigan: ASAE Paper, 2000. n. 001158.

TORRE NETO, A. **Sistema para irrigação de precisão em citricultura**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2001. 4 p. (Boletim Técnico).

TSUMANUMA, G. M. **Desempenho do milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2004.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).

VOLPE, C. A.; CHURATA-MASCA, M. G. C. **Manejo da irrigação em hortaliças: método do tanque Classe A.** Jaboticabal, SP: FUNEP, 1988. 19 p.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics.** New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.

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.

YAMADA, T. Manejo do nitrogênio na cultura do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho.** Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. p. 121-130.

YANG, C. M.; FAN, M. J.; HSIANG, W. M. Growth and yield responses of maize (*Zea mays* L.) to soil water deficits. II: effects of water deficit timing and strength. **Journal Agricultural Research**, v. 42, n. 2, p. 173 – 176, 1993.

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

ZOBEL, B. J.; Van W. Y. K, G.; STAHL, P. **Growing exotic forest.** New York: John Willey & Sons. 1987. 508 p.