

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NA CULTURA DO MILHO EM  
FUNÇÃO DE MANEJO DO SOLO, ARRANJO DE PLANTAS E CONDIÇÃO  
HÍDRICA**

Dissertação de Mestrado

Jefferson Horn Kunz

Porto Alegre, 2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NA CULTURA DO MILHO EM  
FUNÇÃO DE MANEJO DO SOLO, ARRANJO DE PLANTAS E CONDIÇÃO  
HÍDRICA**

Jefferson Horn Kunz  
Engenheiro Agrônomo (UFSM)

Dissertação apresentada como um dos  
requisitos à obtenção do Grau de  
Mestre em Fitotecnia,  
Área de concentração Agrometeorologia

Porto Alegre, RS, BRASIL  
Maio de 2006

## **FOLHA DE HOMOLOGAÇÃO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Artemio (*in memoriam*) e Madalena pelo amor, dedicação e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, que proporcionaram minha formação humana, educacional e profissional. Agradeço também aos meus irmãos Laerte e Sustanis, que de uma forma ou outra participaram desta conquista.

Ao professor João Ito Bergonci, agradeço pela amizade, estímulo, orientação e aos conhecimentos transmitidos, fundamentais na construção do saber.

Ao professor Homero Bergamaschi, agradeço a orientação e todos os ensinamentos transmitidos.

Aos professores do Departamento de Agrometeorologia, Moacir A. Berlato e Denise Fontana pelo carinho recebido, pela colaboração para a realização deste trabalho.

Ao colega e amigo Genei A. Dalmago pela valiosa colaboração durante o desenvolvimento do trabalho de campo e ajuda prestada na dissertação.

Aos grandes amigos Alaerto e Geisebel Marcolan pela amizade e convivência harmoniosa neste dois anos em que moramos juntos.

A todos os amigos e colegas de mestrado, em especial a Lucieta Martorano, Regis L. Baptista, Tatiana Almeida, Loana Cardoso, Janice Leivas e Cleusa Bianchi, pelo agradável e feliz convívio.

Aos eternos amigos Daniel e Felipe Graichen, André Kuhn Raupp, Alexandre e Marcelo, pela amizade e companheirismo.

A todos os professores do curso, pela colaboração e orientação.

As colegas e amigas Flavia Comiram e Bruna M. M. Heckler, pela colaboração com os trabalhos experimentais e amizade.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia e à Coordenação de Aperfeiçoamento ao Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da Bolsa e possibilidade de realização deste Curso.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente auxiliaram na realização deste trabalho.

E a Deus, principal responsável por mais esta etapa da minha vida.

# DISTRIBUIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE MANEJO DO SOLO, ARRANJO DE PLANTAS E CONDIÇÃO HÍDRICA<sup>1</sup>

Autor: Jefferson Horn Kunz  
Orientador: Dr. João Ito Bergonci  
Co-orientador: Dr. Homero Bergamaschi

## RESUMO

Fatores como a condição hídrica da planta alterada por sistemas de manejo do solo e a radiação solar podem interferir diretamente nos processos fisiológicos das plantas, afetando o acúmulo de matéria seca e o rendimento final da cultura. Os objetivos deste trabalho foram avaliar mudanças na arquitetura foliar do milho, na eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e na eficiência de uso da RFA pela cultura do milho, em diferentes sistemas de manejo do solo, arranjos de plantas e níveis de irrigação. Um experimento foi conduzido em Eldorado do Sul, RS, em 2004/05, utilizando-se o híbrido Pioneer 32R21. Conduziu-se em sistemas de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), combinados com dois níveis de irrigação (irrigado e não irrigado) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8 m entre linhas de semeadura). Um conjunto de três sensores media RFA transmitida ( $RFA_t$ ) pela cultura em cada tratamento, enquanto que um sensor instalado acima da cultura media RFA incidente ( $RFA_{inc}$ ). Mediu-se também o ângulo de inserção e a curvatura da parte mediana das folhas. O sistema plantio direto proporcionou maior eficiência de interceptação de RFA ( $\varepsilon_{int}$ ) em relação ao preparo convencional. A redução da distância entre linhas também aumentou  $\varepsilon_{int}$ . Entretanto, não se verificou alteração na arquitetura foliar do milho entre os sistemas de manejo do solo, mesmo em espaçamentos reduzidos. O déficit hídrico provocou diminuição de  $\varepsilon_{int}$ , devido à redução do índice de área foliar e ao enrolamento das folhas. Este efeito foi maior em preparo convencional, causando valores mais baixos de  $\varepsilon_{int}$ . Aumento de  $\varepsilon_{int}$  em espaçamento reduzido não resultou em maior eficiência de uso de RFA. Não se observou diferenças no rendimento de grãos do milho em função de preparo do solo, mesmo no espaçamento de 0,4 m, que teve alteração de  $\varepsilon_{int}$ .

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (120 p.) Maio, 2006.

# DISTRIBUTION OF SOLAR RADIATION IN MAIZE CROPS AS FUNCTION OF SOIL TILLAGE, PLANTS DISTRIBUTION AND WATER CONDITIONS<sup>1</sup>

Author: Jefferson Horn Kunz  
Advisor: Dr. João Ito Bergonci  
Co-Advisor: Dr. Homero Bergamaschi

## ABSTRACT

Factors such as plant water status modified by the soil management systems and solar radiation may interfere directly in physiological processes of plants, so affecting the accumulation of dry matter and the final crop yield. The objectives of this work were to evaluate alterations in the foliar architecture of maize, the efficiency of interception of photosynthetically active radiation (PAR), and the efficiency of PAR use by maize crops in different tillage systems, plant distributions and levels of irrigation. A field experiment was carried out in Eldorado do Sul, Brazil, in 2004/05, using the hybrid Pioneer 32R21. It was cropped in no-tillage system (NT) and conventional tillage (CT), combined to levels of irrigation (irrigated and non-irrigated), and to plant arrangements (0.4 and 0.8 m among sowing rows). A set of three sensors measured the transmitted PAR ( $PAR_t$ ) by the canopy in each treatment, whereas another sensor installed above the canopy measured the incoming PAR ( $PAR_{inc}$ ). The angle of leaf insertion and the curvature of the middle part of leaves were also measured. The no-tillage systems promoted a higher efficiency of interception of PAR ( $\epsilon_{int}$ ) than the conventional tillage. Reduction in the row spacing increased the  $\epsilon_{int}$ . Nevertheless, no changes were observed in the foliar architecture of maize as function of soil management systems, even in the narrowest row spacing. The water deficit reduced  $\epsilon_{int}$  since it decreased the leaf area index and caused rolling up of leaf. This effect was pronounced in the conventional tillage, leading to the lowest  $\epsilon_{int}$ . The highest  $\epsilon_{int}$  in the largest row spacing had no relationship to increasing efficiency of PAR use. There had no differences in grain yield of maize as function of tillage systems, even in the narrowest row spacing, in spite of alterations in  $\epsilon_{int}$ .

---

<sup>1</sup> Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (120 p.) May, 2006.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. A cultura do milho.....	5
2.2. Radiação solar e fotossíntese em dosséis vegetais.....	6
2.3. Eficiência de interceptação e absorção da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho.....	8
2.4. Coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa.....	10
2.5. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa.....	12
2.6. Déficit hídrico e crescimento de plantas de milho.....	15
2.7. Manejo do solo.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1. Caracterização do experimento.....	26
3.1.1. Local.....	26
3.1.2. Clima e solo.....	26
3.1.3. Manejo da área e da cultura de inverno.....	27
3.1.4. Instalação e manejo da cultura do milho.....	28
3.1.5. Controle de plantas daninhas e pragas na cultura.....	28
3.1.6. Delineamento experimental.....	29
3.1.7. Manejo da irrigação.....	30
3.2. Determinações.....	31
3.2.1. Potencial matricial da água no solo.....	31
3.2.2. Conteúdo relativo de água na folha.....	31
3.2.3. Teor de clorofila.....	32



	Página
3.2.4. Fenologia.....	33
3.2.5. Graus-dia acumulados.....	33
3.2.6. Análise de crescimento e ângulo de folhas.....	34
3.2.7. Matéria seca, índice de área foliar e área foliar específica.....	35
3.2.8. Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida.....	37
3.2.9. Rendimento de grãos e seus componentes.....	37
3.3. Condições ambientais.....	38
3.3.1. Dados meteorológicos.....	38
3.3.2. Balanço hídrico.....	38
3.3.3. Radiação fotossinteticamente ativa incidente e interceptada pela cultura .....	39
3.3.4. Eficiência de interceptação e coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa.....	40
3.3.5. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa.....	41
3.4. Análise dos resultados.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Condições meteorológicas do período experimental .....	43
4.2. Variação do potencial matricial da água no solo durante o ciclo da cultura .....	48
4.3. Crescimento e desenvolvimento da cultura do milho.....	54
4.3.1. Índice de área foliar e área foliar específica.....	54
4.4. Teor de clorofila.....	58
4.5. Conteúdo relativo de água.....	60
4.6. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada e eficiência de interceptação.....	63
4.7. Coeficiente de extinção para radiação fotossinteticamente ativa.....	70
4.8. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa.....	74
4.9. Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida.....	78
4.10. Ângulo foliar.....	83
4.11. Rendimento de grãos e seus componentes.....	88

	Página
5. CONCLUSÕES.....	92
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
7. APÊNDICES.....	104

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Rendimento de grãos, número de espigas por planta, número de grãos por espiga e peso de mil grãos em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). Eldorado do Sul, RS – 2004/2005.....	89

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Radiação Solar Global (A), Temperatura média do ar (B), evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) segundo Penman (C) e precipitações pluviais (D) em função dos decêndios. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05. Fontes: Boletim Agrometeorológico – EEA/UFRGS e Bergamaschi et al. (2003) .....	44
2. Excessos e déficits hídricos durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, sob dois níveis de irrigação: sem irrigação – NI (A) e com irrigação – I (B). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS – 2004/05. Fonte: Boletim Agrometeorológico – EEA/UFRGS.....	47
3. Potencial matricial da água no solo sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I), em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função de dias após a emergência (DAE). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	50
4. Potencial matricial da água no solo sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em diferentes dias de medição. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	52
5. Evolução do potencial matricial da água no solo sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m) e em três profundidades: 75 cm (A), 90 cm (B) e 105 cm (C). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	53
6. Evolução do índice de área foliar (IAF) medido (● ○) e estimado (–) do milho sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função de acúmulo de graus-dia. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05..	55
7. Área foliar específica (AFE) de milho sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função de acúmulo de graus-dia. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	57

8. Teor de clorofila total ( $\text{mg g MS}^{-1}$ ) em folhas de milho, sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	59
9. Conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de milho, sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	61
10. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura do milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função do acúmulo de graus-dia. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.	64
11. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função do índice de área foliar. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	67
12. Relação entre o termo $\ln(1-\varepsilon_{\text{int}})$ e o índice de área foliar (IAF) na cultura do milho, em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	72
13. Relação entre massa de matéria seca aérea (MS) acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA) pelo milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	76
14. Taxa de crescimento da cultura (TCC) (A) e taxa assimilatória líquida (TAL) (B) em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função do acúmulo de graus-dia. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	80
15. Ângulo foliar em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em alguns dias durante o ciclo da cultura. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	85

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Datas e lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos com a dose de rega necessária para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, de dezembro de 2004 a fevereiro de 2005. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2004/05.....	105
2. Temperatura do ar, precipitação pluvial, radiação solar global (Rg) e evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) decendial observada no período experimental e médias climatológicas do período de 1970 a 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2004/05.....	106
3. Valores diários de temperatura do ar média, máxima, mínima e umidade relativa (UR%), observados nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro de 2004/05. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2004/05.....	107
4. Balanço hídrico decendial da cultura do milho não irrigado (NI). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul– RS – 2004/05. (Fonte: Boletim Agrometeorológico – EEA/UFRGS).....	109
5. Balanço hídrico decendial da cultura do milho irrigado (I). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul– RS – 2004/05. (Fonte: Boletim Agrometeorológico – EEA/UFRGS).....	110
6. Estádios fonológicos da cultura do milho, em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função das datas de amostragem (DA), dias após a emergência (DAE) e graus-dia acumulados (GD). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.....	111
7. Dias após a emergência (DAE), acúmulo de graus-dia (GD), índice de área foliar (IAF) medido e IAF estimado da cultura do milho, em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m),. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.....	112

8. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) (A) e não irrigado (NI) (B), em dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função de graus-dia acumulado. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05..... 114
9. Resultados do quadrado médio (QM) da análise da variância e teor de clorofila total ( $\text{mg g MS}^{-1}$ ) em folhas de milho, sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05..... 116
10. Resultados do quadrado médio (QM) da análise da variância e conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de milho, sob dois níveis de irrigação, (irrigado – I e não irrigado – NI) e em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05..... 117
11. Comparação da diferença entre os coeficientes “b” das equações de regressão linear do coeficiente de extinção da radiação solar na cultura do milho, em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.. 118
12. Resultados do quadrado médio (QM) da análise da variância para rendimento de grãos, peso de mil grãos, número de espigas por planta, número de grãos por espiga em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05..... 119

## 1. INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura que representa, historicamente, um dos principais e mais tradicionais cereais cultivados em todo Brasil. Ocupa, de maneira crescente, posições significativas quanto ao valor da produção agropecuária, especialmente nos sistemas de produção mais aprimorados baseados plantio direto, na rotação de culturas e irrigação.

O potencial de crescimento e rendimento desta cultura é determinado por características genéticas, porém limitado pelas condições do meio, o que determina grandes contrastes entre rendimento médio e potencial da cultura. Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses de natureza biótica e abiótica. Devido à sua pequena plasticidade foliar, reduzido número de espigas por planta e baixa capacidade de compensação de plantas, seu cultivo necessita ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a manifestação de sua capacidade reprodutiva.

O potencial de rendimento pode ser definido como a produção de uma cultura em ambiente no qual está adaptada, sem limitações edafoclimáticas e nutricionais, livre da ação de pragas e doenças e com os demais estresses efetivamente controlados (Evans & Ficher, 1999). O máximo rendimento da cultura é alcançado quando os fatores bióticos e abióticos que impedem a plena



expressão de seu potencial genético são minimizados, possibilitando a manutenção das estruturas reprodutivas produzidas pela planta. Assim, o potencial do meio é determinado, principalmente, pela oferta de radiação solar e pela capacidade das plantas em captar e converter esta energia primária em compostos orgânicos ao nível das folhas e realocá-los nos órgãos de interesse agrícola. Entretanto, outros fatores do meio, tais como temperatura do ar, disponibilidade de água e de nutrientes no solo também atuam como limitantes à expressão destes potenciais.

A radiação solar é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. Sendo assim, a produção de biomassa de uma cultura depende da quantidade de radiação solar interceptada, bem como da eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química, através da fotossíntese. A quantidade de radiação solar retida (interceptada e absorvida) no dossel é dependente de vários fatores físicos e biológicos, como a posição solar, geometria, tamanho, anatomia e idade da folha, arranjo e estrutura das plantas.

Recentemente, diferentes arranjos espaciais, resultantes da combinação do espaçamento entre linhas de semeadura e o número de plantas por metro (na linha de semeadura), tem sido estudados, com maior frequência, pela maior ou menor adaptação da cultura ao ambiente. Esta, é decorrente das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais (menor altura de plantas e de inserção das espigas, maior ou menor angulação de folhas, e maior potencial produtivo, principalmente), como forma de maximizar o rendimento de grãos. Isto é alcançado, principalmente, pela otimização do uso de

fatores de produção como água, luz e nutrientes disponíveis num determinado agroecossistema.

Outro fator importante que limita o máximo rendimento das culturas em geral, é o déficit hídrico, que afeta praticamente todos os processos relacionados ao desenvolvimento e expressão do rendimento destas. Ligado ao fator água, têm-se os sistemas de manejo do solo, os quais podem influenciar toda a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Essas variações na dinâmica se devem, basicamente, às mudanças nas propriedades físicas do solo, além de mudanças químicas e biológicas, modificando o ambiente onde se distribui do sistema radicular. Visto que a disponibilidade de água para as plantas está relacionada com os atributos físicos do solo e com a capacidade de exploração pelo sistema radicular, é de suma importância que se adote um manejo que resulte em melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Portanto, condições limitantes como déficit hídrico e radiação solar interferem diretamente nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, afetando o acúmulo de matéria seca e o rendimento final da cultura.

Assim, as hipóteses do trabalho são de que o sistema plantio direto modifica a arquitetura foliar do milho em relação ao preparo convencional, alterando a eficiência de interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa e que modificações no arranjo de plantas, pela redução no espaçamento entre linhas, podem compensar a alteração na arquitetura foliar do milho em plantio direto, melhorando sua eficiência de interceptação da radiação solar. Deste modo, este trabalho teve por objetivos:

a) Avaliar mudanças na arquitetura foliar do milho submetido à diferentes sistemas de manejo do solo (plantio direto e preparo convencional),

arranjo de plantas e níveis de irrigação e seus efeitos sobre a interceptação da radiação solar;

b) Determinar a eficiência de interceptação e verificar a ocorrência de alterações na eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa em milho, cultivado sob plantio direto e preparo convencional, para dois arranjos de plantas e níveis de irrigação;

c) Quantificar a produção de matéria seca, a evolução do índice de área foliar, angulação de folhas e o rendimento de grãos da cultura do milho sob plantio direto e preparo convencional, para dois arranjos de plantas e níveis de irrigação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é o segundo cereal em importância no mundo, após o trigo e seguido pelo arroz (Duarte, 2005). A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal, até a indústria de alta tecnologia para a produção de óleo vegetal, álcool e adoçantes. O uso do milho em grãos como alimentação animal representa a maior parte do consumo deste cereal, cerca de 70% no mundo (Duarte, 2005).

O Brasil é responsável por 7% da produção mundial de milho, ocupando o terceiro lugar como país produtor, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e China. Apesar de estar entre os três maiores produtores, o Brasil não se destaca entre os países com maior nível de produtividade. A produção de milho no Brasil está em torno de 41,5 milhões de toneladas, com uma área semeada que varia em torno de 13 milhões de hectares, conferindo um rendimento médio de 3,2 t ha<sup>-1</sup> (Duarte, 2005).

O Rio Grande do Sul é o segundo produtor nacional de milho, contribuindo com 13,5% da produção total. Porém, é uma cultura que apresenta alta variabilidade no rendimento de grãos no Estado. As variações interanuais de rendimento do milho no Estado do Rio Grande do Sul são atribuídas à distribuição

pluvial irregular e insuficiente (Matzenauer et al., 1995), como ocorrida durante a safra 2004/05, causando grandes prejuízos ao setor, quando o rendimento médio no Estado foi de  $1,27 \text{ t ha}^{-1}$  (CONAB, 2005).

## **2.2. Radiação solar e fotossíntese em dosséis vegetais**

Além dos fatores água e nutrientes, a radiação solar vem merecendo atenção nas pesquisas nos últimos anos. A radiação solar é um elemento primordial na exploração agrícola e seu máximo aproveitamento, através da sua transformação e fixação na forma de substâncias fotossintetizadas na planta, é o que tem sido buscado na agricultura.

A radiação solar representa a soma da radiação direta e a difusa, e compreende os comprimentos de onda entre 300 e 3.000 nanômetros. A quantidade de energia solar que atinge uma superfície na terra é dependente da orientação da superfície relativa à posição do sol, e da transmissividade atmosférica. Antes de interagir com a atmosfera, a radiação solar de ondas curtas se compõe de aproximadamente 9% de radiação ultravioleta (UV), 40 % de radiação visível e 51% de radiação na faixa do infravermelho próximo (IVP) (Rosenberg et al., 1974). A radiação solar sofre mudanças consideráveis ao atravessar a atmosfera, sendo que a fração UV é quase totalmente absorvida pelo ozônio. A fração IVP também sofre absorção significativa pelos constituintes atmosféricos, principalmente pelo vapor d'água e dióxido de carbono. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que compreende a faixa de comprimento de onda entre 400 e 700 nm, é a menos absorvida pela atmosfera (Pereira, 1996). Deste modo, é de se esperar que a composição e a quantidade de radiação solar que

incide sobre o solo varie tanto ao longo do dia como de um dia para o outro, dependendo das condições atmosféricas.

Do ponto de vista quantitativo e qualitativo, a importância da radiação solar para a agricultura é fundamental para o desenvolvimento morfológico das plantas. Em um agroecossistema, a atividade fotossintética das plantas resulta na conversão da energia solar em energia química, a qual é essencial para a produção vegetal.

Vários estudos têm atribuído relação uma linear entre fitomassa produzida e a energia radiante interceptada ao longo do ciclo para um grande número de espécies (Shibles & Weber, 1966; Tollenaar & Bruulsema, 1988; Müller, 2001). No entanto, somente uma fração da radiação solar é utilizada pelas plantas para este processo de conversão. As clorofilas apresentam picos de absorção de radiação nas faixas do azul (aproximadamente 450 nm) e do vermelho (650 nm) (Salisbury & Ross, 1992). Nesta porção do espectro ocorre excitação das moléculas de clorofila, dando início ao fluxo de energia necessário para a fotossíntese, sendo, por isso, denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). A quantidade de radiação interceptada é um importante fator determinante da produtividade final de uma cultura. Contudo, deve-se considerar que a conversão da radiação interceptada em matéria seca depende da atividade fotossintética, que é função da radiação solar, temperatura do ar e da fração de carbono líquido fixado pela fotossíntese, (Gallagher & Biscoe, 1978).

Assim, pode-se afirmar que a produção final de matéria seca de uma planta, na ausência de fatores limitantes, depende da quantidade de radiação solar interceptada pelas folhas e da eficiência com que essas convertem a energia radiante em energia química, através da fotossíntese.

O aproveitamento da luz, na faixa do espectro visível, por uma cultura, depende do índice de área foliar e de parâmetros físicos, biológicos e alométricos que determinam a absorção da radiação incidente pela mesma (Barni, 1994). A eficiência máxima teórica da fotossíntese é de cerca de 11% (Good & Evans, 1980). Entretanto, a eficiência real da fotossíntese das culturas está longe de atingir este valor. Em condições não limitantes, a eficiência pode variar de 2,0 a 5,3 % na conversão da radiação solar em energia química ou 15  $\mu\text{g}$  de matéria seca líquida por caloria de radiação solar absorvida (Loomis & Willians, 1963).

### **2.3. Eficiência de interceptação e absorção da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho**

A radiação incidente é determinada pelas características do local (latitude, ângulo de exposição), pela hora do dia, pela nebulosidade e pela época do ano (Barni & Bergamaschi, 1981). A eficiência de interceptação e de absorção de um dossel vegetal determina a capacidade que uma população de plantas tem de interceptar e absorver a radiação solar incidente sobre a mesma. A eficiência de absorção é representada, freqüentemente, como a fração da radiação que é interceptada e não é absorvida pelo dossel de plantas. Segundo Varlet-Grancher et al. (1989), em milho, esta fração da RFA que não é absorvida, é relativamente constante e menor que 10%. Müller (2001), na mesma área do presente experimento, estimou que a parcela de RFA interceptada, que não foi absorvida pelo dossel da cultura de milho foi entorno de 7,6%. Assim sendo, a RFA interceptada é uma razoável aproximação da RFA absorvida, especialmente para dosséis que cobrem completamente o solo.

A maneira como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada e absorvida pelo dossel das plantas é um fator determinante para a fotossíntese e para a produção da cultura (Stewart et al., 2003). Segundo estes autores fatores como forma, população de plantas e espaçamento entre linhas, alteram a distribuição da área foliar no interior do dossel das plantas, por modificar o ambiente no qual as folhas se distribuem, influenciando a interceptação da RFA.

A manipulação do arranjo de plantas em milho, através de alterações na densidade de plantas, de espaçamento entre linhas e da distribuição das plantas na linha, é uma das práticas de manejo mais importantes para maximizar a interceptação da radiação solar e otimizar o seu uso. O fator arranjo de plantas na cultura do milho foi alvo de muitas pesquisas (Ottman & Welch, 1989; Kasperbauer & Karlen, 1994; Johnson et al., 1998; Argenta et al., 2001) cujas conclusões foram de que a distribuição de plantas na linha possibilita um melhor aproveitamento de luz, água e nutrientes, evitando a concorrência destes fatores dentro da linha, acarretando, conseqüentemente, maior rendimento da cultura.

Um dos objetivos da modificação do arranjo de plantas, pela redução da distância entre linhas, é encurtar o tempo necessário para que a cultura intercepte o máximo da radiação solar incidente e, com isso, incrementar a quantidade de energia captada por unidade de área e de tempo. Sendo assim, o melhor arranjo de plantas, teoricamente, é aquele que proporciona uma distribuição mais uniforme das plantas na linha de semeadura, devido principalmente, ao melhor aproveitamento do ambiente pelas mesmas (Pendleton et al., 1967). Este melhor aproveitamento é potencializado pelo uso de um arranjo equidistante de plantas, onde a diminuição da competição intraespecífica favorece individualmente a absorção de nutrientes, água, luz e CO<sub>2</sub> pela população de



plantas de uma comunidade (Shibles & Weber, 1966; Duncan, 1984; Bullock et al., 1988).

Um dos fatores mais importantes no desenvolvimento e crescimento de uma cultura é a utilização da radiação solar, a qual é influenciada pela estrutura do dossel (Daughtry et al., 1983). Assim, a escolha do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos de milho, pois afeta diretamente a interceptação da radiação solar, sendo um dos principais fatores do ambiente que influenciará na produtividade final da cultura (Loomis & Willians, 1963; Ottman & Welch, 1989; Sinclair, 1993; Loomis & Amthor, 1999).

Deste modo, o arranjo de plantas tem grande importância na interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel, por influenciar o índice de área foliar, o ângulo foliar, a interceptação de luz por outras partes da planta, a disposição de folhas na planta e as características de absorção de luz pelas folhas, exercendo grande influência sobre a cultura de um modo geral e especialmente quando outros fatores do ambiente são favoráveis (Gardner et al., 1985).

#### **2.4. Coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa**

A arquitetura do dossel das plantas pode definir o tamanho, forma, orientação, distribuição e posição dos diferentes órgãos da planta (Maddonni et al., 2001), afetando a troca de energia com o ambiente, podendo ter efeito sobre a temperatura do ar, temperatura da folha, umidade atmosférica, evapotranspiração, armazenamento de calor e interceptação da radiação. Da radiação que chega até a planta, parte é refletida, parte é absorvida e parte é

transmitida. O fluxo de radiação que é transmitida ao solo diminui de forma exponencial com o incremento da área foliar dentro do dossel (Jones, 1992).

O conhecimento da distribuição e da absorção da radiação pela cultura é fundamental para entender muitos aspectos do crescimento e da produtividade da mesma e para a modelagem da fotossíntese de todo o dossel. A descrição precisa do padrão da distribuição da radiação dentro do dossel de plantas não é possível, pois se deve levar em consideração a arquitetura do dossel, a distribuição da radiação incidente e as propriedades espectrais das folhas (Jones, 1992). Sendo assim, torna-se necessário o uso de modelos que caracterizem a distribuição da radiação no dossel da cultura (Rossati et al., 2001).

Monsi & Saeki (1953) descreveram a forma como a radiação solar penetra em um dossel. Para isso, propuseram um modelo de iluminação do dossel, onde a quantidade de luz diminui exponencialmente com os aumentos do índice de área foliar (IAF) através de um coeficiente de extinção ( $k$ ). Esta simples suposição é de que o dossel de plantas é horizontalmente uniforme, assim como a radiação constante em qualquer nível, diminuindo somente com a profundidade dentro do dossel (Jones, 1992).

Estudos do coeficiente de extinção ( $k$ ), que depende do ângulo de inclinação e disposição das folhas no caule, juntamente com o IAF, fornecem indicações sobre a eficiência das plantas em interceptar a radiação (Costa et al. 1997). Segundo Saeki (1960), os valores médios do coeficiente de extinção estão entre 0,3 e 0,5 para dosséis de folhas eretas e entre 0,7 e 1 para aqueles de folhas horizontais.

Segundo Costa et al. (1997), o coeficiente de extinção ( $k$ ) revela informações mais completas do que somente o índice de área foliar (IAF), pois,

além de incluir este índice, está ligado ao ângulo de inclinação das folhas, disposição das folhas no caule e distância entre as camadas das folhas no caule, indicando melhor a eficiência das plantas em interceptar a radiação.

Práticas culturais, como população e espaçamento de plantas, afetam a arquitetura do dossel de plantas, em função de modificações no tamanho, orientação e inserção das folhas, que se caracterizam por uma melhora na interceptação da RFA e, por consequência, alteração no coeficiente de extinção. Ottmam & Welch (1989) encontraram grandes diferenças no coeficiente de extinção da RFA em milho cultivado em espaçamento reduzido (0,38 m entre linhas) em comparação ao cultivado em espaçamento convencional (0,76 m entre linhas) e alta população de plantas (9,9 plantas  $m^{-2}$ ), sendo esta diferença mais evidente nos híbridos com folhas mais eretas.

De acordo com Flénet et al. (1996), a redução no espaçamento entre linhas de cultivo é importante, pois, reduz o índice de área foliar (IAF) necessário para interceptar 95% da radiação incidente, devido a um aumento no coeficiente de extinção da radiação.

Por outro lado, baixos coeficientes de extinção são mais efetivos na transferência de radiação para o interior do dossel, podendo resultar em melhor aproveitamento da radiação pelo dossel como um todo (Lambers et al., 1998).

## **2.5. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa**

A eficiência de uso da radiação (EUR) por uma cultura pode ser expressa pela relação entre a produção de matéria seca (MS) e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ou absorvida pela mesma (Tollenaar & Bruulsema, 1988; Russel et al., 1989). Assim, a EUR está

relacionada à capacidade de uma planta ou população de plantas em transformar a RFA interceptada ou absorvida em MS acumulada, através da fotossíntese.

Na ausência de estresse, a produção de fitomassa é uma função linear do acúmulo de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura, sendo que o coeficiente angular da curva de regressão entre a fitomassa e a RFA define a eficiência de uso da radiação (Shibles & Weber, 1966).

A eficiência de utilização da radiação solar interceptada ou absorvida pela cultura incorpora, além da eficiência de uso da RFA no processo fotossintético, a eficiência de transporte de fotoassimilados para as regiões de crescimento e armazenamento (dreno), bem como a eficiência de transformação destes fotoassimilados em substâncias estruturais e de armazenamento das plantas. De acordo com França et al. (1999), freqüentemente a eficiência de utilização da radiação é constante para uma cultura em ambiente sem restrição hídrica, mas pode ser afetada por outros fatores ambientais. Para cultivos em estufa plástica a eficiência de conversão da RFA em fitomassa foi, na média para todo o ciclo, de  $2,31\text{g MJ}^{-1}$  para o melão (Caron et al., 2001), de  $2,50\text{g MJ}^{-1}$  para o tomate (Heuvelink, 1995; Radin, 2002), enquanto em condições de campo essa taxa foi de  $2,46\text{g MJ}^{-1}$  para o girassol (Barni et al. 1995), de  $2,6\text{g MJ}^{-1}$  para o milho (França et al., 1999), e para o arroz foi de  $1,86\text{g MJ}^{-1}$  (Steinmentz & Siqueira, 1995).

A eficiência de conversão de RFA em fitomassa não é constante e sim variável durante o ciclo da planta. Esta hipótese foi avaliada por Steinmentz & Siqueira (2001), os quais verificaram que a eficiência variou entre as cultivares e com as etapas de desenvolvimento do arroz irrigado, tendo atingido valores mais altos entre a diferenciação do primórdio floral e floração. Considerando que a

eficiência de conversão pode variar entre os subperíodos de desenvolvimento da cultura, Müller (2001) verificaram que, para o milho, esta foi de  $1,71\text{g MJ}^{-1}$  da emergência até a nona folha expandida, e de  $3,58\text{g MJ}^{-1}$  do final do período vegetativo até o enchimento de grãos. Assim, o valor da eficiência de uso da radiação muda durante o ciclo da cultura, possivelmente, como uma consequência de mudanças ontogênicas na estrutura da cultura, bem como possíveis efeitos na atividade de dreno e na taxa fotossintética (Russel et al., 1989). Gosse et al. (1986) avaliaram diferentes espécies quanto à eficiência de utilização da radiação (EUR) e encontraram, em corroboração com análises teóricas, que espécies  $C_4$  apresentaram maiores valores de EUR em comparação às espécies  $C_3$ .

Em trabalho conduzido por Cirilo & Andrade (1994), em diferentes épocas de semeadura de milho, verificou-se que o atraso na época de semeadura resultou em uma alta taxa de crescimento da cultura no período vegetativo, devido à alta eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa e alta taxa de radiação interceptada. No entanto, resultaram em baixas taxas de crescimento da cultura durante o enchimento de grãos, devido à baixa eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa e à menor radiação incidente, sendo que o inverso ocorreu com as semeaduras antecipadas. Nas semeaduras tardias houve maior acúmulo de matéria seca antes do período de formação do estigma do que a partir do mesmo, até a maturidade fisiológica, enquanto que as semeaduras antecipadas mostraram efeito inverso. Assim, pelo exposto acima, as épocas de semeadura do milho possuem efeitos importantes na repartição da matéria seca.

Portanto, o aproveitamento da RFA depende de fatores inerentes às espécies de plantas. Esses fatores correspondem à estrutura do dossel e são

determinados pela geometria, tamanho, ângulo, distribuição e idade das folhas, arranjo e altura das plantas, época do ano e nebulosidade (Varlet-Grancher et al., 1989). Entretanto, o aproveitamento da RFA para a produção de matéria seca, também depende de outras variáveis de manejo da cultura, especialmente, da condição hídrica, que vai afetar a cultura, por modificar todos os processos relacionados à fisiologia e a bioquímica da planta.

## **2.6. Déficit hídrico e crescimento de plantas de milho**

A deficiência hídrica é uma das principais causas de perda de rendimento no milho, tendo efeitos variados sobre a planta, dependendo do estágio de desenvolvimento em que esta se encontra, do nível da deficiência e da sua duração. No Estado do Rio Grande do Sul, a disponibilidade de água às plantas é o fator que afeta a produtividade das culturas com maior frequência e intensidade (Matzenauer et al., 1995).

O déficit hídrico em uma planta se desenvolve quando a absorção de água pelas raízes for menor do que a transpiração da parte aérea. Para Begg (1980), déficits hídricos ocorrem nos tecidos em todas as plantas, como uma inevitável consequência do fluxo de água ao longo de uma rota, onde as resistências friccionais e o potencial gravitacional devem ser vencidos.

A deficiência hídrica afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas, reduzindo o processo de expansão celular (devido ao baixo potencial de pressão), fotossíntese e as trocas gasosas com o ambiente (Kramer & Boyer, 1995). Segundo Bergamaschi (1992), ela influencia vários outros processos, como brotação, polinização, absorção de nutrientes e

translocação de fotoassimilados, além de alterar o ambiente físico das culturas, por modificar o balanço de energia do sistema.

Jones (1985) descreveu que o déficit hídrico afeta a bioquímica, fisiologia, morfologia e processos de desenvolvimento das plantas. Neste mesmo trabalho, o autor considerou que o déficit hídrico reduziu a fotossíntese de três maneiras: *(i)* pela redução na área foliar disponível para interceptar a radiação solar; *(ii)* pela redução da difusão do CO<sub>2</sub> para dentro da folha e *(iii)* pela redução da habilidade dos cloroplastos em fixar o CO<sub>2</sub> que neles penetra devido à baixa atividade enzimática e à menor regeneração da ribulose bifosfato.

Para Nonami et al. (1997), o déficit hídrico diminui a diferença do potencial da água necessário para movê-la para dentro da célula e causa inibição do crescimento celular. Para o crescimento da planta é necessário um turgor positivo mínimo (limiar de turgescência) das células, cujo valor depende da espécie, uma vez que, o mesmo é influenciado pelas propriedades da parede celular (Kramer, 1988, Meyer & Boyer, 1981). A entrada de água para os tecidos da planta é essencial para a expansão celular e para absorção de água acontecer, é necessário que o potencial hídrico do tecido em crescimento seja menor do que o da região onde a água está armazenada (Boyer, 1967). Os gradientes de potencial da água entre órgãos e tecidos são criados pelas diferenças nas perdas evaporativas, acumulação de solutos e demanda hídrica causada pela expansão celular (Nonami et al., 1993). O progressivo declínio de água do solo na zona radicular diminui o potencial da água na planta e induz sintomas de déficit hídrico (Dwyer e Stewart, 1985).

O efeito mais comum da deficiência hídrica é a diminuição do crescimento das plantas, com o conseqüente decréscimo da área foliar, reduzindo

amplamente a fotossíntese da planta como um todo. Além da redução do tamanho das folhas, o estresse por falta de água causa o fechamento estomático, o qual ocasiona decréscimo na absorção de CO<sub>2</sub>. Plantas em déficit hídrico produzem menos biomassa e, com isso, o rendimento da cultura é, em grande parte, afetado pela redução da área fotossintetizante (Hsiao, 1973; Nonami et al., 1997).

De acordo com Bergonci & Bergamaschi (2002), o maior consumo de água pela cultura de milho é verificado por ocasião do florescimento, uma vez que, nesse período, o índice de área foliar das plantas é máximo. Ainda, Fancelli & Dourado-Neto (1997) relatam que a ocorrência de deficiência hídrica de uma semana durante o pendoamento do milho pode implicar numa queda de produção em torno de 50%, enquanto que após a polinização, sob as mesmas condições, as perdas podem chegar a 25%. Bergamaschi et al. (2004a) também relatam que o déficit hídrico no período crítico do milho (pendoamento e enchimento de grãos) causou uma redução de 80% na produtividade de grãos em relação à condição irrigada. Estes autores afirmam que a queda na produtividade foi devido à diminuição do número de espigas por planta e o número de grãos por espiga, já que estes componentes são definidos no período crítico da cultura e, portanto, sofrem efeitos mais intensos do déficit hídrico daquele momento.

Além de reduzir a área foliar, o déficit hídrico produz modificações na arquitetura do dossel vegetativo e, por conseqüência, causa redução no coeficiente de extinção da radiação solar. Entretanto, a mudança mais visível no dossel vegetativo da cultura de milho submetida ao déficit hídrico é o enrolamento das folhas, cuja intensidade está relacionada com o potencial da água nas folhas (Begg, 1980; Wright et al., 1983). Avaliações de enrolamento das folhas de



diferentes genótipos de milho mostraram uma diferença de até 50 % na quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura (Wright et al., 1983). O enrolamento das folhas reduz a área foliar efetiva (Müller, 2001; Jordan, 1983), a radiação solar absorvida pela comunidade de plantas (Jordan, 1983), a temperatura da folha (Ludlow & Muchow, 1990) e a perda de água (Jordan, 1983).

De acordo com Hall et al. (1979), dosséis com folhas mais paralelas aos raios solares apresentam menor temperatura pela redução da quantidade de radiação solar absorvida. O movimento das folhas (orientação e enrolamento), também ocasiona redução na quantidade de energia interceptada/absorvida pela planta durante os períodos de déficit hídrico, devido a uma menor área foliar exposta à radiação solar incidente.

Segundo Carlesso (1997), o comprimento da lâmina foliar e a intensidade do enrolamento das folhas são, provavelmente, os principais fatores que afetam a habilidade das plantas de milho em orientar as folhas mais verticalmente. Normalmente, lâminas foliares extensas apresentam uma curvatura para baixo, a partir da metade do comprimento da folha, impondo uma restrição física ao enrolamento e, conseqüentemente, uma orientação mais vertical das folhas. Outra característica importante dos mecanismos responsáveis pelo enrolamento e orientação das folhas de plantas de milho é a sua reversibilidade e rapidez na recuperação da área foliar fotossinteticamente ativa das plantas quando o déficit hídrico for encerrado.

Pesquisas indicam que os efeitos do déficit hídrico nos componentes da RFA interceptada são responsáveis pela redução do rendimento da cultura do milho (Müller, 2001; Earl & Davis, 2003). De acordo com Earl & Davis (2003) o

déficit hídrico reduz a produção de grãos do milho por três diferentes mecanismos. Primeiro, pela redução da absorção da RFA decorrente da menor expansão da área foliar, devido ao murchamento ou enrolamento foliar durante períodos de estresse severo ou pela senescência precoce das folhas. Segundo, o déficit hídrico reduz a eficiência com que a RFA absorvida/interceptada é utilizada pela cultura para a produção de matéria seca (eficiência de uso da RFA). Terceiro, o déficit hídrico limita o rendimento de grãos por reduzir o índice de colheita. Diante destes aspectos, torna-se importante estudar a influência da deficiência hídrica sobre a cultura, uma vez que a mesma influi diretamente na fotossíntese, que, por sua vez, é responsável pela produção de matéria seca e do próprio rendimento de grãos.

## **2.7. Manejo do solo**

O solo é o armazenador e fornecedor de água e nutrientes para as plantas. Por fenômenos de adsorção e capilaridade ele retém, entre uma chuva e outra, a umidade que as plantas necessitam. A retenção de água depende, principalmente, da textura, do conteúdo de matéria orgânica e do estado de agregação do solo (Bergamaschi, 1992). A retenção de água no solo também é afetada pelo sistema de manejo adotado, pois ele pode alterar sua infiltração por modificações introduzidas na rugosidade superficial, porosidade e cobertura do solo (Salton & Mielniczuk, 1995).

Com relação à porosidade do solo, esta é formada por poros de diferentes tamanhos, os quais são divididos em três classes principais, que são a macroporosidade, a mesoporosidade e a microporosidade (Dalmago, 2004),

sendo estas duas últimas classes responsáveis pela maior capacidade de retenção de água no solo (Salton & Mielniczuk, 1995).

A diferença na retenção de água de um solo em plantio direto (PD), em relação a outro em preparo convencional (PC) se deve, basicamente, às alterações das propriedades físicas do mesmo. Do ponto de vista físico, em geral solos cultivados no sistema de plantio direto sofrem compactação devido ao tráfego de máquinas e implementos em sua superfície e uma consolidação natural, apresentando maior densidade na camada superior, principalmente em solos argilosos (Eltz et al. 1989). Com o aumento da densidade do solo nas camadas superficiais em sistema de plantio direto há redução na macroporosidade, já que estes são mais sensíveis ao processo de compactação, e aumento da meso e microporosidade, que elevam a capacidade de retenção de água do solo neste sistema, em relação ao sistema convencional (Salton & Mielniczuk, 1995; Rojas & Van Lier, 1999).

Portanto, o aumento relativo observado na quantidade de poros de diâmetros médios e pequenos, resultante da redução do número de operações de cultivo, é de grande importância na capacidade de retenção de água no solo, modificando assim, toda a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera.

Outro fator que interfere na retenção e disponibilidade de água às plantas em diferentes sistemas de manejo do solo, refere-se à presença da palha sobre o solo. Segundo Salton & Mielniczuk (1995), a cobertura de palha do solo age tanto por sombreamento, que reduz a incidência de radiação e absorção de energia para a evaporação, quanto pela formação de um colchão de ar, que por possuir menor condutividade térmica retarda o aquecimento do solo.

Ao estudarem a influência da cobertura da palha sobre a umidade do solo, Bragagnolo & Mielniczuk (1990), consideraram que há contribuição significativa no aumento da armazenagem de água no solo em sistema de plantio direto, pela redução na evaporação da água, em função de menores temperaturas do solo. A cobertura da palha dissipa, por reflexão, parte da radiação incidente, impedindo que chegue à superfície, diminuindo, desta forma, a perda de água por evaporação. Isso poderia representar um ganho significativo na disponibilidade de água às plantas, inclusive, melhorando a eficiência de utilização da mesma. No entanto, resultados apresentados por Dalmago et al. (2003a) mostraram que a evaporação do solo em preparo convencional (PC) foi menor, comparada com o plantio direto (PD), após o segundo ou o terceiro dia de secagem do solo, atingindo reduções na evaporação que variaram de 15 a 47% no preparo convencional (PC). Os autores atribuíram as diferenças entre os sistemas à maior quantidade de água na camada superficial do solo em PD, mantendo, assim, a evaporação mais intensa do que o solo em preparo convencional. Um segundo ponto refere-se à secagem acelerada do solo em PC, que quebra a continuidade dos poros, formando uma camada de isolamento na superfície, a qual funciona como um “mulching” adicionado sobre o solo (Philips, 1984).

Com relação à resposta das plantas a diferentes sistemas de manejo do solo, esta pode se dar em nível de sistema radicular, decorrente de modificações nas características físico-hídricas e biológicas do solo. Assim, quando cultivadas em PD, as plantas apresentam variações na estrutura radicular, comparadas àquelas cultivadas em PC. O sistema de plantio direto produz condições na rizosfera que podem se tornar menos favoráveis ao desenvolvimento radicular e crescimento das plantas, principalmente devido ao

aumento na densidade do solo, causada pelo intensivo tráfego de máquinas, associado ao não revolvimento do solo, promovendo a compactação da camada superficial do solo. No caso do milho em PD, inicialmente as raízes crescem numa direção quase perpendicular ao colmo, concentrando maior quantidade de raízes nos primeiros 5 cm de solo. Enquanto isto, no preparo convencional, os primeiros estádios de crescimento do sistema radicular (20 a 30 dias) são caracterizados por uma direção diagonal de crescimento, sendo que numa segunda etapa (58 dias após o plantio) este padrão diagonal desaparece, ocorrendo a ocupação da camada superior do solo, com o aparecimento de raízes secundárias (Melo Ivo & Mielniczuk, 1999). Segundo estes autores, esse padrão de crescimento em PD, com crescimento lateral maior e com menor profundidade de enraizamento, ocorre em função da estrutura mais rígida do solo, em comparação ao PC. Aliado a isso está também a maior disponibilidade de umidade proporcionada pela adição de palha e matéria orgânica (Salton & Mielniczuk, 1995) e elevados teores de nutrientes (Melo Ivo & Mielniczuk, 1999) na camada superficial.

O plantio direto também tem efeitos sobre a morfologia das raízes do milho. Tem-se observado que a densidade e comprimento das raízes foram significativamente maiores em relação ao preparo convencional junto à superfície do solo (0-5 cm). Tal comportamento é explicado em razão da estrutura mais rígida no solo em plantio direto, aliada a uma maior umidade e aos elevados teores de nutrientes nesta camada. Com relação ao raio médio das raízes, em solo sob plantio direto houve valores mais elevados quando comparados ao preparo convencional, provavelmente, devido às maiores concentrações de alumínio em profundidade e às maiores resistências encontradas sob plantio

direto. Sendo assim, a densidade de área radicular na superfície do solo sob plantio direto tende a ser maior em função do maior raio e maior densidade de comprimento. Neste caso, a absorção de água e nutrientes por centímetro de raiz pode ser mais elevada em relação ao maior volume de solo explorado por estas (Melo Ivo & Mielniczuk, 1999).

Assim, pelo exposto acima, os sistemas de manejo influenciam na dinâmica de extração de água e nutrientes do solo, tendo efeitos diretos sobre as plantas de milho. Em um estudo que foi avaliado o teor de água e produtividade do milho em PD e PC, Melo Filho & Silva (1993) identificaram modificações nas características da parte aérea das plantas. Em comparação à cultura em PC, o milho sob PD apresentou muitas vantagens, como antecipação da floração, plantas mais altas, espigas mais pesadas e acréscimo na produção. Assim, alterações no dossel de plantas podem interferir na dinâmica de processos como evapotranspiração e interceptação de radiação solar. Dalmago et al. (2004) observaram que a evapotranspiração foi diferente entre os estádios da cultura do milho sob plantio direto em relação ao preparo convencional, com menores valores durante o período vegetativo, sendo que, a partir do pendoamento, a evapotranspiração apresentou uma tendência oposta.

A transpiração também é influenciada pelos diferentes sistemas de manejo do solo. Conforme relatado por Dalmago et al. (2003b), a perda diária de água foi da ordem de 10% maior em PD, considerando um período de medições de treze dias no período de pendoamento/espigamento (crítico para o milho). Esse padrão de consumo de água indica uma melhor condição hídrica das plantas neste sistema. Assim, a melhor condição hídrica da planta tende a influenciar outros aspectos fisiológicos, como por exemplo, o potencial mínimo da

água na folha. De acordo com Bianchi (2004), houve variações no potencial da água mínimo nas folhas do milho em relação ao manejo de solo adotado, o qual foi mais elevado nas plantas em plantio direto, em relação àquele observado sob preparo convencional, evidenciando assim, a melhor condição hídrica das plantas e do solo em PD.

Estes resultados confirmam os encontrados por Dalmago (2004), em que a maior disponibilidade de água em sistema plantio direto é atribuída, em parte, às melhorias das propriedades físico-hídricas do solo, sendo que estas melhorias são mais acentuadas nas camadas mais próximas à superfície. Segundo Salton & Mielniczuk (1995), o aumento da densidade do solo nas camadas superficiais do sistema plantio direto reduz a macroporosidade e aumenta a meso e a microporosidade, o que eleva a capacidade de armazenamento de água do solo neste sistema.

Outra característica afetada pelo sistema de manejo do solo refere-se à eficiência de interceptação da radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) pela cultura do milho. Segundo Bergamaschi et al. (2004b), a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada pelas plantas em preparo convencional, até o IAF máximo foi, em média, 40% superior àquela interceptada pelas plantas em plantio direto nos dois níveis de irrigação avaliados no experimento. A eficiência de interceptação da RFA pelas plantas seguiu a mesma tendência em preparo convencional, com valores próximos de 1 a 0,9 nos níveis com e sem irrigação, respectivamente, enquanto que sob plantio direto a eficiência foi cerca de 0,8 e 0,7 com e sem irrigação, respectivamente. Isso modificou também o coeficiente de extinção da RFA do milho, o qual foi menor em plantio direto. Os valores para o coeficiente de extinção, obtidos por estes

autores, foram de 0,48 e de 0,35 para o preparo convencional com e sem irrigação, respectivamente. Enquanto que para o plantio direto, os valores foram de 0,46 e de 0,28 para os tratamentos com e sem irrigação, respectivamente. Isso mostra, que para atingir a mesma quantidade de RFA interceptada no preparo convencional, as plantas no plantio direto necessitam apresentar um IAF maior.

Baseado nestes resultados, Bergamaschi et al. (2004b), afirmam ser provável que as plantas sob plantio direto apresentem uma arquitetura foliar mais compacta, folhas com angulação mais ereta, permitindo assim, maior transmissividade de RFA para o solo, influenciando processos na superfície do mesmo. Considerando que o índice de área foliar do milho não diferiu entre os sistemas, os autores lançaram a hipótese de alteração na arquitetura foliar como causa das diferenças na eficiência de interceptação da RFA entre os sistemas de manejo do solo, que precisa ser investigada com mais detalhes.

Assim, a partir deste trabalho de Bergamaschi et al. (2004b) foram lançadas as hipóteses para a realização do presente trabalho.



### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização do experimento**

##### **3.1.1. Local**

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2004/05, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) localizada no município de Eldorado do Sul, região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (30° 05" S, 51° 40' W e altitude média de 46 m).

##### **3.1.2. Clima e solo**

O clima da região é do tipo fundamental Cfa, conforme a classificação climática de Köppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente, o qual predomina na maior parte do estado do Rio Grande do Sul. A radiação solar global é mais elevada no mês de dezembro, com média diária próxima de 20,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, enquanto que junho tem a menor média diária, cerca de 8,3 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, com temperaturas medias do ar próximas a 25 °C, enquanto que junho e julho são os mais frios, cujas médias da temperatura do ar se aproximam de 9 °C, enquanto que a temperatura média anual é de 19,2 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1446 mm, com 425 mm nos meses de novembro a fevereiro, apresentando com frequência

deficiência hídrica neste período. A evapotranspiração média anual e média da estação de crescimento da cultura do milho, calculada pelo método de Penman, é de 1234 e 566 mm, respectivamente (Bergamaschi et al., 2003).

O solo da área experimental, de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos, é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999). Os solos desta unidade de mapeamento se caracterizam como sendo arenosos, imperfeitamente drenados, com relevo suavemente ondulado e de textura arenosa.

### **3.1.3. Manejo da área e da cultura de inverno**

Os sistemas de manejo do solo foram implantados no inverno de 1995, em uma área de aproximadamente 0,5 ha, cultivada parte em sistema plantio direto (PD) e a outra em sistema de preparo convencional (PC). Desde então, a área experimental vem sendo cultivada nestes sistemas recebendo uma mistura de aveia preta (*Avena strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*) no inverno e milho no verão. Porém, no ano anterior, a cultura da soja ocupou a área durante o verão de 2003/04.

Para a instalação do experimento, na área sob PD a cobertura vegetal foi dessecada com a aplicação de 3 L ha<sup>-1</sup> de herbicida à base de glifosato e, posteriormente, acamada ao solo com rolo faca. Na área sob PC o preparo do solo foi efetuado na primeira quinzena do mês de outubro de 2004, sendo a biomassa verde de aveia e ervilhaca incorporada ao solo, na mesma época da aplicação do herbicida na área do plantio direto. A cobertura foi incorporada ao solo através de uma aração com arado de discos, seguida de duas gradagens com grade niveladora.

### **3.1.4. Instalação e manejo da cultura do milho**

Foi utilizado o milho híbrido Pioneer 32R21 de ciclo precoce, semeado no dia 18/11/2004, com linhas orientadas na direção leste-oeste. Para a implantação da cultura utilizou-se uma semeadora de três linhas para milho, com disco para corte da palha e haste sulcadora (facão), tracionada por trator. Esse conjunto foi utilizado em ambos sistemas de manejo, embora sendo a semeadora destinada à semeadura direta. As sementes foram colocadas a cerca de 0,040 m a 0,050 m de profundidade. Foram utilizados dois espaçamentos, sendo as linhas de cultivo espaçadas em 0,80 m e 0,40 m entre si.

A emergência das plantas ocorreu no dia 27 de novembro e, aos 15 dias após a emergência (DAE), realizou-se o desbaste, fazendo-se o ajuste da população para aproximadamente 70.000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , em ambos sistemas de manejo do solo e espaçamento.

A adubação de base foi de acordo com a análise do solo, efetuada pelo Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Na adubação de base foi feita aplicação de 900  $\text{kg ha}^{-1}$  de NPK, pela fórmula 5-20-20, correspondendo a 45  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{N}_2$ , 180  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 180  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

Foram realizadas duas adubações de nitrogênio em cobertura, com a aplicação de 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, na forma de uréia, sem incorporação ao solo. As aplicações foram feitas quando as plantas apresentavam a quarta e a oitava folha visível, respectivamente.

### **3.1.5. Controle de plantas daninhas e pragas na cultura**

Antes da semeadura do milho, o controle de plantas daninhas foi realizado através da aplicação de herbicida à base de glifosato (2 L  $\text{ha}^{-1}$ ) para

controlar invasoras não eliminadas na gradagem na área em preparo convencional. Após a semeadura do milho, foram necessárias aplicações complementares para o controle de plantas daninhas, através da aplicação de herbicida pré-emergente à base de atrazine+simazine ( $4,5 \text{ L ha}^{-1}$ ) e nicosulfuron ( $1 \text{ L ha}^{-1}$ ), sendo que estas aplicações foram realizadas duas vezes durante o desenvolvimento da cultura, em ambos sistemas de manejo do solo.

Quanto ao controle de pragas, não houve ocorrência destas ao nível de causar dano econômico. Observou-se ataque inicial de larvas de *Diabrotica speciosa* (vaquinha) e *Agrotis ipsilon* (lagarta rosca), no início do desenvolvimento da cultura, e *Spodoptera frugiperda* (lagarta do cartucho) no decorrer do desenvolvimento da mesma, principalmente nos tratamentos não irrigados. No primeiro caso, o controle foi feito com inseticida à base de deltrametrina ( $0,250 \text{ L ha}^{-1}$ ) e para a lagarta do cartucho, foi realizada uma aplicação com inseticida à base de permethrin ( $0,1 \text{ L ha}^{-1}$ ).

### **3.1.6. Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi em faixas, utilizando-se blocos casualizados, com três repetições, considerando que o sistema de aspersão em linhas não permite casualização para os diferentes níveis de irrigação. Os tratamentos compreenderam dois sistemas de manejo do solo, dois diferentes níveis de irrigação e dois espaçamentos entre linhas de semeadura. Os dois sistemas de manejo do solo foram: plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) e constituíram as parcelas principais. Os dois níveis de irrigação constaram de: com irrigação (I), de forma a manter o solo próximo à capacidade de campo e sem irrigação (NI), ocupando as subparcelas. Os dois espaçamentos (0,4 m e 0,8

m entre linhas) foram distribuídos nas subsubparcelas. A área foi dividida em três blocos de 256 m<sup>2</sup> (dimensões de 32 x 8 m), sendo constituídos de parcelas de 7 m de comprimento e 4 de largura, cada uma compostas por 7 e 14 fileiras de milho, para os espaçamentos de 0,80 m e 0,40 m, respectivamente.

### **3.1.7. Manejo da irrigação**

O sistema de irrigação foi disposto nas laterais do experimento, de maneira que ficassem duas áreas irrigadas nos extremos e duas áreas não irrigadas no centro do experimento. O sistema foi constituído por duas linhas de irrigação com oito aspersores cada, colocados na direção norte-sul, com três metros de altura e espaçamento de seis metros entre os mesmos. Utilizou-se tubulação de 100 mm de diâmetro com redução para os aspersores de 50 mm de diâmetro. O recalque da água foi feito por um conjunto moto-bomba de 10HP.

O controle da irrigação foi realizado pelo acompanhamento do potencial matricial da água no solo, medido através de tensiômetros de coluna de mercúrio instalados a uma profundidade de 0,45 m nos tratamentos irrigados submetidos ao sistema de manejo plantio direto. As irrigações foram efetuadas às 6 h da manhã, na ausência de vento para evitar deriva da água e manter a homogeneidade da irrigação. Estas eram feitas sempre que o tensiômetro a 0,45 m de profundidade nos tratamentos irrigados atingia potencial matricial de -0,06 MPa. O volume de água aplicado em cada irrigação foi determinado em um lisímetro de pesagem cultivado com o mesmo híbrido de milho e na mesma população de plantas por hectare. O lisímetro encontra-se instalado no centro de uma área localizada próximo ao experimento. As datas e as quantidades de água aplicadas nas irrigações encontram-se no Apêndice 1.

## **3.2. Determinações**

### **3.2.1. Potencial matricial da água no solo**

As diferenças na disponibilidade de água no solo entre os tratamentos foram avaliadas pela variação do potencial matricial da água ( $\Psi_m$ ). Para a medição do potencial matricial da água no solo foram utilizados tensiômetros de coluna de mercúrio instalados a 0,15 m, 0,30 m, 0,45 m, 0,60 m, 0,75 m, 0,90 m e 1,05 m de profundidade nos dois sistemas de manejo, níveis de irrigação e espaçamento. A altura de ascensão da coluna de mercúrio foi registrada, sempre que possível, num intervalo máximo de três dias.

A partir das leituras da altura da coluna de mercúrio, o potencial matricial da água no solo foi calculado de acordo com a equação:

$$\Psi_m = (-12H + hc + z)0,0001 \quad (1)$$

sendo  $\Psi_m$  (MPa) o potencial matricial da água no solo,  $H$  (cm) a leitura na coluna de mercúrio acima da cuba,  $hc$  (cm) a altura média do mercúrio na cuba acima do nível do solo e  $z$  (cm) a profundidade do centro da cápsula do tensiômetro. A constante 0,0001 converte os valores de potencial matricial de centímetros de coluna d'água para MPa.

### **3.2.2. Conteúdo relativo de água na folha**

As medições do conteúdo relativo de água na folha (CRA) foram efetuadas em torno das 12h (horário local), em dias sem nebulosidade. Para isso, cortava-se a primeira folha completamente expandida e exposta à radiação solar de duas plantas por tratamento, a qual era colocada, imediatamente, em sacos plásticos e acondicionados em uma caixa térmica para evitar a perda de água. Posteriormente retiravam-se cinco discos foliares de 1 cm de diâmetro que, de

imediatamente, eram pesados em uma balança analítica para a determinação da matéria fresca. Após os discos foliares serem colocados em placa de Petry com água destilada para saturar por um período de 24 h. Após secagem com papel filtro, os discos eram pesados para determinação da matéria túrgida e colocados em estufa a 65 °C até peso constante sendo, então, novamente pesados para determinação da matéria seca.

O CRA foi calculado a partir dos cinco discos foliares de acordo com a equação:

$$\text{CRA} = \frac{\text{MF} - \text{MS}}{\text{MT} - \text{MS}} \times 100 \quad (2)$$

sendo CRA (%) o conteúdo relativo de água, MF a matéria fresca (g), MS a matéria seca (g) e MT a matéria túrgida (g).

### 3.2.3. Teor de clorofila

Nas mesmas folhas em que foi determinado o teor relativo de água, também foram coletados cinco discos foliares de 1cm de diâmetro, os quais foram colocados em vidros âmbar, envoltos em papel alumínio contendo 20 ml de álcool 96° P.A. Estes foram armazenados por quatro dias em local fresco, seco e escuro, para se processar a extração da clorofila. Após a extração, a solução foi colocada em espectrofotômetro (BECKMAN, DU-65), onde foi realizada a leitura de absorvância nos comprimentos de onda de 649 e 665 nanômetros. Após as leituras, os discos foliares foram colocados em estufa e secos à temperatura de 65°C até peso constante e, posteriormente, pesados em balança analítica para obtenção do peso de matéria seca.

A concentração de clorofila ( $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) do extrato foi obtida através das equações propostas por Wintermans & De Mots (1965):

$$Cl_a = 13,70A_{665} - 5,76A_{649} \quad (3)$$

$$Cl_b = 25,80A_{649} - 7,60A_{665} \quad (4)$$

sendo  $Cl_a$  e  $Cl_b$  a concentração de clorofila “a” e “b”, respectivamente,  $A$  a absorvância nos comprimentos de onda de 649 e 665 nanômetros.

A concentração de clorofila, ( $\text{mg m}^{-2}$  de área foliar), foi calculada através da equação:

$$C_{\text{clor}} = \frac{Cl(\text{a ou b}) V_{\text{ext}} 10^{-3}}{A 10^{-4}} \quad (5)$$

sendo  $V_{\text{ext}}$  o volume do extrato (20 ml) e  $A$  a área foliar dos discos ( $0,7854 \text{ cm}^2$ ). A fim de expressar a concentração de clorofila por matéria seca, a área foi substituída pelo peso da matéria seca dos discos foliares.

### 3.2.4. Fenologia

A caracterização de alguns dos estádios de desenvolvimento da cultura do milho foi realizada de acordo com a escala proposta por Hanway (1963), onde se determinaram as datas em que ocorrem as principais fases do desenvolvimento e crescimento da cultura: emergência, florescimento, espigamento e a maturação fisiológica. Considerou-se que as plantas de cada parcela atingiram determinado estágio de desenvolvimento, quando mais de 50% delas apresentaram as características descritas na escala.

### 3.2.5. Graus-dia acumulados

A estimativa dos graus-dia acumulados após a emergência da cultura foi obtida mediante a equação:

$$GD_{\text{acm}} = \sum (\bar{T} - T_b) \quad (6)$$



sendo  $GD_{acm}$  ( $^{\circ}C$ ) os graus-dia acumulados a partir do primeiro dia após a emergência do milho,  $\bar{T}$  a temperatura média do dia, medida em uma estação meteorológica automática localizada próxima a área experimental, e  $T_b$  a temperatura base inferior para o milho de  $8^{\circ}C$ , determinada segundo Berlato e Sutili (1976).

### **3.2.6. Análise de crescimento e ângulo de folhas**

Em todas as combinações de tratamentos foi determinada a altura do dossel, medindo-se a distância do nível do solo até a última folha completamente expandida. Foi contado o número de folhas de duas plantas por parcela, totalizando seis plantas por tratamento. Também foi avaliado a senescência foliar, o ângulo de inserção e de curvatura das folhas. Para a senescência o critério adotado foi ausência da cor verde intensa em 50% da folha avaliada durante a contagem de folhas.

O ângulo de inserção e de curvatura das folhas foi determinado através da medição do ângulo de três posições marcadas em cada folha (terços). A bainha (ângulo de inserção da folha), metade do comprimento da lâmina foliar e extremidade da folha, corresponderam ao primeiro terço, segundo terço e terceiro terço da folha, respectivamente. Para medição do ângulo foi utilizado um transferidor acoplado a um nível, sendo que o nível foi tomado como base para a linha horizontal do transferidor. O colmo da planta e a superfície do solo foram utilizados como pontos de referência para as determinações dos valores do ângulo foliar de cada posição marcada na folha.

Foram utilizadas as três últimas folhas completamente expandidas, da base em direção ao topo da planta, para avaliar o ângulo de inserção e a

curvatura até o pendoamento. Após o pendoamento, o ângulo de inserção e a curvatura foram avaliados duas folhas imediatamente acima e abaixo da espiga.

O ângulo de orientação das folhas foi medido no final da manhã ou eventualmente no início tarde e em diferentes dias durante o período de desenvolvimento da cultura em duas plantas de cada parcela experimental.

### **3.2.7. Matéria seca, índice de área foliar e área foliar específica**

Para a medição da área foliar foram coletadas três plantas por tratamento, sendo uma em cada repetição. As medições foram feitas, aproximadamente, a cada sete dias. A área foliar foi medida em planímetro eletrônico (marca LICOR, modelo LI 3000). Com a área foliar de cada planta, foi feito o cálculo para determinar o índice de área foliar através da equação:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (7)$$

sendo IAF o índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ), AF a área foliar verde da amostra ( $m^2$ ) e S a área do terreno ocupada pela amostra ( $m^2$ ).

Os valores de IAF medidos de cada tratamento foram ajustados a um modelo, que melhor descreveu a evolução até o IAF máximo, em função de graus-dia acumulados. Os modelos foram ajustados a partir de valores médios de cada variável, atendendo-se pressuposições básicas para a elaboração dos mesmos (teste de variância constante). Para todos os tratamentos, o modelo sigmoidal de três parâmetros foi o que melhor se ajustou às variáveis IAF x graus-dia acumulados. A equação ajustada foi:

$$IAF_{est} = \frac{a}{1 + e^{(x-x_0)/b}} \quad (8)$$

sendo  $IAF_{est}$  o IAF estimado pelo modelo,  $a$ ,  $b$  e  $X_0$  coeficientes do modelo e  $X$  é a respectiva variável independente (graus-dia acumulados)

Após IAF máximo, adotou-se uma taxa constante de queda do IAF ( $T_{cte}$ ), determinada a partir dos valores medidos após o IAF máximo da cultura, calculada pela seguinte equação:

$$T_{cte} = \frac{\left(\frac{IAF_4 - IAF_3}{GD_4 - GD_3}\right) + \left(\frac{IAF_3 - IAF_2}{GD_3 - GD_2}\right) + \left(\frac{IAF_2 - IAF_1}{GD_2 - GD_1}\right)}{3} \quad (9)$$

sendo  $IAF_4$ ,  $IAF_3$ ,  $IAF_2$  e  $IAF_1$ , os quatro últimos pontos de coleta após o IAF máximo e,  $GD_4$ ,  $GD_3$ ,  $GD_2$  e  $GD_1$  os graus-dia acumulados em cada coleta.

A área foliar específica, para cada tratamento, foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$AFE = \frac{AF}{MS} \quad (10)$$

sendo  $AFE$  a área foliar específica ( $cm^2 g^{-1}$ ),  $AF$  a área foliar ( $cm^2$  de folha) medida em planímetro eletrônico e  $MS$  a matéria seca das folhas (g).

Também foi determinada a massa de matéria seca da parte aérea de três plantas, em cada repetição e por tratamento. Durante o crescimento vegetativo, as plantas foram separadas em folhas e colmos e, após o pendoamento / espigamento, foram separadas em folhas, colmo, pendão e espiga. A espiga foi separada em palha, sabugo e grãos.

Todas as amostras foram identificadas e colocadas em estufa, com circulação forçada de ar e à temperatura de  $65^\circ C$ , até peso constante.

### 3.2.8. Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida

A taxa de crescimento da cultura e a taxa assimilatória líquida foram calculadas através das seguintes equações propostas por HUNT (1978):

$$TCC = \frac{1}{At} \times \frac{dP}{dT} = \frac{1}{At} \times \frac{P2 - P1}{T2 - T1} \quad (11)$$

sendo TCC a taxa de crescimento da cultura ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), At a área de terreno ( $\text{m}^2$ ), P2 e P1 o peso da matéria seca (g) de duas amostragens consecutivas e T o tempo (dias).

$$TAL = \frac{P2 - P1}{T2 - T1} \times \frac{\text{LnAF2} - \text{LnAF1}}{A2 - A1} \quad (12)$$

sendo TAL a taxa assimilatória líquida ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), AF2 e AF1 a área foliar ( $\text{m}^2$ ) de duas amostragens consecutivas e P2 e P1 o peso da matéria seca (g) de duas amostragens sucessivas e T o tempo (dias).

### 3.2.9. Rendimento de grãos e seus componentes

Para determinação do rendimento de grãos foram colhidas as espigas em uma área útil de 20  $\text{m}^2$  em cada repetição, correspondendo a sete linhas centrais no espaçamento de 0,80 m e quatorze linhas no espaçamento de 0,40 m de cada parcela. O rendimento de grãos foi extrapolado para um hectare, após a correção da umidade para 13%. Para a determinação da umidade, separou-se uma amostra de 1 kg de grãos de cada parcela, que foi colocado em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de aproximadamente 70 °C até peso constante. Da área útil foram contados o número de plantas e o número de espigas, para estimar os componentes número de plantas por hectare ( $\text{pl ha}^{-1}$ ) e número de espigas por planta ( $\text{esp. pl}^{-1}$ ). Da mesma área também foi coletada

uma amostra de 10 espigas, para contar o número de grãos por espiga ( $\text{gr esp}^{-1}$ ) e determinar o peso de 1000 grãos.

### 3.3. Condições ambientais

#### 3.3.1. Dados meteorológicos

Dados contínuos de radiação solar global, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluvial foram registrados e disponibilizados em intervalos de 15 min, através de uma estação meteorológica automática modelo W2000 (Campbell Scientific), localizada próxima à área do experimento.

#### 3.3.2. Balanço hídrico

O balanço hídrico decendial da cultura do milho foi calculado pela metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1955), utilizando-se uma capacidade de armazenagem de água disponível no solo (CAD) de 75 mm.

Os dados de entrada foram: a precipitação pluvial (acrescida da irrigação para nos tratamentos irrigados) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), em valores médios decendiais, estimada segundo a equação de Penman (1948):

$$ET_o = \frac{(s/\gamma) * (R_n/59) + E_a}{(s/\gamma) + 1} \quad (13)$$

sendo  $s$  o coeficiente angular da curva que relaciona a pressão de saturação e a temperatura média do ar ( $\text{mm Hg } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  o saldo de radiação ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e  $E_a$  o termo aerodinâmico, expresso por:

$$E_a = 0,35 * (e_s - e) * (0,5 + 0,01 * U_2) \quad (14)$$

sendo  $e_s$  a pressão de saturação do vapor (mm Hg), e a pressão real de vapor (mm Hg),  $U_2$  a velocidade do vento a 2 m de altura (milhas dia<sup>-1</sup>). O déficit de saturação ( $e_s - e$ ) foi calculado em função da umidade relativa do ar (%) e da temperatura média do ar (°C).

O quociente  $s/\gamma$  é função da temperatura do ar (°C) e foi determinado através da seguinte equação:

$$s/\gamma = \frac{33,8639 * (0,05904(0,00738T_m + 0,8072))^7 - 0,0000342}{0,6626} \quad (15)$$

sendo  $T_m$  a temperatura média do ar (°C).

Para a estimativa de  $R_n$  utilizou-se a equação determinada por Bergamaschi et al. (2003), para uma superfície gramada:

$$R_n = - 18,81 + 0,69 * R_g \quad (16)$$

sendo  $R_g$  a radiação solar global (cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).

### **3.3.3. Radiação fotossinteticamente ativa incidente e interceptada pela cultura**

A radiação fotossinteticamente ativa incidente no topo da cultura, correspondente à faixa de 400-700 nm, foi medida com um sensor “quantum” da marca LICOR, instalado acima da cultura.

A medição da radiação fotossinteticamente ativa transmitida ao solo pela cultura foi feita por conjuntos de sensores montados em barras de alumínio, de 100 cm de comprimento, contendo cinco células de silício amorfo ligadas em paralelo. Os sensores foram conectados a um sistema “datalogger” Campbell CR10, que registrava a cada 15 minutos, os componentes: RFA incidente e RFA

transmitida ao nível do solo. Os totais diários foram obtidos pelo somatório dos registros, considerando o período das 7 às 19 horas.

Para cada sistema de manejo do solo, disponibilidade hídrica e arranjo de plantas, foram instaladas três barras de medição de RFA transmitida pela cultura até o nível do solo. A instalação dos sensores para medição da radiação fotossinteticamente ativa transmitida pela cultura ocorreu aos 17 DAE.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura foi calculada pela seguinte expressão (Varlet-Grancher et al., 1989):

$$RFA_{int} = RFA_{inc} - RFA_{ts} \quad (17)$$

sendo  $RFA_{int}$  a radiação fotossinteticamente ativa interceptada,  $RFA_{inc}$  a radiação fotossinteticamente ativa incidente no topo da cultura e  $RFA_{ts}$  a radiação fotossinteticamente ativa transmitida pela cultura até a superfície do solo.

#### **3.3.4. Eficiência de interceptação e coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa**

A eficiência de interceptação ( $\epsilon_{int}$ ) da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura foi estimada pela razão entre a radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $RFA_{int}$ ), calculada pela equação 17, e a RFA total incidente sobre o dossel da cultura ( $RFA_{inc}$ ).

$$\epsilon_{int} = \frac{RFA_{int}}{RFA_{inc}} \quad (18)$$

Para a estimativa do coeficiente de extinção ( $k$ ) da RFA no interior do dossel, foram utilizados os resultados das eficiências de interceptação da RFA, relacionados com o índice de área foliar diário. Esta estimativa foi efetuada pelo

ajuste do coeficiente angular “b” da equação, baseada na lei de Beer, adaptada de Monsi e Saeki (1953):

$$\ln (1 - \varepsilon_{int}) = - b \cdot IAF \quad (19)$$

sendo  $\varepsilon_{int}$  a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, b o coeficiente angular da equação (inclinação da reta que estima o coeficiente de extinção) e IAF o índice de área foliar estimado a partir da equação 8.

### **3.3.5. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa**

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa (EUR) foi calculada em função da matéria seca acumulada em cada período e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada durante o mesmo período. O peso acumulado da matéria seca da parte aérea foi ajustado a uma equação do segundo grau, em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, sendo que o coeficiente angular da equação (inclinação da reta) representa a eficiência com que a população de plantas transforma a radiação fotossinteticamente ativa interceptada em biomassa da parte aérea, conhecida também, por eficiência de uso da RFA interceptada.

### **3.4. Análise dos resultados**

O efeito dos tratamentos (sistemas de manejo do solo, níveis de irrigação e arranjo de plantas) sobre as diferentes variáveis estudadas foi testado através da análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey (t), adotando-se como critério de significância valores de  $P \leq 0,05$ .



Aplicou-se também o teste t a 5% de probabilidade, para comparação da diferença entre os coeficientes “b” das equações de regressão linear do coeficiente de extinção da radiação solar, em função do índice de área foliar.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Condições meteorológicas do período experimental**

Dados de radiação solar global (Rg), temperatura do ar, precipitação pluvial (médias de 2004/05 e normais de 1970 a 2000), umidade relativa (UR) e evapotranspiração de referência (ETo) são apresentados na Figura 1 e Apêndices 2 e 3.

As condições meteorológicas ocorridas durante o período experimental, quando comparadas às médias climatológicas do local (Apêndice 2), apresentam diferenças, principalmente em relação à precipitação pluvial e à evapotranspiração de referência (ETo). A precipitação pluvial ficou abaixo da média em praticamente todos os meses de condução do experimento, com exceção do primeiro decêndio de dezembro e do segundo decêndio de fevereiro, onde se observa que a precipitação foi igual à média climatológica (Figura 1D). Tal situação caracterizou déficit hídrico prolongado às plantas nos meses de novembro a fevereiro.

No mês de janeiro, época crítica para a cultura do milho no presente experimento, a ETo foi 20 mm maior do que a média climatológica normal, em função da maior radiação solar global (Rg) observada neste mês. Já nos meses de novembro e dezembro a ETo foi menor que a média local.

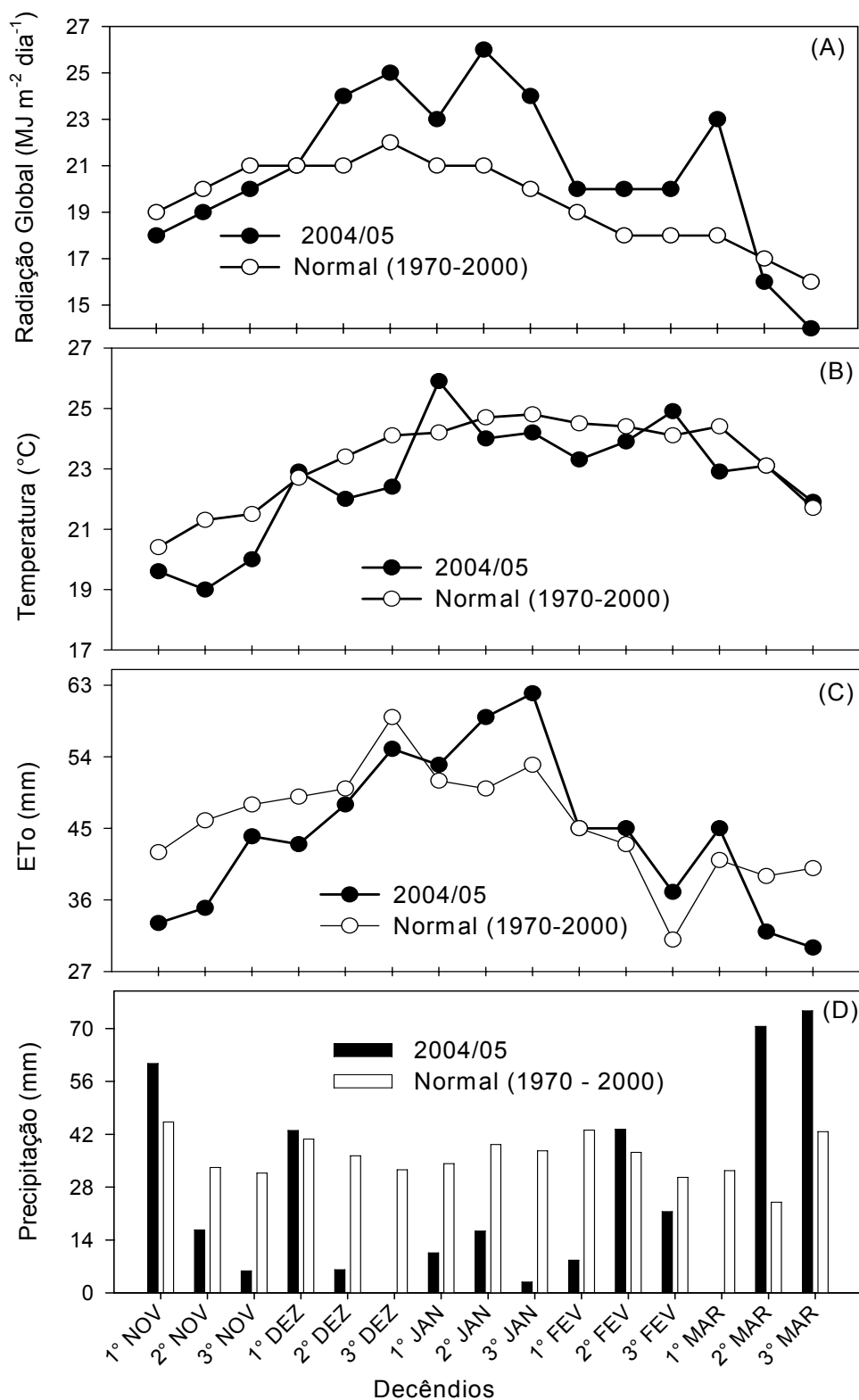


FIGURA 1. Radiação solar global (A), temperatura média do ar (B), evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) segundo Penman (C) e precipitação pluvial (D) em função dos decêndios. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05. Fontes: Boletim Agrometeorológico – EEA/UFRGS e Bergamaschi et al. (2003).

No período inicial de crescimento e desenvolvimento da cultura (dezembro), a precipitação foi 60 mm inferior às médias climatológicas, prejudicando a germinação e emergência do milho e, conseqüentemente, o estande inicial de plantas em algumas parcelas na área não irrigada. No primeiro decêndio de dezembro ocorreu precipitação pluvial acima da média climatológica, sendo que no segundo e terceiro decêndio, as precipitações pluviais foram abaixo da média climatológica. A partir da segunda quinzena de dezembro foram registrados apenas 6,1 mm de precipitação pluvial, nos dias 15 e 19.

A radiação solar global se manteve acima da média climatológica no mês de dezembro, sendo a máxima radiação global decendial de  $25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ocorrida no terceiro decêndio. Em dezembro a temperatura média do ar foi em torno de  $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , com variações de até  $17,9 \text{ }^\circ\text{C}$  nos períodos de máxima e/ou mínima (Apêndice 3). Com relação às temperaturas máxima e mínima, estas foram de  $36,2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $12,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. A umidade relativa média ocorrida nesse período foi em torno de 75%, com máxima e mínima de 91% e 68%, respectivamente (Apêndice 3).

No mês de janeiro, a precipitação pluvial total foi 73% menor do que a média climatológica, sendo que as menores precipitações pluviais ocorreram no primeiro e, principalmente, no terceiro decêndio, período de espigamento do milho. A radiação solar global manteve-se acima da média climatológica, sendo a máxima média decendial de  $26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ocorrida no segundo decêndio.

Em janeiro a temperatura média do ar foi em torno de  $24,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , com variações de até  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$  nos períodos de máxima e/ou mínima (Apêndice 3). Com relação às temperaturas máxima e mínima, estas foram de  $39,4 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $9,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

respectivamente. A umidade relativa média ocorrida nesse período foi em torno de 73%, com máxima e mínima de 93 % e 61 %, respectivamente (Apêndice 3).

Em fevereiro, também ocorreu precipitação pluvial abaixo da média climatológica no primeiro e terceiro decêndio, sendo que no segundo, a precipitação esteve acima da média climatológica. A radiação solar global (Rg) esteve acima da média climatológica nos três decêndios de fevereiro, sendo que a máxima radiação ficou em torno de  $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . A temperatura média do ar foi de  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ , mantendo-se próxima à média climatológica. As médias mais elevadas ocorreram nos dois primeiros decêndios com máximas de  $34 \text{ }^\circ\text{C}$  e mínimas de  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ . A umidade relativa média do ar ocorrida neste período foi de 75 %, com máxima e mínima de 92 e 61 %, respectivamente (Apêndice 3).

Na Figura 2 e Apêndices 4 e 5 é apresentado os excessos e os déficits hídricos para os tratamentos não irrigados (NI) e irrigados (I). Pela Figura 2 pode-se observar a ocorrência de déficit hídrico nas parcelas sem irrigação. O déficit hídrico ocorreu em praticamente todo o período experimental, sendo mais intenso do segundo decêndio de dezembro até o primeiro decêndio de fevereiro. Especificamente no mês de janeiro, ocorreu o maior déficit hídrico, sendo este mais intenso no segundo e terceiro decêndio, alcançando valores que chegaram a 58 mm nas parcelas sem irrigação (Apêndice 4). Tal situação caracterizou um déficit hídrico no período de pendramento/espigamento da cultura do milho, o qual, teve seu início em 17 de janeiro.

Através Figura 2, pode-se observar que as plantas de milho cultivadas com irrigação estiveram também sujeitas a um pequeno déficit hídrico em novembro (período inicial de desenvolvimento da cultura), que pode ser atribuído à elevada demanda atmosférica ocorrida, aliada a pequena quantidade de chuva,

principalmente, no segundo e terceiro decêndio. Além disso, o sistema de irrigação não havia sido instalado ainda, impossibilitando a irrigação neste período, o que não ocorreu no restante do ciclo da cultura.

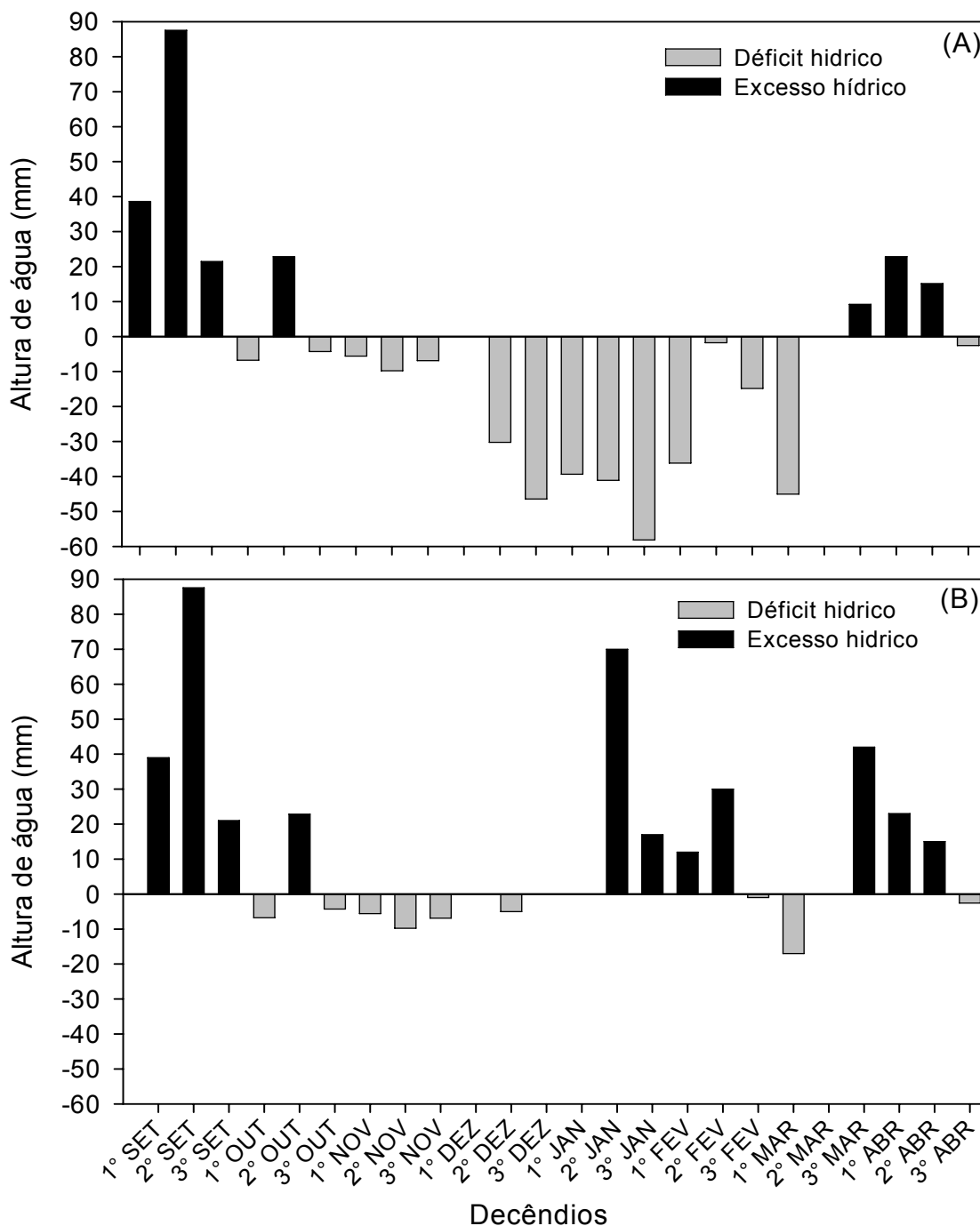


FIGURA 2. Excessos e déficits hídricos durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, sob dois níveis de irrigação: sem irrigação – NI (A) e com irrigação – I (B). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul– RS – 2004/05. Fonte: Boletim Agrometeorológico – EEA/UFRGS.

#### **4.2. Variação do potencial matricial da água no solo durante o ciclo da cultura**

Nas Figuras 3, 4 e 5 pode ser visualizada a evolução do potencial matricial ( $\Psi_m$ ) sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), nos dois espaçamentos utilizados, em diferentes profundidades, ao longo do ciclo de desenvolvimento e crescimento da cultura do milho na área irrigada e não irrigada.

Analisando-se a Figura 3, observa-se que houve diminuição do  $\Psi_m$  a medida que ocorreu esgotamento da água do solo, tanto em PD quanto em PC, devido principalmente, à absorção de água pelas raízes, devido à alta demanda evaporativa atmosférica no período. A perda de água do solo ocorreu, inicialmente, na camada mais próxima à superfície, evoluindo para as camadas de solo mais profundas a medida que se intensificou a secagem do mesmo. Resultados semelhantes foram observados por Dalmago (2004), em trabalho desenvolvido na mesma área em que foi conduzido o presente trabalho, com o objetivo de avaliar a dinâmica da água do solo em cultivo de milho sob diferentes sistemas de manejo do solo.

Na condição irrigada, de maneira geral, pode-se observar que não há diferença de  $\Psi_m$  nas profundidades de 7,5 e 15 cm entre os sistemas de manejo do solo, já que a coluna de mercúrio rompeu ao atingir seu limite de funcionamento. No entanto, quando se compara a variação do  $\Psi_m$  entre os dois sistemas de manejo do solo nas profundidades de 15, 30 e 45 cm, verifica-se que há uma diminuição mais acentuada do  $\Psi_m$  em PC em comparação ao PD. Com relação às profundidades de 7,5 a 30 cm, o  $\Psi_m$  aumentou, devido às irrigações

realizadas aos 43, 51, 57 e 71 DAE em todos os sistemas e espaçamentos avaliados.

Nas profundidades de 45 e 60 cm, no início das medições (40 DAE), o  $\Psi_m$  manteve-se praticamente constante em ambos sistemas, sendo que a partir de 48 DAE houve diminuição de  $\Psi_m$ , sendo esta queda mais intensa em preparo convencional (PC), tanto no espaçamento de 0,8 quanto de 0,4 m. Em PD, nas mesmas profundidades, observou-se uma pequena diminuição do  $\Psi_m$ .

Comparando-se os diferentes arranjos de plantas, observa-se que PDI40 apresentou maior  $\Psi_m$ , nas profundidades de 30, 45 e 60, em relação a PDI80. Este maior potencial matricial pode ser devido à distribuição mais uniforme das plantas na área, diminuindo, assim, a transmissividade da radiação para o solo e influenciando no processo de evaporação do mesmo, ou seja, o maior e mais rápido sombreamento das entrelinhas também diminui a proporção da água perdida através da evaporação do solo. Sharrat & McWilliams (2005), afirmam que a menor taxa de evaporação da água em espaçamentos reduzidos pode ser causada pelo grande sombreamento da superfície do solo (mais radiação interceptada pela cultura) bem como, pela redução da convecção ou advecção de ar entre linhas adjacentes da cultura. Convém salientar também o efeito dos resíduos vegetais, depositados na superfície do solo, sobre a umidade do mesmo. Bragagnolo & Mielniczuk (1990) observaram que a umidade era de 8 a 10% superior no solo com 5 a 7,5 t ha<sup>-1</sup> de palha de trigo na superfície em comparação com o solo desnudo, na profundidade de 0 a 20 cm, e que quatro dias após a irrigação, a umidade do solo desnudo se encontrava próxima à umidade do ponto de murcha permanente, enquanto que o solo coberto de palha estava com umidade na faixa de água disponível.



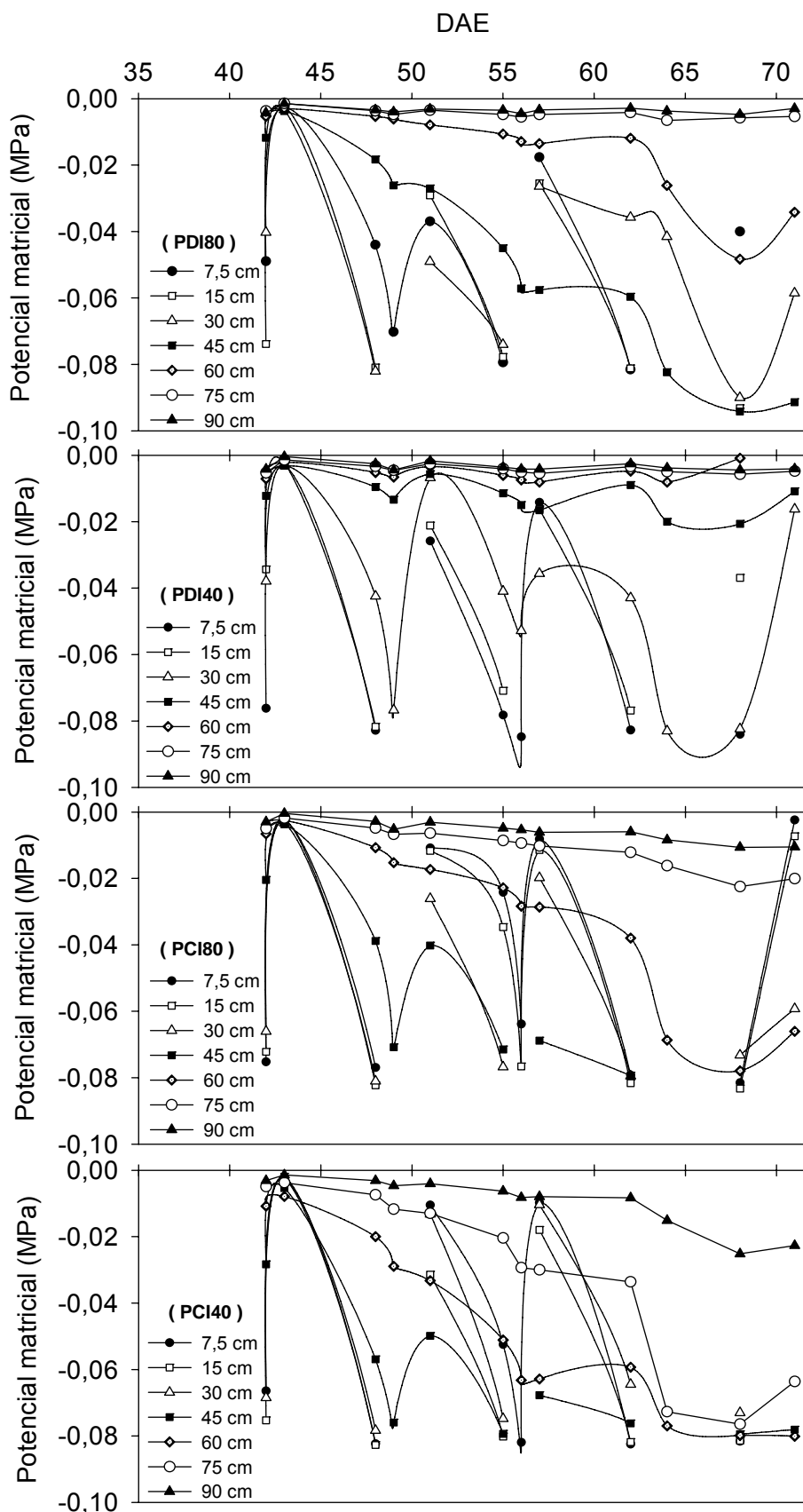


FIGURA 3. Potencial matricial da água no solo sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I), em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função de dias após a emergência (DAE). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.

Outro aspecto interessante a ser observado é a evolução do  $\Psi_m$  nas profundidades de 45 e 60 cm (Figura 3), onde o  $\Psi_m$  continuou em queda ao longo do tempo, mostrando que as precipitações e as irrigações não foram suficientes para umedecer o solo até estas profundidades. Essa queda contínua do  $\Psi_m$  mostra que houve extração de água do solo até estas profundidades, sendo que a mesma foi mais intensa em PC. Muitos pesquisadores têm constatado tendência de maior armazenamento de água em sistema plantio direto (PD) quando comparado ao preparo convencional (PC) (Hill et al., 1985; Dalmago et al.; 2003).

De maneira geral, os autores consideram que a maior disponibilidade de água em PD se deve às modificações físicas que ocorrem neste sistema de manejo do solo e à redução da evaporação. Segundo Hill et al (1985), o conteúdo de água num dado potencial matricial é maior em solo sob sistema de plantio direto, quando comparado ao convencional, devido à ocorrência de maior quantidade de poros com raio entre 0,1 e 10  $\mu\text{m}$ , os quais são responsáveis pela retenção de água. No que diz respeito à evaporação da água, Dalmago et al. (2003) concluíram que a evaporação é maior em PD, provavelmente pela própria presença da palha que mantém a evaporação mais estável ao longo do tempo. Esses autores atribuem tal característica, de maior disponibilidade de água em PD, à maior retenção de água que ocorre neste sistema e não às menores taxas de evaporação.

A evolução do  $\Psi_m$  nas camadas de 7,5 a 90 cm de profundidade, adotando-se dias específicos de medição, pode ser verificada na Figura 4. De maneira geral, observa-se que o padrão de extração de água pelo milho foi semelhante entre o solo em PD e em PC nos diferentes dias de medição. No entanto, os resultados mostram uma redução mais acentuada do  $\Psi_m$  no solo em

PC, principalmente, em virtude da menor disponibilidade de água armazenada no solo neste sistema de manejo. Esta tendência se mostrou mais clara nas camadas de 45 e 60 cm, onde se concentra a maior quantidade de raízes das plantas de milho. No período de pendoamento do milho (25/01/05) as diferenças na extração de água pelo milho entre o solo em PD e PC se intensificaram e apresentaram, nestas camadas, maior variação entre os dias de avaliação, principalmente, no solo sob PDI40, onde se observa os maiores potenciais.

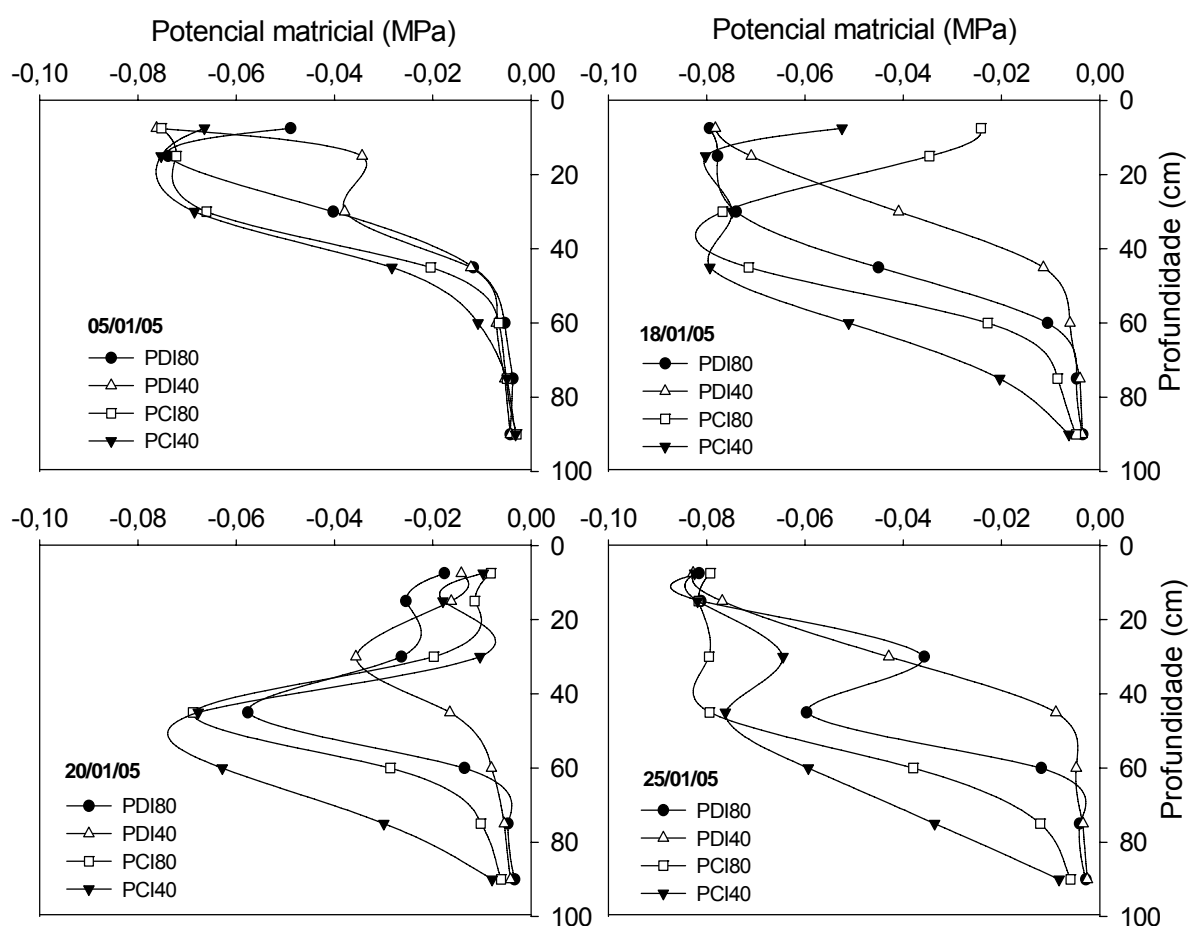


FIGURA 4. Potencial matricial da água no solo sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em diferentes dias de medição. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.

Nas parcelas não irrigadas, os tensiômetros instalados até a profundidade de 60 cm foram desativados por atingirem seu limite de

funcionamento (0,08 Mpa). Em função disto, serão apresentados os resultados do potencial matricial correspondentes às profundidades de 75, 90 e 105 cm (Figura 5). No PCNI80, o tensiômetro na profundidade de 75 cm também ficou desativado em função dos baixos  $\Psi_m$  neste tratamento (Figura 5A).

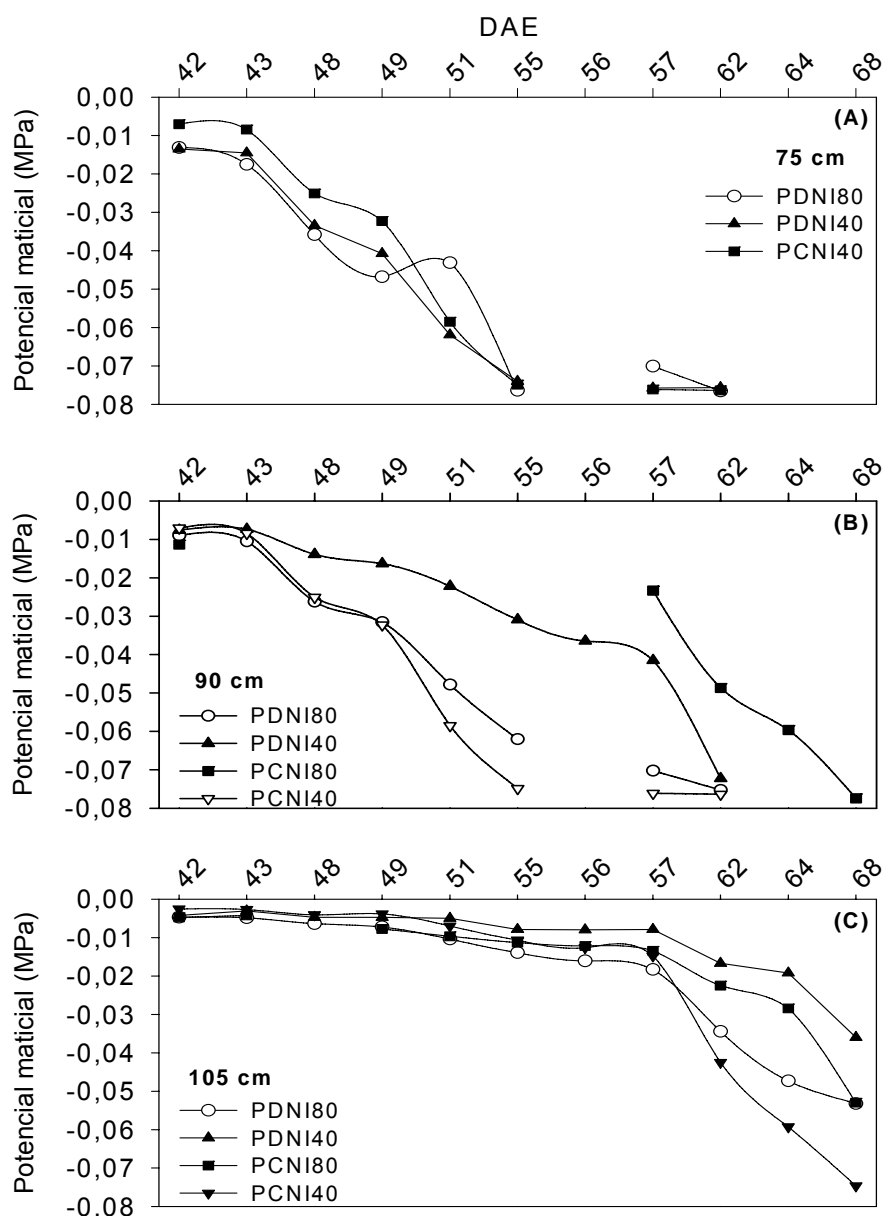


FIGURA 5. Evolução do potencial matricial da água do solo sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m) e em três profundidades: 75 cm (A), 90 cm (B) e 105 cm (C). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.

De maneira geral, observa-se que o potencial matricial ( $\Psi_m$ ) diminui durante o desenvolvimento da cultura em razão das baixas precipitações pluviárias

ocorridas durante o período das avaliações. Em ambos sistemas de manejo e espaçamentos,  $\Psi_m$  não seguiu uma tendência de superioridade entre um sistema e outro. Esta ausência de melhor condição hídrica sob PD pode ser atribuída às condições atípicas das variáveis meteorológicas, ocorrendo déficit hídrico intenso no período de condução do experimento. Um outro aspecto refere-se à profundidade das avaliações do potencial matricial (75 a 105 cm), tendo em vista que nestas profundidades o efeito do sistema de manejo do solo sobre a retenção da água não parece ser tão evidente. Muitos autores consideram que o efeito do manejo do solo sobre as características físicas, químicas e biológicas deste, são mais evidentes nas primeiras camadas exploradas pelo sistema radicular das plantas (Da Ros et al., 1997; Stone & Silveira, 2001).

Numa análise mais detalhada da evolução do  $\Psi_m$ , verifica-se que as plantas de milho na área não irrigada extraíram água até 105 cm de profundidade (Figura 5). Provavelmente, a extração de água nesta profundidade ocorreu por ascensão capilar, causada por gradientes formados entre esta camada de solo e as superiores e não por contato direto com as raízes do milho, conforme relatado por Dalmago (2004).

### **4.3. Crescimento e desenvolvimento da cultura do milho**

#### **4.3.1. Índice de área foliar e área foliar específica**

Na Figura 6 é apresentada a evolução do índice de área foliar (IAF), da emergência ao estágio de grão farináceo (1550 graus-dia acumulados), de todos os tratamentos avaliados. De maneira geral, a evolução de IAF no tempo seguiu padrão característico de plantas anuais. Verificou-se uma etapa inicial lenta, da emergência ao estágio de 8 folhas visíveis (300 graus-dia acumulados), seguida

de um rápido crescimento, de 8 folhas até 14 ou 15 folhas e de 11 ou 13, nos tratamentos irrigado e não irrigado, respectivamente. Houve, portanto, padrões contrastantes na evolução do IAF em função das condições hídricas. Estes resultados refletem o efeito direto desempenhado pela água na expansão celular que, segundo Cosgrove (1997), depende da extensibilidade da parede celular e do potencial de pressão. De acordo com Passioura (1994) mesmo déficits hídricos não muito severos afetam a expansão foliar.

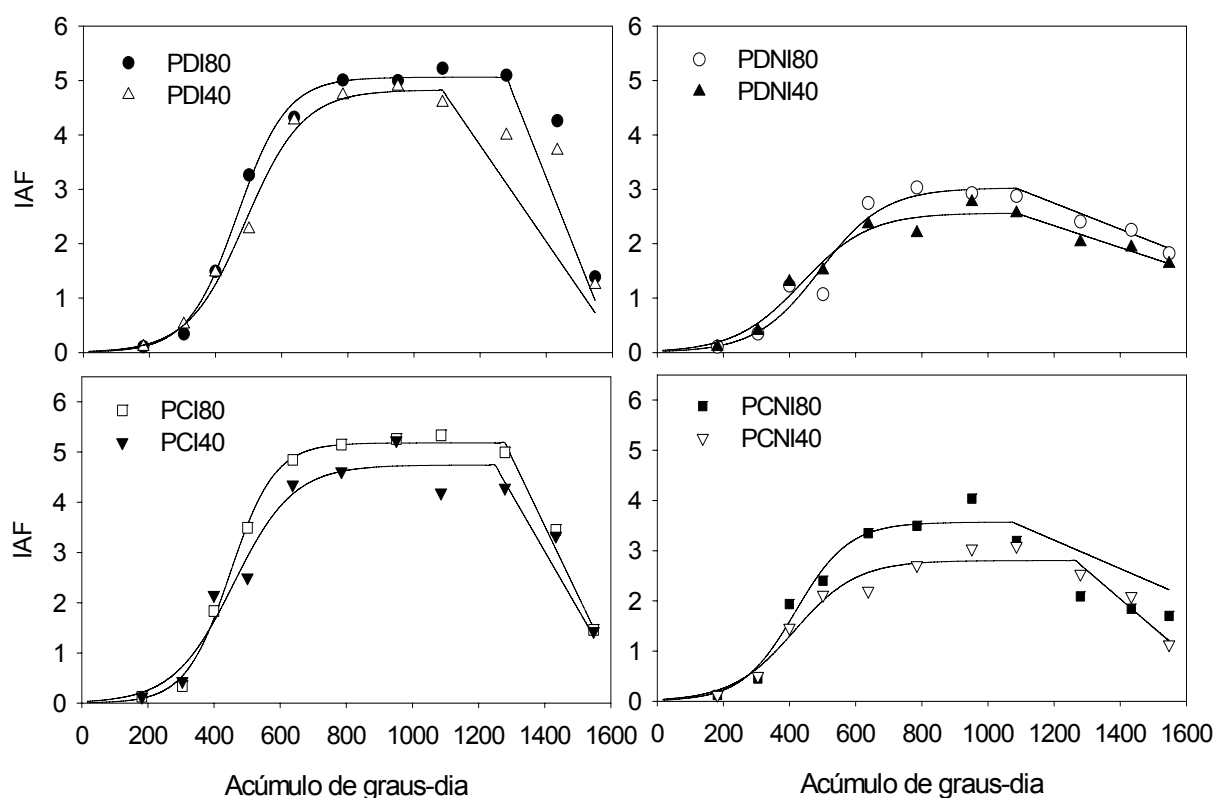


FIGURA 6. Evolução do índice de área foliar (IAF) medido (● ○) e estimado (—) do milho sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função de acúmulo de graus-dia. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.

O IAF máximo estimado do milho, na condição irrigada (I), atingiu valores de 5,06 e 5,18, com 950 graus-dia acumulados em PDI80 e PCI80,

respectivamente. Para o espaçamento de 0,4m o IAF máximo atingiu valores de 4,82 e 4,74, com 992 graus-dia acumulados no PDI40 e PCI40, respectivamente.

Na área não irrigada o IAF estimado oscilou entre 2,5 e 3,5, o que significou uma redução média de 40% em relação ao IAF máximo verificado na condição irrigada. As diferenças de IAF entre as condições hídricas podem ser atribuídas à menor taxa de expansão celular (Passioura, 1994) e ao intenso processo de senescência foliar ao qual a cultura esteve submetida em condições de déficit hídrico.

Após o IAF máximo, o mesmo começou a diminuir devido ao processo natural de senescência das folhas. A tendência de queda mais acentuada do IAF no espaçamento de 0,4 m, principalmente, em PDI40, (após 1100 graus-dia acumulados), pode ser atribuída a senescência das folhas basais do dossel da cultura. A senescência precoce pode ter ocorrido pelo auto-sombreamento das folhas basais no espaçamento de 0,4 m. Ou seja, as plantas podem acelerar o processo de senescência foliar devido ao alto coeficiente de extinção da radiação solar no interior do dossel em espaçamento reduzido, como será visto posteriormente. Resultados semelhantes foram constatados por Borrás et al., (2003) em um experimento em que foram avaliadas quatro densidades de semeadura em dois espaçamentos. Estes autores verificaram que a senescência das folhas foi maior em altas densidades de semeadura, embora ela tenha sido influenciada também pelas condições ambientais de crescimento da cultura.

A área foliar específica (AFE), que representa a razão entre a área foliar e seu respectivo peso de matéria seca (Figura 7), apresentou tendência de ser maior no espaçamento de 0,4 m irrigado, onde ocorreu menor disponibilidade de radiação transmitida no interior do dossel (menor quantidade de radiação

chegando à superfície do solo). Isto está de acordo com resultados obtidos por diversos autores, de que as folhas que realizam sua expansão celular sob condições de baixa disponibilidade de radiação solar são mais finas e tem maior área foliar do que aquelas que se expandem sob condições de alta disponibilidade de radiação solar (Reisser Júnior et al., 2003; Taiz & Zeiger, 2004), sendo esta uma das características, a partir da qual as plantas se modificam morfológicamente e criam condições para aproveitar os recursos disponíveis da melhor maneira possível, no sentido de maximizar sua produtividade.

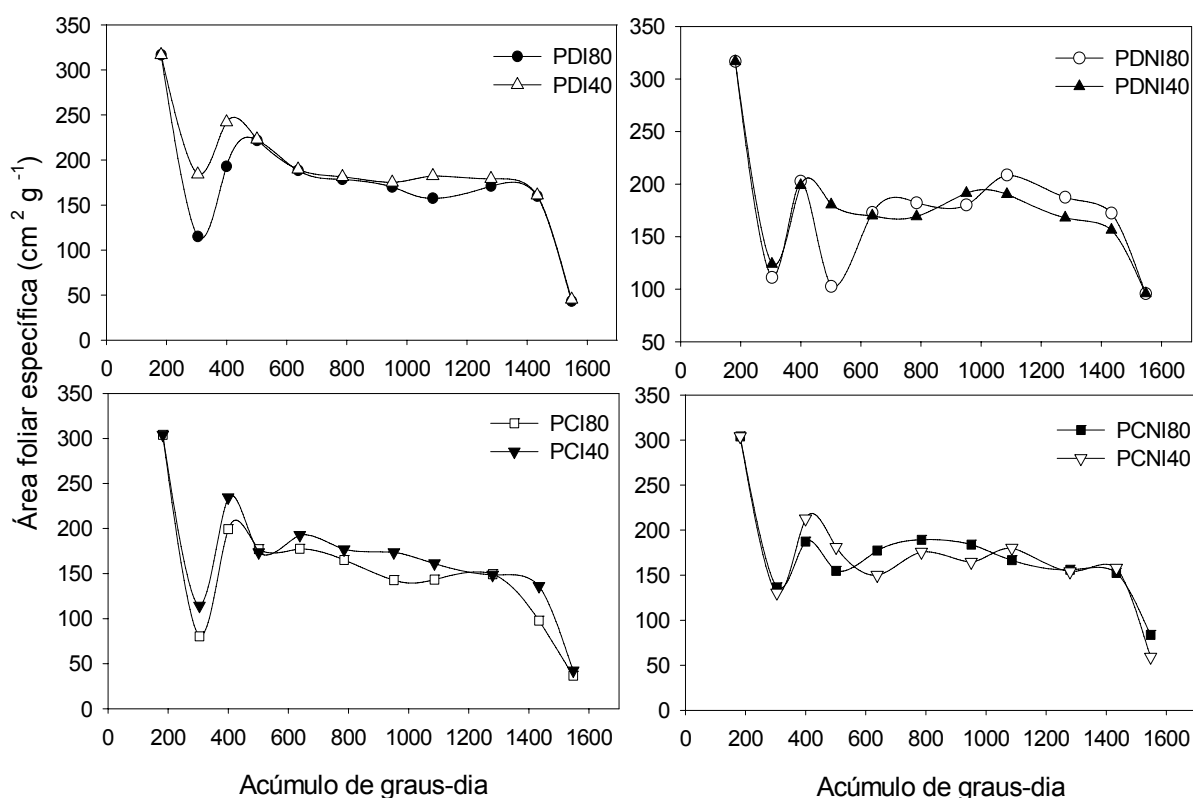


FIGURA 7. Área foliar específica (AFE) de milho sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função de acúmulo de graus-dia. EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.

Analisando os dados de área foliar específica, verifica-se que, tanto nos tratamentos irrigados quanto nos não irrigados, os valores de AFE foram maiores



no início do ciclo, em torno de 300 a 320 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, havendo uma redução gradual destes valores no decorrer do ciclo, se estabilizando em torno de 50 a 60 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. A Figura 7 demonstra que a AFE obedece a uma tendência que, praticamente, independe da disponibilidade hídrica. No início do ciclo a AFE é elevada, indicando a ocorrência de área foliar elevada por peso de matéria seca. De acordo com Bergonci et al. (1997) isto se deve ao fato de que, em plantas jovens, a grande maioria das folhas também são jovens, não apresentando, por isso, teores elevados de polissacarídeos estruturais, tais como celulose e lignina. À medida que a planta cresce, embora novas folhas venham surgindo, as emitidas no início do ciclo da planta já apresentam altas quantidades de polissacarídeos estruturais

Nos tratamentos não irrigados, ou seja, em condições de limitação hídrica, a AFE tende a ser menor devido ao acúmulo de material estrutural, tais como lignina e ceras, em resposta ao déficit hídrico (Levit, 1980). Ainda, de acordo com Bergonci et al. (1997), a deficiência hídrica atua diretamente sobre a área foliar específica já que diminui a disponibilidade de água e a decorrente quantidade de água presente nas células, impedindo que elas entrem em turgidez e possam aumentar de tamanho.

#### **4.4. Teor de clorofila**

Os maiores teores de clorofila total ocorreram nas parcelas com irrigação, em comparação aos tratamentos com deficiência hídrica, os quais em alguns dias de avaliação tiveram redução de 50% (Figura 8), como consequência dos menores conteúdos relativos de água (Figura 9). Devido ao déficit hídrico acentuado durante todo o ciclo da cultura (Figura 2), as diferenças se acentuaram

entre os tratamentos a partir de 57 dias após a emergência (DAE). Assim, o teor de clorofila apresentou diferenças significativas entre os níveis de disponibilidade hídrica nos períodos avaliados, com exceção do segundo período (48 DAE) (Apêndice 9).

O menor teor de clorofila, apresentado pelas plantas submetidas ao déficit hídrico pode estar associado ao processo de formação da clorofila e à perda da mesma pelo processo de senescência das folhas nas plantas estressadas, uma vez que, durante o estresse hídrico, os processos catabólicos aumentam em detrimento dos anabólicos (Lawlor, 2002; Quirino et al., 2000). Segundo Virgin (1965), os mecanismos de formação dos pigmentos localizados nos cloroplastos, são sensíveis a pequenas mudanças no conteúdo de água na planta. Da mesma forma, Viana et al. (2002) afirmam que a redução no conteúdo das clorofilas *a* e *b* em folhas de milho ocorre devido ao decréscimo no conteúdo relativo de água, acompanhado por aumentos na resistência estomática.

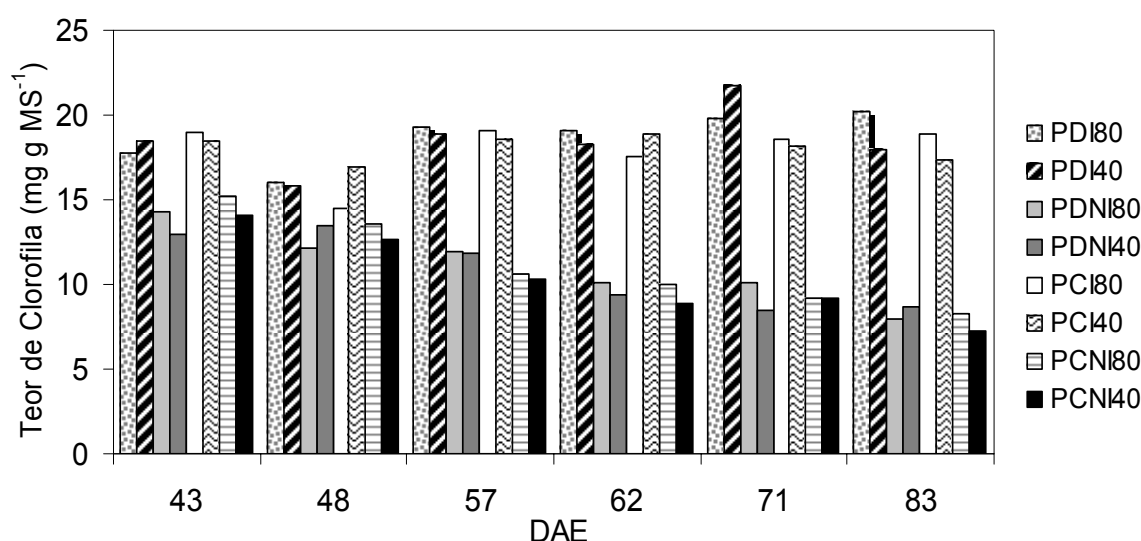


FIGURA 8. Teor de clorofila total (mg g MS<sup>-1</sup>) em folhas de milho, sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Outro fator que contribui para os baixos teores de clorofila na folha refere-se à baixa absorção de nitrogênio em condições de déficit hídrico, já que o teor de clorofila se correlaciona positivamente com o teor de N da planta (Schadchina & Dmitrieva, 1995). Os menores teores de N em plantas submetidas a déficit hídrico, atribuído a menor absorção do mesmo, devido à restrição de água no solo, diminui o fluxo em massa, mecanismo pelo qual o nitrogênio é absorvido (Tanguilig et al., 1987).

Para os diferentes arranjos de plantas (0,4 e 0,8 m) dentro de um mesmo sistema de manejo e disponibilidade hídrica, não houve diferenças quanto ao teor de clorofila nas folhas (Apêndice 9). Isto pode ser atribuído ao fato de que o teor de clorofila depende mais das condições hídricas e adubação nitrogenada do que outros fatores, tais como temperatura e radiação solar incidente. Em trabalho conduzido por Ottman & Welch (1989) com o objetivo de determinar a influência do espaçamento sobre radiação interceptada, concentração de nutrientes (NPK) e rendimento do milho, verificou-se que não houve relação entre a concentração de nutrientes e espaçamento de plantas em condições ótimas de crescimento e desenvolvimento da cultura.

#### **4.5. Conteúdo relativo de água**

O conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas apresentou variações semelhantes entre os dias de medição nos dois sistemas de cultivo e níveis de irrigação (Figura 9). Porém, houve tendência das plantas apresentarem valores maiores de conteúdo relativo de água em PD do que em PC, devido, provavelmente, à maior capacidade de retenção de água deste solo (Figuras 3 e 4). No entanto, somente PDNI80 apresentou maiores diferenças de CRA, embora

não significativas (Apêndice 10), entre os tratamentos não irrigados. Assim, a secagem do solo causou diminuição progressiva do conteúdo relativo de água, cujos valores foram sempre menores nas plantas não irrigadas.

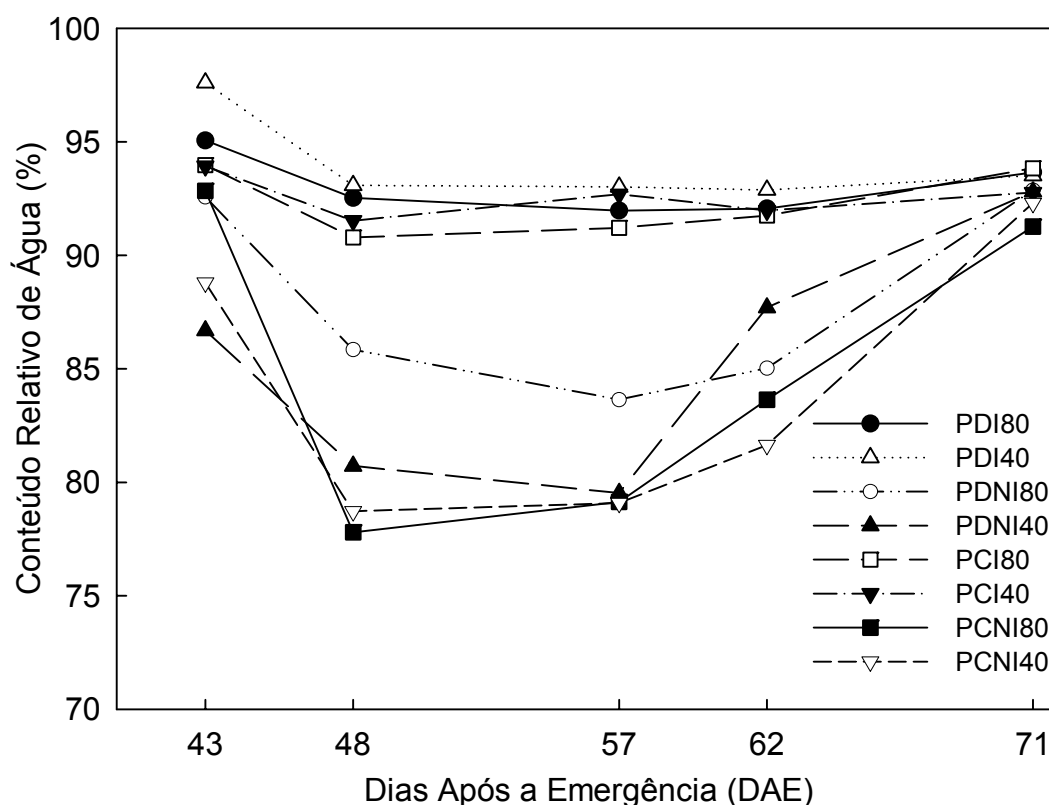


FIGURA 9. Conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de milho, sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Aos 48 dias após a emergência o CRA alcançou os menores valores nos tratamentos não irrigados (NI), sendo que estes foram de 78, 77, 81 e 85 % nos tratamentos PCNI80, PCNI40, PDNI80 e PDNI40, respectivamente. Por outro lado, nos tratamentos irrigados (I), o CRA se manteve próximo a 95%, indicando ausência de déficit hídrico. Os baixos valores de CRA nos tratamentos não irrigados podem ser atribuídos à combinação de elevada demanda evaporativa com baixa disponibilidade hídrica do solo durante vários dias consecutivos, que salientaram as diferenças entre os tratamentos irrigados e não irrigados (Figura

9). No entanto, observa-se que, no último dia de medições (71 DAE), os valores de CRA se igualaram. Isso foi devido às precipitações ocorridas de 69 a 71 DAE, que elevaram os valores de CRA.

O déficit hídrico pode levar as células a perderem sua turgidez, dependendo da intensidade em que ele ocorre, provocando, assim, alterações nos processos de crescimento e expansão celular, na fotossíntese e nas trocas gasosas com o ambiente (Kramer & Boyer, 1995). Segundo Bergamaschi (1992), o déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas devido à redução da área foliar (pela diminuição do crescimento ou pela morte das folhas), diminuição da fotossíntese (devido à diminuição da área foliar, murchamento e enrolamento de folhas e fechamento de estômatos).

Os valores de CRA que caracterizam a presença de estresse hídrico são variáveis em função das espécies vegetais (Levitt, 1980). Contudo, em mesófitas os mesmos estão em torno de 80%. Em arroz, Lafitte (2002), e em feijoeiro Lazcano-Ferrat & Lovatt (1999) observaram ocorrência de estresse a partir de CRA de 80%, resultando em acentuada queda de rendimento e aumento de prolina em feijoeiro. Em milheto, Kusaka et al. (2005) caracterizaram como estresse severo CRA abaixo de 80% e como suave entre 80 e 90%. Em milho Kang et al. (2002), observaram redução da área foliar a partir de CRA de 80%, caracterizando desta forma a ocorrência de estresse hídrico. Por outro lado, espécies de *Amaranthus*, caracterizadas como tolerantes à seca, só apresentaram sintomas da mesma a partir de 70 a 75% de CRA (Liu & Stützel, 2002).

Para plantas sem irrigação, o maior teor relativo de água sob plantio direto (PD) pode ser atribuído a uma maior disponibilidade de água às plantas neste sistema. Há também evidências de que o milho sob PD apresente características de plantas conservadoras de água, em condições de estresse hídrico. A partir de medidas de condutância foliar em milho sob PD e PC e diferentes disponibilidades hídricas, Bianchi (2004) concluiu que houve diminuição na condutância em PDNI devido ao fechamento estomático, sendo este um dos primeiros mecanismos de defesa contra a dessecação. Assim, a limitação na transpiração pode prolongar a turgidez das células em condições de estresse hídrico prolongado no milho sob semeadura direta, afetando a arquitetura das plantas e, conseqüentemente, a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa.

#### **4.6. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada e eficiência de interceptação**

Na Figura 10 está representada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada pela cultura do milho em função de graus-dia acumulados. Observa-se que RFA interceptada pela cultura do milho apresenta tendência de variação em função do índice de área foliar, já que este está relacionado ao acúmulo de graus-dia. De maneira geral, RFA interceptada foi menor no início do ciclo, e mais radiação fotossinteticamente ativa foi transmitida até a superfície do solo, o que é atribuído ao menor IAF neste período de estabelecimento da cultura (Figura 6). De acordo com Gallagher & Biscoe (1978), o aumento da RFA interceptada pelas culturas está relacionado com o índice de área foliar das plantas.

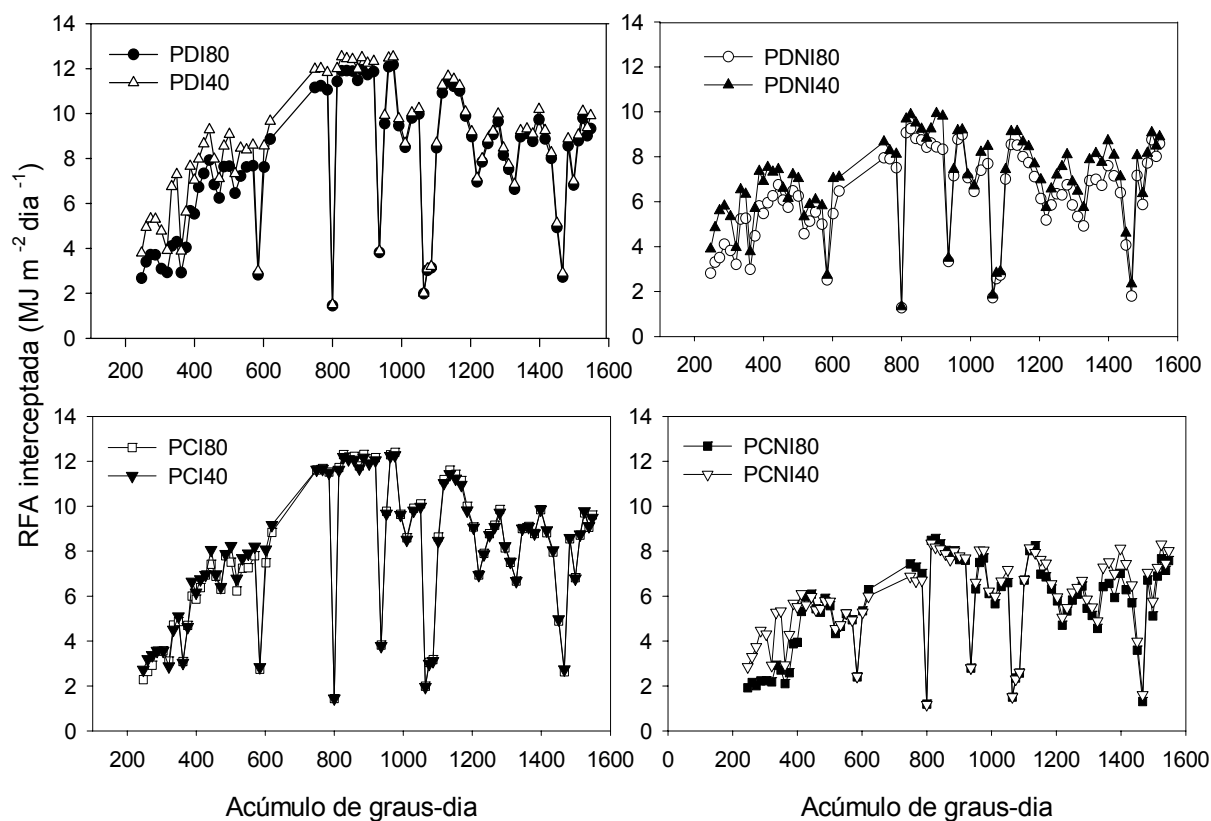


FIGURA 10. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura do milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função de acúmulo de graus-dia. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Analisando-se as diferentes condições hídricas, a quantidade de radiação interceptada pela cultura do milho permaneceu sempre mais elevada nos tratamentos irrigados, devido ao maior IAF em condições de ótima disponibilidade hídrica (Figura 6). Independentemente do sistema de manejo e espaçamento, o total de RFA interceptada pela cultura, nos tratamentos irrigados, foi de 624 MJ, enquanto que nos tratamentos sem irrigação foi de 474 MJ para todo o ciclo. Ou seja, houve uma redução de 25% na quantidade de RFA interceptada nos tratamentos sem irrigação em comparação aos tratamentos irrigados. A diminuição da quantidade de RFA interceptada é atribuída ao menor

IAF das plantas e ao processo de enrolamento das folhas causado pelo déficit hídrico (Figura 9).

Segundo Carlesso (1997) a redução na interceptação da radiação solar do dossel vegetativo da cultura do milho, em situações de déficits hídricos aplicados antes da antese é devida, principalmente, à menor expansão da área foliar e ao maior enrolamento das folhas. Resultados de determinações de enrolamento das folhas de diferentes genótipos de milho mostraram diferenças de até 50 % na quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura (Wright et al., 1983).

Numa análise mais detalhada da Figura 10, observa-se que a quantidade de RFA interceptada pela cultura do milho apresentou tendência de ser mais elevada no arranjo de plantas com espaçamento reduzido, principalmente, nos tratamentos PDI40 e PDNI40. A maior quantidade de radiação interceptada nestes espaçamentos reduzidos exerce influência positiva na eficiência de interceptação da RFA, bem como no coeficiente de extinção da radiação, como discutidos abaixo.

Na Figura 11 está representada a eficiência de interceptação de RFA ( $\epsilon_{int}$ ) da cultura do milho em função do índice de área foliar. O aumento de IAF da cultura foi acompanhado por um aumento da eficiência de interceptação da RFA até 50 a 60 dias após a emergência, quando ocorreu o IAF máximo (Figura 6). A partir deste período, o dossel cobria grande parte do solo, assim tendendo à estabilização da eficiência de interceptação num limite máximo (Figura 11). Os resultados obtidos no presente experimento estão de acordo com os relatados por Akmal & Janssens (2004) para azevém e por Müller (2001), Bergamaschi et al. (2004b) e Linqvist et al. (2005) para o milho.



Analisando-se os diferentes espaçamentos, os resultados da Figura 11 indicam que, para uma mesma densidade de plantas, há uma tendência de aumento da eficiência de interceptação da RFA com a redução do espaçamento entre as linhas de semeadura. Isso ocorre devido à distribuição mais eqüidistante entre as plantas, que possibilita a ocupação mais rápida do espaço entre as linhas de plantas. Assim, apesar do menor IAF nos menores espaçamentos (Figura 6), a eficiência de interceptação de RFA foi maior neste tratamento. Esta resposta evidencia que a eficiência de interceptação da RFA não depende somente do IAF, mas também do arranjo de plantas na área e de outros fatores tais como o ângulo foliar, a disposição de folhas na planta, a interceptação de luz por outras partes da planta e, as características de absorção de luz pelas folhas, que desempenham um papel importante na eficiência de interceptação de RFA ( $\epsilon_{int}$ ). De acordo com Flénet et al., (1996) menores espaçamentos podem permitir uma melhor distribuição espacial das plantas, favorecendo a interceptação da RFA, além de reduzir a competição entre plantas na linha por água, luz e nutrientes (Johnson et al. 1998).

A tendência de maior eficiência de interceptação da RFA ( $\epsilon_{int}$ ) pelas plantas em PD, nos dois níveis de irrigação e arranjo de plantas, evidencia condições distintas de um ou mais fatores de crescimento das plantas entre os sistemas de cultivo. Esta maior eficiência pode ser atribuída à melhor condição hídrica do solo sob plantio direto, em comparação ao preparo convencional (Figura 4). Esta condição pode indicar a tendência das folhas em manter um conteúdo relativo de água mais elevado (Figura 9), que pode fazer com que as plantas apresentem uma arquitetura foliar mais aberta, ocupando maior espaço e interceptando maior quantidade de RFA.

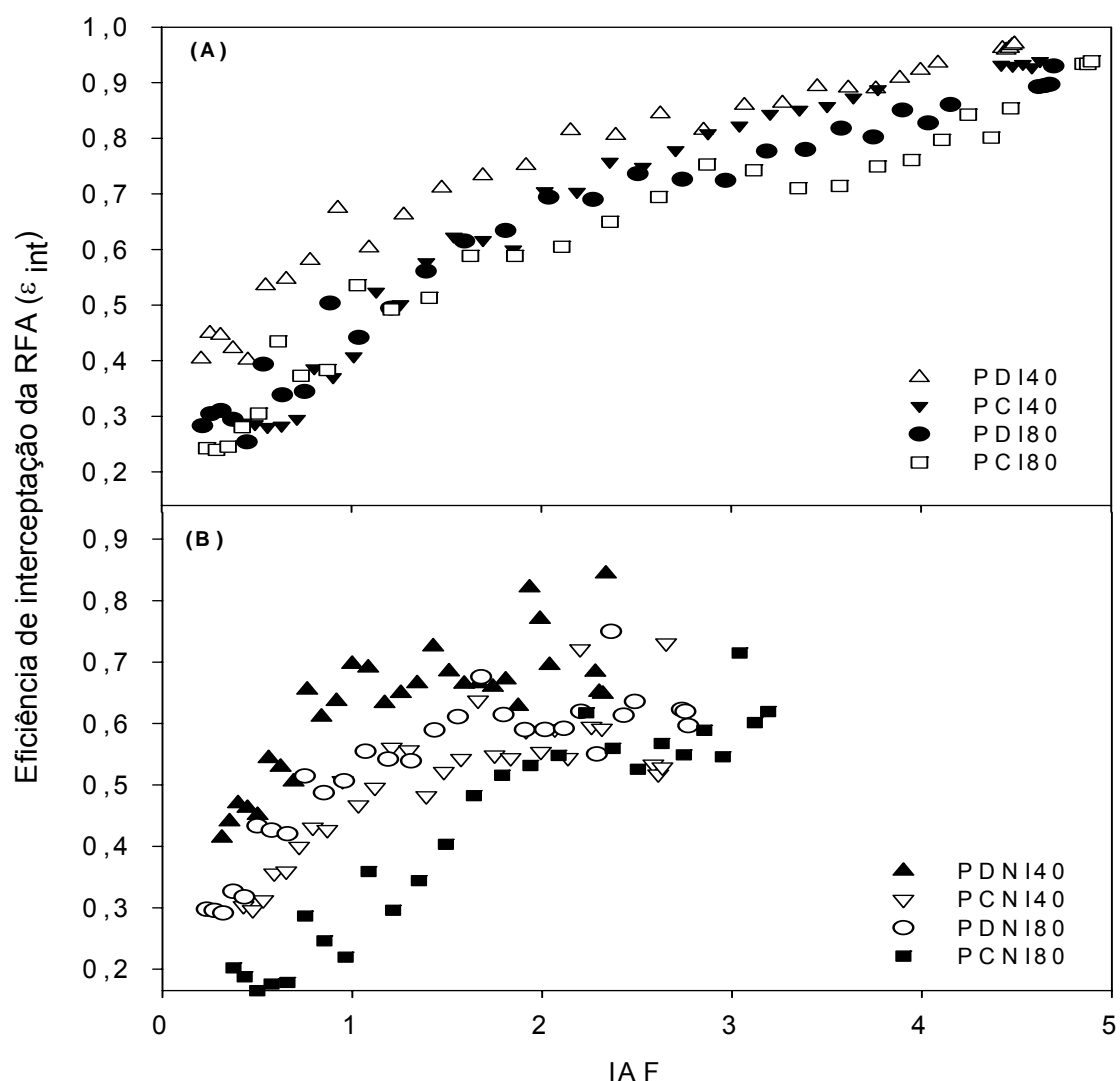


FIGURA 11. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) (A) e não irrigado (NI) (B), em dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função do índice de área foliar. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Bergamaschi et al. (2004) em experimento conduzido na mesma área do presente estudo, encontraram resultados diferentes, cujas conclusões se fundamentaram numa maior  $\epsilon_{int}$  em preparo convencional. Os autores afirmam que é possível que as plantas sob plantio direto apresentem uma arquitetura foliar mais compacta, com folhas mais eretas, o que permite maior transmissividade de RFA para o solo.

Por outro lado, as plantas em preparo convencional, podem ser caracterizadas como apresentando arquitetura foliar mais aberta, com folhas tendendo a planifolia e, desta forma, ocupando maior espaço, interceptando maior quantidade de RFA. Tal tendência foi atribuída a uma melhor condição nutricional do solo em preparo convencional, devido à maior disponibilização de nitrogênio às plantas neste sistema comparação ao plantio direto (Bergamaschi et al., 2004).

No presente estudo, o aumento na  $\epsilon_{int}$  sob PD, também pode ser atribuído às condições meteorológicas atípicas ocorridas neste ano agrícola, que se caracterizaram por uma longa estiagem com elevada demanda evaporativa atmosférica (Figura 1), tornando a condição hídrica das plantas um fator limitante, mesmo em condições irrigadas. Como no plantio direto há maior disponibilidade hídrica, os efeitos da estiagem e demanda evaporativa foram minimizados.

De acordo com Bianchi (2004), as plantas sob plantio direto apresentam características conservadoras de água. Os resultados mostraram que, em uma situação de elevada demanda evaporativa, houve uma diminuição da condutância foliar pelo fechamento estomático, que mantém a turgidez das folhas em relação às plantas sob PC. Os dados de conteúdo relativo de água mostram uma certa tendência de melhor condição hídrica das folhas sob plantio direto irrigado e não irrigado (Figura 9). Portanto, pode ter ocorrido um pequeno déficit hídrico no solo em preparo convencional, mesmo irrigado, reduzindo assim a  $\epsilon_{int}$  de RFA neste sistema, considerando, também, que o momento de irrigar era determinado pelo potencial matricial no plantio direto, penalizando de certa forma o plantio convencional, já que o potencial matricial da água no diminui mais rapidamente neste sistema (Figuras 3 e 4).

Nos tratamentos não irrigados (Figura 11B), os resultados demonstram que o déficit hídrico provocou uma acentuada variação na  $\epsilon_{int}$  da RFA para índices de área foliar semelhantes. Este efeito pode estar associado ao enrolamento das folhas, pois mesmo que a disponibilidade hídrica do solo diminua de forma gradual em períodos secos, existem variações no grau de enrolamento das folhas, entre os dias, devido a variações da demanda evaporativa provocada pelas condições meteorológicas. A mudança mais visível no dossel de uma cultura de milho submetida a déficit hídrico é o enrolamento das folhas, cuja intensidade está relacionada ao potencial da água nas folhas (Begg, 1980; Wright et al., 1983). Assim, a deficiência hídrica além de provocar o enrolamento foliar, limita o crescimento do índice de área foliar, afetando a eficiência de interceptação e de conversão da RFA, refletindo em menor produção de matéria seca aérea nos tratamentos não irrigados, de maneira geral.

No entanto, observa-se que os tratamentos PDNI40 e PDNI80 apresentam valores mais elevados de eficiência de interceptação da RFA. Assim, pode-se inferir que o enrolamento foliar, além de ser provocado pelas condições meteorológicas, pode ser devido à variabilidade do armazenamento de água do solo, mostrando assim, uma melhor condição hídrica das plantas sob PDNI em relação ao PCNI (Figura 10). Nesse sentido, Dalmago et al. (2003) também observaram que o sistema de semeadura direta mantém maior disponibilidade de água por um período mais prolongado, em relação ao sistema convencional. Portanto, a melhor condição hídrica das plantas em plantio direto não irrigado, poderia explicar a maior eficiência de interceptação da RFA em condições extremas de déficit hídrico neste sistema de manejo do solo.

#### **4.7. Coeficiente de extinção para a radiação fotossinteticamente ativa**

Na Figura 12 é apresentada a relação entre o termo  $\ln(1-\varepsilon_{int})$  e o índice de área foliar, sendo o coeficiente de extinção ( $k$ ) igual ao modulo de regressão. O coeficiente de extinção para a RFA teve valores variáveis em função do sistema de manejo do solo, irrigação e, principalmente, em função do arranjo de plantas com espaçamento reduzido.

Müller (2001) na mesma área do presente estudo, sob preparo convencional e espaçamento de 0,80 m entre linhas obteve um coeficiente de extinção de 0,70, calculado a partir de um IAF alto, acima de 2,7. O menor coeficiente de extinção obtido no presente trabalho deve-se ao fato do mesmo ter sido calculado para todo o ciclo da cultura, ou seja, desde IAF baixos até o IAF máximo. Outro fator que pode ter contribuído para os baixos coeficientes de extinção, principalmente no espaçamento de 0,8 m, se deve ao híbrido utilizado, que se caracteriza por apresentar folhas com angulação mais ereta, além de menor estatura, que permite uma maior penetração de luz no interior do dossel.

Na área irrigada e no espaçamento de 0,8 m, os valores de  $k$  foram de 0,54 e 0,51 em PDI80 e PCI80, respectivamente. Enquanto que nos espaçamentos de 0,4 m o  $k$  teve valores mais elevados em relação aos observados no espaçamento de 0,8 m. Os valores obtidos para o coeficiente de extinção da RFA foram de 0,75 e 0,62 no PDI40 e PCI40, respectivamente, demonstrando que houve efeito do arranjo de plantas sobre a distribuição da RFA no interior do dossel da cultura do milho. Para todos os tratamentos, os valores de  $k$  aumentaram significativamente com a diminuição do espaçamento entre linhas de 0,8 m para 0,4 m (Apêndice 11). Flénet et al., (1996), em um experimento com

quatro diferentes culturas, também verificaram que os valores de  $k$  aumentaram significativamente com a redução do espaçamento de 1,0 m para 0,35 m, indicando a maior eficiência de interceptação da RFA em espaçamentos reduzidos. Essas maiores diferenças no coeficiente de extinção são atribuídas à distribuição mais uniforme das plantas na área e a arquitetura foliar, com relação ao espaçamento reduzido (Flénet et al., 1996), resultando em diferentes padrões de distribuição da radiação através das folhas, alterando o coeficiente de extinção para a RFA. Em trabalho desenvolvido por Maddonni et al. (2001), no qual avaliaram o efeito da população e do espaçamento de plantas sobre a arquitetura do dossel e o coeficiente de extinção, concluíram que o aumento do coeficiente de extinção da RFA foi atribuído a mudanças na arquitetura de plantas, que é função do tamanho, forma e orientação das folhas. Há também outros fatores que causam variações no coeficiente de extinção como, por exemplo, a menor eficiência de interceptação em genótipos de milho com folhas mais eretas e de menor tamanho, permitindo assim, que uma maior parcela da radiação seja transmitida até o solo. Esta é uma característica que tem base genética e pode determinar diferenças entre cultivares, quanto à capacidade de interceptar a radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $RFA_{inc}$ ) entre as camadas de folhas.

Entre os sistemas de manejo do solo, se observa que houve maior diferença no coeficiente de extinção da RFA no espaçamento de 0,4 m (PDI40 e PCI40) Os valores de  $k$  foram mais elevados em plantio direto (PD) do que em preparo convencional (PC). Os maiores valores de  $k$  em PD vão ao encontro da maior quantidade de RFA interceptada neste sistema de manejo, principalmente, no PDI40 que pode ser atribuída à melhor condição hídrica do solo e, conseqüentemente, das plantas. Esta tendência aparece de forma mais evidente

quando analisado a Figura 11, que apresenta a eficiência de interceptação da RFA pela cultura do milho, a qual apresentou tendência de ser maior no sistema de plantio direto, nos dois níveis de irrigação e arranjo de plantas .

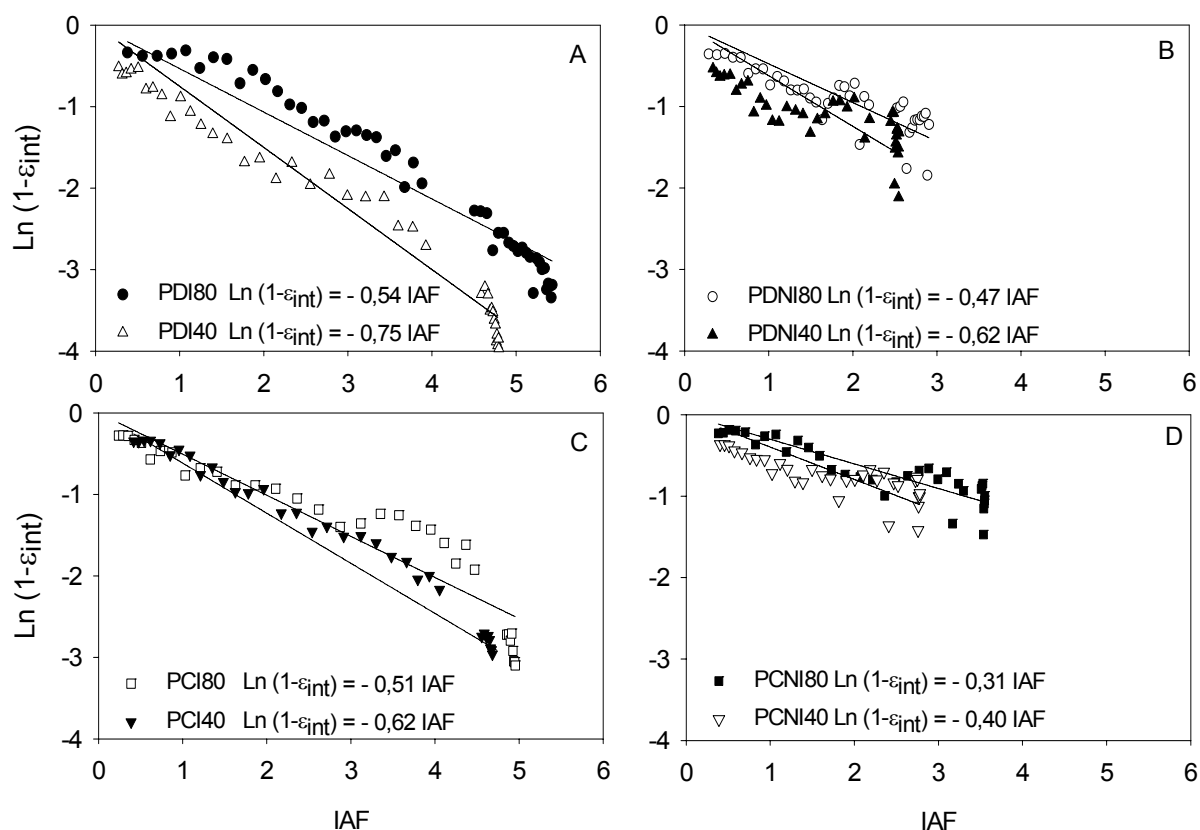


FIGURA 12. Relação entre o termo  $\text{Ln}(1-\epsilon_{\text{int}})$  e o índice de área foliar (IAF) na cultura do milho, em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função do índice de área foliar. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Os resultados apresentados neste trabalho com relação aos valores do coeficiente de extinção apresentaram variações em comparação aos coeficientes encontrados na literatura. Estas diferenças podem ser atribuídas a alterações no tamanho, distribuição e ângulo de inclinação das folhas, bem como pela densidade populacional utilizada nos experimentos. Os valores estimados de 0,54 e 0,51 para o PDI80 e PCI80, respectivamente, situam-se no limite inferior dos valores estimados por Müller (2001) de 0,68 e são superiores aos estimados por

Bergamaschi et al. (2004) de 0,35 e 0,48 em plantio direto e preparo convencional, respectivamente, para a cultura do milho. Para Lambers et al. (1998), baixos coeficientes de extinção são mais efetivos na transferência de radiação para o interior do dossel, podendo resultar em melhor aproveitamento da radiação pelo dossel como um todo.

No espaçamento de 0,4 m os valores do coeficiente de extinção também diferem dos resultados encontrados na literatura. Westgate et al. (1997) encontraram valores médios de  $k$  de 0,48 para a cultura do milho no espaçamento de 0,38 m e população de 7,4 plantas  $m^{-2}$ . Também com a cultura do milho, Barbieri et al. (2000) obtiveram valores de  $k$  de 0,56 e 0,68 nos períodos de pré e pós-florescimento da cultura, respectivamente. Estes autores afirmam, ainda, que o aumento da RFA interceptada foi devido ao aumento do coeficiente de extinção da radiação em espaçamentos reduzidos.

Nas parcelas não irrigadas o coeficiente de extinção teve valores de 0,47 e 0,31 em PDNI80 e PCNI80, respectivamente. Enquanto que para os menores espaçamentos, o coeficiente foi de 0,62 e 0,40 em PDNI40 e PCNI40, respectivamente. Observa-se que em condições de déficit hídrico, os valores do coeficiente de extinção, bem como dos pontos que geram este parâmetro, apresentam elevada variabilidade (Figura 12B e 12D). Esta maior variabilidade dos valores do coeficiente de extinção, assim como da grande dispersão dos pontos na Figura 12B e 12D pode ser atribuída ao enrolamento das folhas, quando a população de plantas apresentava deficiência hídrica (Figura 9) diminuindo, desta forma, a área foliar exposta à radiação solar e permitindo que uma maior parcela de radiação incidente fosse transmitida por entre o dossel das plantas, até a superfície do solo. Plantas submetidas a déficit hídrico diminuem a



eficiência de interceptação da RFA e, como conseqüência, também há diminuição do coeficiente de extinção, principalmente pelo enrolamento foliar (Müller, 2001). Este autor afirma que em condições de cultura não irrigada, o valor do coeficiente de extinção estimado para o milho foi extremamente variável em função de outros fatores que não apenas o IAF, não se ajustando a uma equação da reta.

Observa-se que o PDNI40 e o PDNI80 apresentam valores mais elevados de  $k$  em relação ao PCNI40 e PCNI80. Assim, pode-se deduzir que o enrolamento foliar afetou mais negativamente o  $k$  nestes tratamentos, tendo-se em vista que o conteúdo relativo de água foi menor em PCNI40 e PCNI80 (Figura 9), do que o menor IAF nos tratamentos não irrigados (Figura 6).

#### **4.8. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa**

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa (EUR) corresponde ao coeficiente de regressão linear entre valores de matéria seca acumulada (MS) e radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura, num determinado período. Este parâmetro estima a eficiência de conversão da radiação solar em matéria seca acumulada da parte aérea ( $\text{g MS MJ}^{-1}$  de  $\text{RFA}_{\text{int}}$ ), conforme representado na Figura 13. Resultados obtidos com diferentes espécies mostram que a matéria seca pode ser descrita por uma função linear da radiação interceptada pelo dossel de plantas, sendo possível estimar a produção de matéria seca através da eficiência de utilização da radiação (EUR) (Tollenaar & Bruulsema, 1988; Russel et al., 1989).

Os coeficientes angulares obtidos neste trabalho demonstram que a eficiência de uso de RFA foi de 4,0, 3,23, 1,4 e 1,1 g de MS aérea para cada megajoule de  $\text{RFA}_{\text{int}}$  nos tratamentos sob plantio direto (PDI80, PDI40, PDNI80 e

PDNI40, respectivamente). Enquanto que para os tratamentos sob preparo convencional a eficiência foi de 3,54, 3,69, 1,19 e 1,50 g de MS aérea pra cada megajoule de  $RFA_{int}$  (PCI80, PCI40, PCNI80 e PCNI40, respectivamente).

Analisando-se os diferentes arranjos de plantas, observa-se que a eficiência de uso da  $RFA_{int}$  foi menor no PDI40 em relação ao PCI40, alcançando valor de 3,2 g MS MJ<sup>-1</sup> de  $RFA_{int}$ , enquanto que sob PCI40 a eficiência de uso da  $RFA_{int}$  foi de 3,7 g MS MJ<sup>-1</sup> de  $RFA_{int}$ . A menor eficiência de conversão da  $RFA_{int}$  em matéria seca da parte aérea (MS) sob PDI40, pode ter sido causada pelo sombreamento mútuo das folhas neste espaçamento, causando senescência das mesmas. Este fato pode ser confirmado pela queda mais acentuada e menor IAF em PDI40 (Figura 6). Ou seja, mesmo com uma alta eficiência de interceptação da RFA (Figura 11) e um alto coeficiente de extinção (Figura 12), que significa menos radiação transmitida às folhas inferiores do dossel, não se confirmou o que vários autores afirmam, de que a produção de MS por uma cultura é diretamente proporcional à quantidade de radiação interceptada. Assim, estes dois parâmetros isolados mostram que não há maior produção de matéria seca na cultura do milho, o que pode ser atribuído a outros fatores, para que houvesse tal variação na eficiência de uso da radiação. Charles-Edwards et al. (1986) afirmam que em plantas com alta densidade populacional, as folhas que se encontram nos níveis mais baixos, dentro do dossel, ficam mais sombreadas e possuem atividade metabólica baixa e, com isso não contribuem para o crescimento da planta.

Em condições de crescimento não limitantes, ou seja, livre de qualquer tipo de estresse, a produção de biomassa vegetal é proporcional ao acúmulo de radiação interceptada pela cultura (Shibles & Weber, 1966). Deste modo, plantas que estão sob algum tipo de estresse podem interceptar e absorver a mesma

quantidade de radiação que plantas não estressadas. Porém, plantas estressadas podem apresentar menor taxa fotossintética e, com isso, uma menor eficiência de uso da radiação.

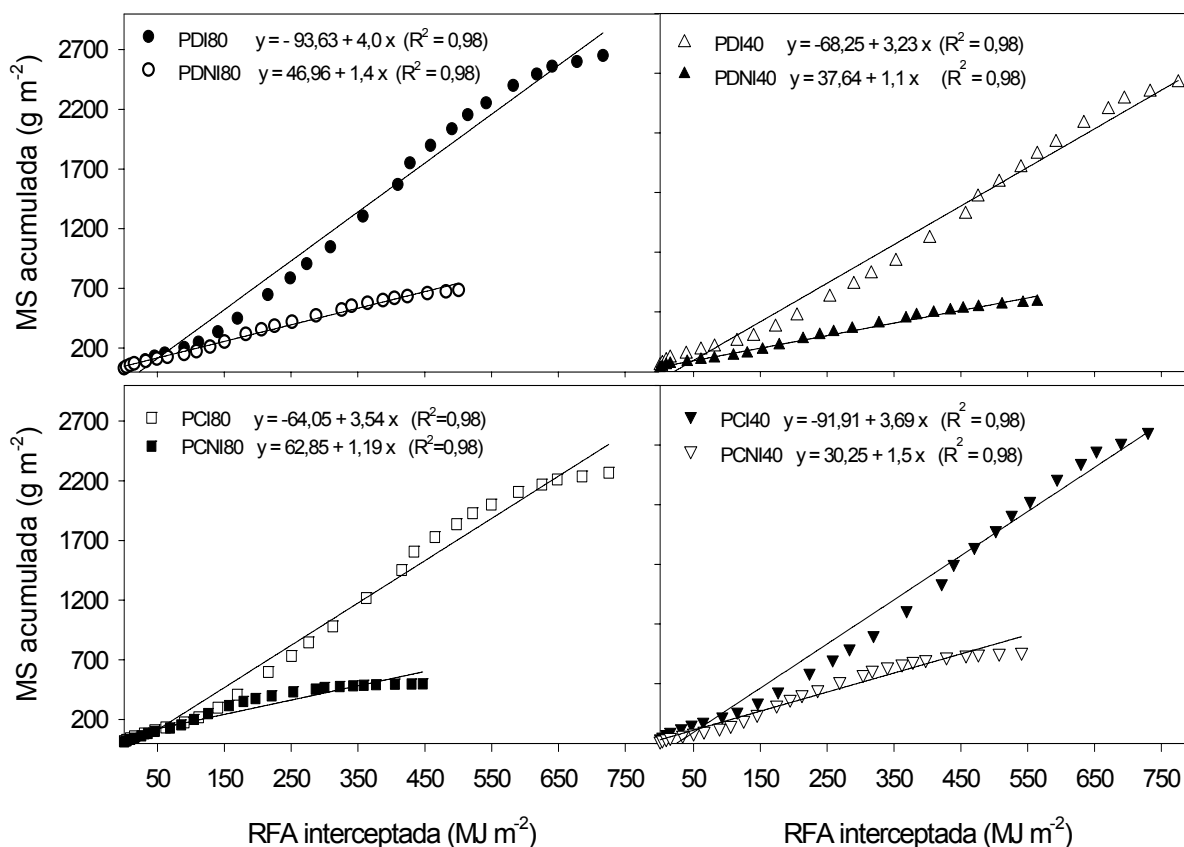


FIGURA 13. Relação entre massa de matéria seca aérea (MS) acumulada e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA) pelo milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

No entanto, este valor de eficiência de uso da RFA de 3,2 g MS MJ<sup>-1</sup> RFA<sub>int</sub> está dentro de valores encontrados por outros autores para a cultura do milho em espaçamento reduzido. Trabalhando com dois híbridos de arquiteturas contrastantes, Westgate et al. (1997) encontraram valores para eficiência de uso da RFA de 2,69 e 3,02 g MS MJ<sup>-1</sup> RFA<sub>int</sub> em dois anos diferentes, em espaçamentos de 0,38 m. A eficiência de uso da RFA é o coeficiente que

apresenta as maiores variações entre estimativas para a mesma cultura, devido à quantidade de processos que são estimados por um único coeficiente (Müller 2001).

As diferenças observadas pelos diversos autores na eficiência de uso da RFA também podem ser devidas à densidade da população de plantas e espaçamento, condições de crescimento da cultura e cultivares. Depende também de como foram tomados os valores de matéria seca (total ou aérea) e a RFA (interceptada, absorvida ou incidente). Ainda, a eficiência de uso da radiação obtida no presente experimento, para os tratamentos irrigados, apresenta valores maiores aos obtidos por Gosse et al. (1986) para diferentes espécies  $C_4$ , como por exemplo, milho, cana-de-açúcar e *panicum* sp., com valores de 2,49, 2,65 e 2,39, respectivamente, com média de  $2,51 \text{ g MS MJ}^{-1}$  de RFA absorvida.

Observa-se pela Figura 13 que a eficiência de uso da RFA teve valores reduzidos com a ocorrência do déficit hídrico, que pode ser atribuído, principalmente, pela diminuição do IAF (Figura 6), com conseqüente diminuição da quantidade de radiação interceptada (Figura 10), refletindo-se em menor conversão da RFA em matéria seca da parte aérea nos tratamentos sob déficit hídrico.

Os valores obtidos para a EUR foram de 1,4 e 1,1  $\text{g MS MJ}^{-1} \text{ RFA}_{\text{int}}$  para os tratamentos PDNI80 e PDNI40, respectivamente, enquanto que para os tratamentos PCNI80 e PCNI40 os valores obtidos foram de 1,2 e 1,5  $\text{g MS MJ}^{-1} \text{ RFA}_{\text{int}}$  (Figura 13). Na média dos tratamentos irrigados e não irrigados, houve uma diminuição de 64% na eficiência de uso da RFA em condições de déficit hídrico. Portanto, a cultura não irrigada não foi capaz de manter os mesmos níveis de crescimento que nos tratamentos irrigados.

Além da redução da expansão da área foliar, os fatores que causam redução da eficiência de uso da RFA, em condições de déficit hídrico, estão relacionados a mecanismos como fechamento dos estômatos e, como consequência, diminuição da taxa fotossintética, causando senescência prematura das folhas (Jones, 1985; Russell et al., 1989; Kramer & Boyer, 1995).

Em experimentos com a cultura da soja, Confalone & Navarro Dujmovich (1999), encontraram valores médios de eficiência de uso da radiação de  $1,3 \text{ g MS MJ}^{-1} \text{ RFA}_{\text{int}}$ , em condições de déficit hídrico. Observaram que a eficiência de uso da radiação diminuiu em 25 e 29% quando o déficit hídrico foi aplicado na fase de florescimento e enchimento de grãos, respectivamente. Earl & Davis (2003) também encontraram uma diminuição na eficiência de uso da radiação na cultura do milho, ao avaliarem o efeito de três níveis de irrigação sobre este parâmetro. Os valores encontrados para a eficiência de uso da radiação foram de 2,99, 1,86 e 1,16  $\text{g MS MJ}^{-1} \text{ RFA}_{\text{int}}$ , na ausência de déficit hídrico, déficit hídrico moderado e déficit hídrico severo, respectivamente. Estes autores concluíram que o efeito do déficit sobre a EUR foi devido a alterações na eficiência do fotossistema II, resultando em danos permanentes ao aparelho fotossintético.

#### **4.9. Taxa de crescimento da cultura e taxa assimilatória líquida**

Na Figura 14 são apresentados os resultados referentes à taxa de crescimento da cultura e à taxa assimilatória líquida do milho em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), nos dois espaçamentos utilizados, na área irrigada (I) e não irrigada (NI). A disponibilidade hídrica afetou a taxa de crescimento da cultura (TCC) e a taxa assimilatória líquida (TAL)

independentemente do sistema de manejo do solo e espaçamento. Tal redução, caracteriza um fenômeno universal do efeito do déficit hídrico sobre as plantas de um modo geral (Kramer & Boyer, 1995). Contudo, a redução nestes dois parâmetros, reflete, o efeito do déficit hídrico sobre os processos fisiológicos celulares responsáveis pelo incremento de matéria seca, principalmente, a fotossíntese (Lawlor & Cornic, 2002; Ghannoum et al., 2003).

De maneira geral os tratamentos irrigados e não irrigados apresentaram valores baixos de TCC nos estádios iniciais da cultura (12 DAE), ou seja, na ordem de  $5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . As plantas, em sua maioria, seguem modelos de crescimento característicos, sendo que no início o crescimento é lento, aumentando gradativamente até atingir um platô, quando se estabiliza e, posteriormente, começa a decrescer. Essa menor taxa de crescimento inicial é verificada porque o número de células que se dividem é pequeno, resultando em pequena área foliar e, por conseguinte, em um menor aproveitamento da radiação solar fotossinteticamente ativa (Loomis & Amthor, 1999). A partir dos 500 GD (35 DAE) as curvas começaram a se distinguir entre os tratamentos irrigado e não irrigado, atingindo a maior diferença aos 950 GD (60 DAE). Os valores médios da TCC máxima, aos 950 graus-dia acumulados, foram de  $44,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para os tratamentos irrigados e de  $13,1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , aos 640 graus-dia acumulados, para os tratamentos não irrigados. Ou seja, houve uma redução de mais de 70% na TCC nos tratamentos em situação de déficit hídrico. Estes resultados refletem a queda na eficiência de uso da RFA, a qual teve uma diminuição de 64% nos tratamentos não irrigados em relação aos irrigados (Figura 13).

Deste modo, em milho, reduções na TCC podem ser atribuídas a diversos mecanismos de repostas diretas e indiretas, como menor disponibilidade

de água no solo e diminuição na interceptação e fixação da energia luminosa por unidade de superfície do terreno.

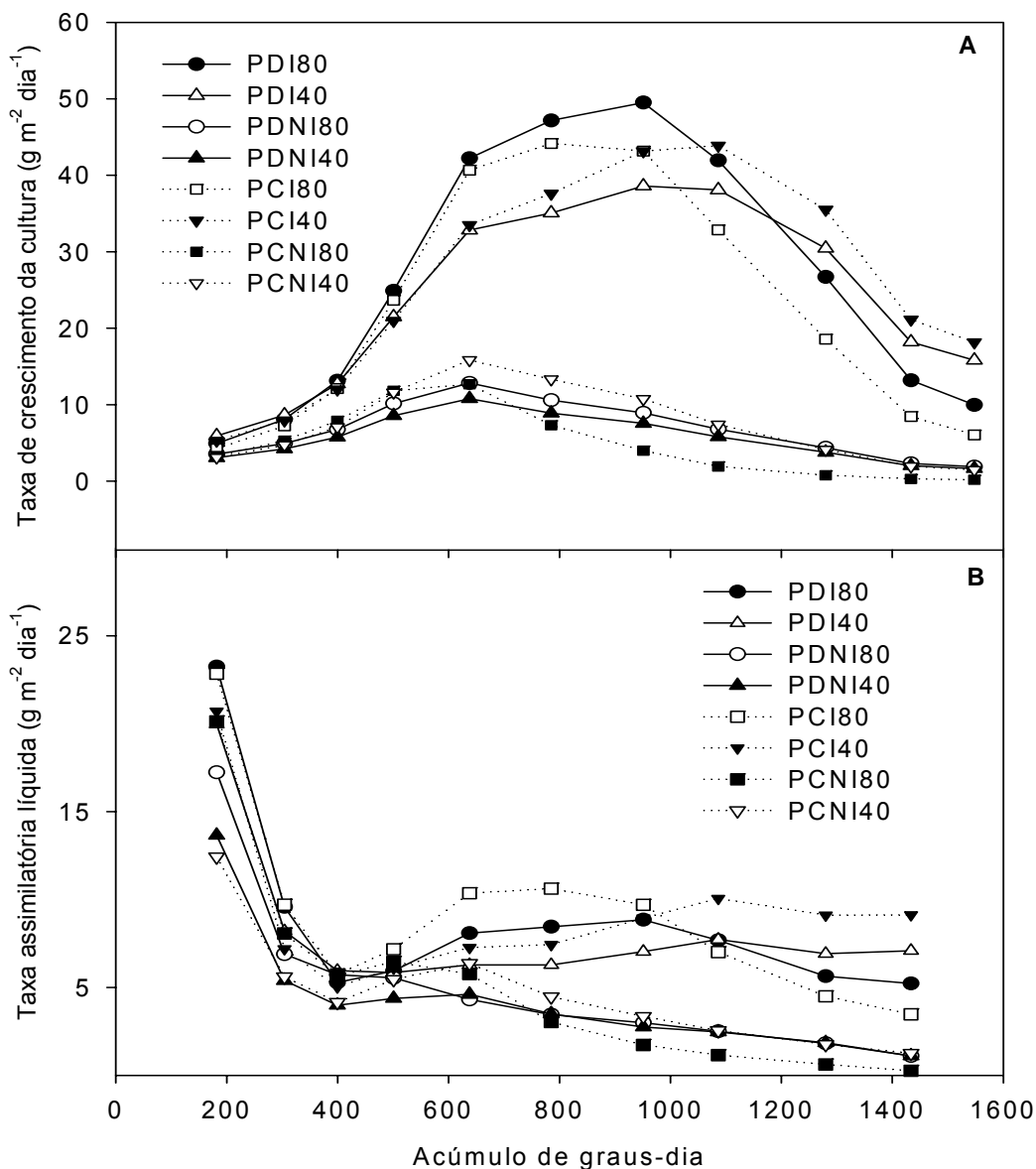


FIGURA 14. Taxa de crescimento da cultura (TCC) (A) e taxa assimilatória líquida (TAL) (B) em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função de acúmulo de graus-dia. EEA / UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Assim, tal como ocorreu com o IAF (Figura 6), a maior taxa de produção de matéria seca se manifestou em torno de 900 graus-dia acumulados (50-60 DAE), durante o período reprodutivo nos tratamentos irrigados. Após esta

fase, que foi marcada pelo término da emissão de novas folhas e pelo desenvolvimento das estruturas reprodutivas e início do enchimento de grãos, a TCC começou a decrescer. O desenvolvimento destas estruturas (dreno) consome boa parte dos carboidratos produzidos pela fotossíntese e, provavelmente, dos carboidratos de reserva (fonte). A capacidade da planta de produzir, translocar e alocar fotoassimilados para o processo de enchimento de grãos e ainda manter o ganho de fitomassa não é suficiente, sendo que deste modo a taxa de crescimento da planta começa a decair após o florescimento.

As curvas da taxa de crescimento da cultura (TCC), para os diferentes tratamentos, evidenciam maior acúmulo e produção de matéria seca do milho no plantio direto (PDI80), ficando o preparo convencional (PCI80 e PCI40) com valores mais altos que os observados no PDI40. Os menores valores de TCC em PDI40 estão de acordo com os valores encontrados para a eficiência de uso da radiação neste tratamento, conforme visto anteriormente (Figura 13).

Nos tratamentos sob déficit hídrico as plantas, de maneira geral, apresentaram valores semelhantes de TCC entre sistemas de manejo do solo e espaçamentos, mostrando desta forma que o efeito do PD (maior CRA e  $\epsilon_{int}$  da RFA) em condições de déficit hídrico intenso, como ocorrido no experimento, (Figura 2) não proporcionou maior produção de MS neste sistema.

A taxa assimilatória líquida (TAL) é um parâmetro de crescimento que representa o incremento de fitomassa por unidade de área foliar durante um determinado tempo, normalmente de um dia. Ela difere da taxa fotossintética líquida por computar todo o balanço de carbono de um dia, e não apenas do período luminoso.



Pode-se observar pela Figura 14B os valores relativos de TAL calculada para o período compreendido entre 200 a 1500 graus-dia acumulados. A TAL apresentou valores elevados nos estádios iniciais de crescimento da cultura para todos os tratamentos, decrescendo até os 400 GD (30 DAE). A variabilidade observada entre os pontos pode ser decorrente do intervalo entre os pontos de coletas. Conclusões semelhantes são apresentadas por Causton & Venus (1981), sendo que estes afirmam que redução no número de coletas, ou seja, aumento no tempo entre coletas, resulta em uma diminuição da variabilidade dos valores da taxa de crescimento.

A partir dos 500 GD (35 DAE) começou haver diferenças entre os níveis de irrigação, sendo que nos tratamentos sem irrigação a TAL continuou decrescendo e se estabilizou até o final do ciclo do milho. Enquanto que nos tratamentos irrigados, observa-se tendência de um pequeno aumento da TAL até próximo ao pendoamento/espigamento do milho, voltando a decrescer no final do ciclo.

A taxa assimilatória líquida (TAL) média para todo o ciclo foi de 8,8 e 8,15 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para o PDI80 e PDI40, respectivamente, enquanto que para o PCI80 e PCI40, esta taxa foi de 9,10 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Com relação ao efeito do déficit hídrico, observa-se que a TAL teve seus valores reduzidos com a ocorrência do déficit hídrico, da mesma forma que a EUR (Figura 13). Os valores médios da TAL para todo ciclo foram de 5,1 e 4,4 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> no PDNI80 e PDNI40, respectivamente, enquanto que para os tratamentos PCNI80 e PCNI40 os valores encontrados foram de 5,3 e 4,7 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Assim, o déficit hídrico reduziu a taxa de crescimento da cultura e a taxa assimilatória líquida como consequência da redução da fotossíntese líquida da cultura. A diminuição na interceptação da RFA, tanto por unidade de superfície de terreno quanto por unidade de área foliar, afetaram a TCC e a TAL, respectivamente, por afetarem os mecanismos de expansão celular em condições de déficit hídrico, diminuindo a taxa de crescimento, acarretando numa menor produção de área foliar

#### **4.10. Ângulo foliar**

Na Figura 15 é apresentado o ângulo de inclinação foliar das três posições marcadas na folha, correspondendo à bainha, metade do comprimento da lâmina foliar e extremidade da folha, ao primeiro terço, segundo terço e terceiro terço da folha, respectivamente. Com relação aos tratamentos não irrigados, não foi possível a realização da última medição (11/02), devido ao intenso processo de enrolamento foliar causado pelo déficit hídrico, prejudicando a qualidade dos dados.

Analisando-se a Figura 15 verifica-se que o ângulo de inserção da folha (1º terço), formado entre a superfície adaxial da folha e o colmo da planta, teve inclinação de aproximadamente 70° (graus) em todos os tratamentos. Este padrão de inserção é esperado, tendo-se em vista que o ângulo de inserção da folha no colmo é uma característica genética introduzida nos genótipos de milho mais recentes, sendo assim, pouco influenciado pelas condições do meio. Além da angulação mais ereta de folhas, outras características morfológicas foram introduzidas nos híbridos mais modernos, como menor estatura de plantas e de inserção da espiga e elevado potencial produtivo (Argenta, 2001)

A mesma tendência da angulação foliar do 1º terço pode ser observada no ângulo da parte intermediária da folha (2º terço), sendo que esta também teve pequenas variações no ângulo formado entre a superfície da folha e o colmo da planta, em todos os tratamentos avaliados.

No entanto, quando se observa o ângulo de inclinação foliar do terço final da folha (3º terço), nota-se diferenças significativas no ângulo entre os tratamentos irrigados e não irrigados. Enquanto que nos tratamentos irrigados o ângulo apresenta valores negativos em relação à linha horizontal, os tratamentos não irrigados mantêm um ângulo positivo, ou seja, em situações de déficit hídrico, as plantas mantêm as folhas orientadas em uma posição mais paralela à radiação solar incidente (mais eretas). Estas diferenças podem ser explicadas, em parte, pelo menor comprimento do limbo foliar e pelo menor conteúdo relativo de água nos tratamentos não irrigados, o que torna as folhas mais leves. Outro fator que pode ter contribuído para tal característica refere-se às células buliformes das folhas da planta de milho, sendo esta característica encontrada nas folhas de plantas monocotiledôneas (Esau, 1974). Estas células motoras apresentam baixos conteúdos de sólidos, alto teor de água, extremamente sensíveis a alterações na turgescência dos tecidos e são responsáveis pelo enrolamento foliar em situações de déficit hídrico. Assim, o enrolamento impõe uma restrição física à modificação da curvatura do terço final das folhas. Plantas em condições ótimas de disponibilidade hídrica produzem folhas maiores e com um alto conteúdo relativo de água fazendo com que o terço final da folha seja forçado a pender para baixo justificando desta forma, o ângulo negativo formado em relação à linha horizontal de referência e o colmo da planta.

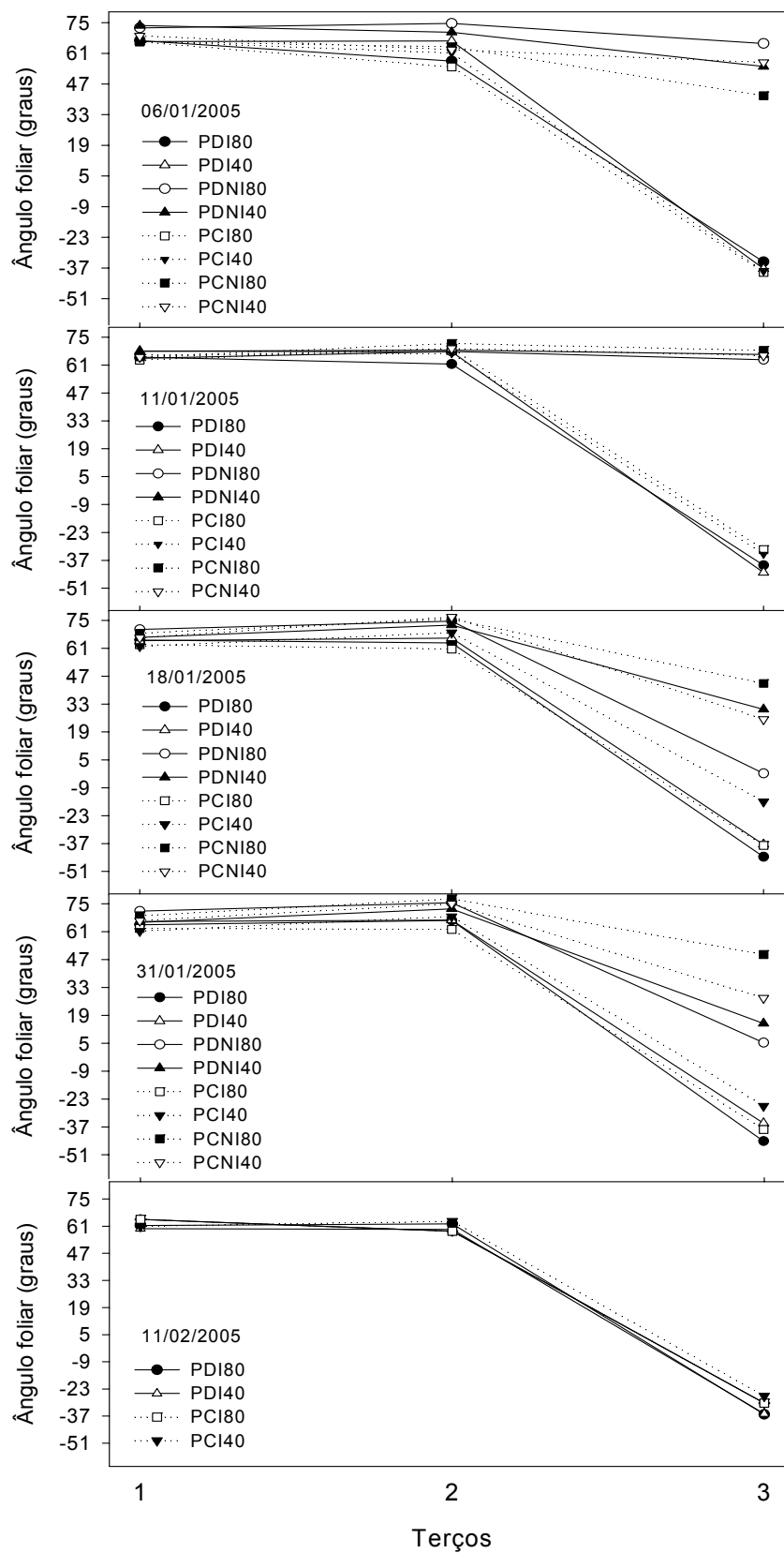


FIGURA 15. Ângulo foliar em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em alguns dias durante o ciclo da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

De acordo com Carlesso (1997), o comprimento da lâmina foliar e a intensidade do enrolamento das folhas são, provavelmente, os principais fatores que afetam a habilidade das folhas em orientar-se mais verticalmente, sendo que, normalmente, lâminas foliares extensas apresentam uma curvatura para baixo a partir da metade do comprimento da mesma. Da mesma forma, folhas em expansão (crescimento) tem mais facilidade de se orientar verticalmente do que folhas totalmente expandidas devido ao menor comprimento da lâmina foliar.

Folhas orientadas mais verticalmente permitem que uma maior parcela da radiação incidente seja transmitida por entre o dossel de folhas, resultando em uma menor eficiência de interceptação da RFA (Figura 11B) e, conseqüentemente, em um menor coeficiente de extinção para a RFA nos tratamentos sob déficit hídrico (Figura 12). Deste modo, a arquitetura do dossel, tem grande influência sobre a maneira de como a radiação é interceptada pela população de plantas, afetando a fotossíntese e a eficiência de uso da radiação pelas mesmas (Figura 13).

Comparando-se os diferentes ângulos foliares na Figura 15, não se verificam diferenças significativas entre os sistemas de manejo, quando avaliados dentro de um mesmo nível de irrigação. Estes dados contrariam umas das hipóteses do trabalho, a qual inferia que o sistema plantio direto modifica a arquitetura foliar do milho em relação ao preparo convencional e que modificações no arranjo de plantas, pela redução no espaçamento entre linhas, podem compensar a alteração na arquitetura foliar do milho em plantio direto, melhorando a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa.

A não confirmação da hipótese levantada no presente estudo, pode ser atribuída às condições meteorológicas atípicas e extremas ocorridas neste ano

agrícola, que se caracterizaram por uma longa estiagem com elevada demanda evaporativa atmosférica (Figuras 1 e 2), tornando a condição hídrica das plantas um fator limitante à obtenção de resultados distintos em relação à angulação de folhas nos dois sistemas de manejo do solo, mesmo em condições irrigadas. Assim, este trabalho demonstra que estudos posteriores, em anos favoráveis, devem ser realizados para se avaliar diferenças na angulação de folhas entre os sistemas de manejo do solo, a fim de verificar se a hipótese se confirma.

Com relação ao espaçamento de 0,4 m, também não se observou diferenças na angulação de folhas, quando comparado ao espaçamento de 0,8 m. A literatura também reporta pequenas ou nenhuma variação na angulação de folhas em resposta à diminuição do espaçamento entre linhas de cultivo. Maddonni et al. (2001) também não observaram diferenças no ângulo das folhas do milho com a redução do espaçamento entre linhas de 0,7 m para 0,35 m. No entanto, os autores observaram que o ângulo foliar aumentou significativamente (de 50,5° para 55°) com o aumento da população de 3 para 9 e 12 plantas m<sup>-2</sup>.

Estes dados mostram que a morfogênese da folha responde à proximidade de outras plantas antes que a competição por luz (auto-sombreamento) se torne crítica para a fotossíntese (Kaperbauer & Karlen, 1994). Assim, estas evidências indicam que as plantas de milho ajustam o ângulo de inclinação das folhas em resposta à competição em altas populações, mas que, no entanto, não é tão evidente com a redução do espaçamento entre as linhas de cultivo.

#### 4.11. Rendimento de grãos e seus componentes

Na Tabela 1 são apresentados os valores de rendimento de grãos e de alguns de seus componentes para a cultura do milho em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), em dois espaçamentos e níveis de irrigação.

Houve interação dupla significativa entre irrigação e espaçamento para o fator rendimento de grãos (Apêndice 12). Essas diferenças decorrem do efeito do déficit hídrico nos parâmetros já anteriormente discutidos que, conseqüentemente, vão influenciar a produção de grãos na cultura do milho.

Em condições de déficit hídrico, os maiores rendimentos foram verificados no espaçamento de 0,8 m, com rendimento de grãos médio de 475 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que no espaçamento de 0,4 m o rendimento médio foi de 193 kg ha<sup>-1</sup>. Nos tratamentos irrigados, mesmo não havendo diferenças significativas, os maiores rendimentos foram alcançados nos menores espaçamentos, com rendimentos médios de 9.700 kg ha<sup>-1</sup> e de 8.892 kg ha<sup>-1</sup> nos espaçamentos de 0,4 e 0,8 m, respectivamente (Tabela 1). Neste caso, a cultura em espaçamento reduzido interceptou mais radiação (Figura 11), convertendo isto em maior produção de grãos. Segundo Johnson et al. (1998), a redução no espaçamento entre linhas possibilita uma elevação no rendimento de grãos, o que pode ser explicado pela melhor eficiência na interceptação da radiação solar e ao decréscimo de competição entre plantas na linha por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais eqüidistante das mesmas.

Não houve diferenças significativas para o componente de rendimento peso de mil grãos (Tabela 1). No entanto, de maneira geral, os menores valores numéricos para o peso de mil grãos foram obtidos para os tratamentos não

irrigados, com valores médios de 255 g, enquanto que nos tratamentos irrigados o peso de mil grãos foi de 323 g.

TABELA 1. Rendimento de grãos, número de espigas por planta, número de grãos por espiga e peso de mil grãos em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

Valores médios em cada nível de irrigação				
Níveis de Irrigação	Rendimento Kg ha <sup>-1</sup>	Nº espigas planta <sup>-1</sup>	Nº grãos Espiga <sup>-1</sup>	Peso mil gr (g)
I	9.295a	0,93a	526a	323a
NI	334b	0,25b	172b	255a

Valores médios em cada sistema de manejo do solo				
Sistema/ Preparo	Rendimento Kg ha <sup>-1</sup>	Nº espigas planta <sup>-1</sup>	Nº grãos Espiga <sup>-1</sup>	Peso mil gr (g)
PD	5.238a	0,59a	330a	291a
PC	4.391a	0,58a	368a	287a

Valores médios em cada espaçamento				
Espaçamento	Rendimento Kg ha <sup>-1</sup>	Nº espigas planta <sup>-1</sup>	Nº grãos Espiga <sup>-1</sup>	Peso mil gr (g)
0,8	4.683a	0,65a	375a	285a
0,4	4.945a	0,53a	324b	293a

Interação irrigação x espaçamento		
Níveis de Irrigação	Espaçamento	Rendimento Kg ha <sup>-1</sup>
I	0,8	8.892a
I	0,4	9.698a
NI	0,8	475b
NI	0,4	193b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação ao componente número de espigas, houve diferenças significativas somente entre os níveis de irrigação avaliados, sendo, que os valores observados foram de 0,93 e de 0,25 para os tratamentos irrigados e não irrigados, respectivamente (Tabela 1).



Para o componente número de grãos por espiga, houve diferenças significativas entre os níveis de irrigação e entre os diferentes espaçamentos utilizados (Tabela 1). Para os níveis de irrigação, o número de grãos foi de 526 e 176 grãos espiga<sup>-1</sup> para os tratamentos irrigados e não irrigados, respectivamente. Por outro lado, para os diferentes espaçamentos, os resultados demonstram que o número de grãos variou de 375 a 324 grãos espiga<sup>-1</sup> para os espaçamentos de 0,8 m e 0,4 m, respectivamente.

Essas diferenças no rendimento de grãos, número de espigas e número de grãos por espiga decorreram dos períodos de déficit hídrico verificados durante o desenvolvimento da cultura. Segundo Bergamaschi et al. (2004a) e Bergonci et al. (2001) o milho é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém demonstra extrema sensibilidade na fase de florescimento reduzindo o rendimento, principalmente pela redução do número de grãos por espiga, com decréscimo do rendimento de grãos. O rendimento do milho é estabelecido pelo número de espigas por planta e pelo número de grãos por espiga, sendo estes os principais componentes da produção e particularmente sensíveis ao déficit hídrico (Lafitte & Edmeades, 1995). Segundo Cirilo & Andrade (1994) o número de grãos por espiga no milho dependerá das condições fisiológicas da planta no florescimento.

De acordo com Kiniry & Ritchie (1985) o estágio em que o número de grãos por espiga é mais sensível ao déficit hídrico compreende o período entre duas semanas antes e duas a três semanas após a antese. Ainda, trabalhos de Schusler & Westgate (1991) demonstram que a ocorrência de déficit hídrico durante a antese e logo após a fertilização, causa abortamento do rudimento seminal, reduzindo a produção, mesmo que ocorra a polinização.

Embora neste experimento não se tenha observado diferenças estatísticas no rendimento de grãos entre os sistemas de manejo do solo, a adoção do sistema plantio direto justifica-se pela sustentabilidade do solo, condicionada pelas mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas deste.

Com relação ao arranjo de plantas, o aumento do rendimento de grãos, por meio da redução no espaçamento entre fileiras, já demonstrado por diversos autores (Argenta et al., 2001; Johnson et al., 1998; Ottman & Welch, 1989), devido à melhor distribuição de plantas na linha e na variabilidade entre plantas, é uma prática de manejo importante para maximizar a interceptação da radiação solar e otimizar o seu uso. Entretanto, a falta de resposta para o fator arranjo de plantas no presente estudo pode estar condicionada às condições meteorológicas extremas durante o experimento, como a deficiência hídrica e a alta demanda evaporativa, que pode prejudicar a expressão das vantagens que a semeadura em espaçamento reduzido apresenta.

Assim, mesmo que, em algumas situações, a redução do espaçamento entre linhas não resulte em aumento do rendimento de grãos, a sua adoção pode ser justificada pelo aumento da competitividade com plantas daninhas, devido à maior quantidade de luz que é interceptada pelo dossel da cultura, pela adoção mais eficiente de máquinas, pois possibilita semeadura do milho no mesmo espaçamento da soja (Argenta et al., 2001).

## 5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido o experimento, não se verifica mudanças na arquitetura foliar do milho entre os sistemas de manejo do solo, mesmo quando cultivado em espaçamentos reduzidos.

O milho cultivado em plantio direto apresenta maior eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa em comparação ao preparo convencional, sendo esta maior no espaçamento reduzido.

A deficiência hídrica diminui a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, devido à redução do índice de área foliar e ao enrolamento das folhas.

A maior eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa no espaçamento de 0,4 m não resulta em maior eficiência de uso da RFA devido à quantidade de processos que são estimados por um único fator.

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa para o milho, na ausência de déficit hídrico, apresenta valores maiores aos obtidos para diferentes espécies  $C_4$ , sendo reduzida em condições de déficit hídrico.

Não se observa diferenças no rendimento de grãos na cultura do milho em plantio direto, em relação ao preparo convencional, mesmo no espaçamento de 0,4 m, onde ocorreu a maior eficiência de interceptação da RFA.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKMAL, M.; JANSSENS M.J.J. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.88, p.143-155, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; HEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.71-78, jan. 2001.

BARBIERI, P.A.; SAINZ ROZAS, H.R.; ANDRADE, F.H.; ECHEVERRIA, H.E. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.1, p.283–288, 2000.

BARNI, N.A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função de radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**. 1994. 249f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BARNI, N.A.; BERGAMASCHI, H. Alguns princípios técnicos para a semeadura. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Eds.). **A soja no Brasil**. Campinas : ITAL, 1981. Cap.10, p.476-480.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.1, n.2, p.201-216, 1995.

BEGG, J.E. Morphological adaptations of leaves to water stress. In: TURNER, N.C.; KRAMER, P.J. **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John Wiley & Sons, 1980. Cap. 3, p.33-42.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.831-839, 2004a.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I. et al. Solar radiation intercepted by maize crops as function of soil tillage systems and water

availabilities. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION CONFERENCE, 13., 2004, Brisbane. **Anais...** Brisbane: ISCO, 2004b. p.1-4.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L. S. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 77p.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1992. p.25-32.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H. Ecofisiologia do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14., 2002, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: ABMS, 2001. p.1 - 14.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.7, p.949-956, 2001.

BERGONCI, J. I.; ARAGONES, R.; FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H. Área foliar específica ao longo do ciclo do milho, sob diferentes condições hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. v. 1, p. 644-646.

BERLATO, M.; SUTILI, V. Determinação das temperaturas bases dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho (*Zea mays* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., 1976, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1976. 881p., p.523-527.

BIANCHI, C.A.M. **Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e convencional**. 2004. 97f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.369-374, 1990.

BORRÁS, L.; MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, n.1, p.13-26, 2003.

BOYER, J.S. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, n. 1, p. 133-137, 1967.

BULLOCK, D.G.; NIELSEN, R.L.; NYQUIST, W.E. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. **Crop Science**, Madison, v.28, n.2, p.254-258, 1988.

CARON, B.O.; SCHMITDT, D.; HELDWEIN, H. et al. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa e distribuição de fitomassa produzida no meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 531-532.

CARLESSO, R. Enrolamento e orientação de folhas de milho causada por déficits hídricos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 171-176, 1997.

CAUSTON, D.R., VENUS, J.C. **The biometry of plant growth**. London : Edward Arnold, 1981. 307 p.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1044-1046, 1994.

CHARLES-EDWARDS, D.A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G.M. **Modelling plant growth and development**. Sydney : Academic Press, c1986. 235p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **[Informações]**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safra/MilhoTotalSerieHist.xls>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2005.

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

COSGROVE, D.J. Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, Palo Alto, v.13, p.171-201, 1997.

COSTA, L.C.; MORRISON, J.; DENNETT, M. Effects of the weather on growth and radiation intercepted by *faba bean*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, p.277- 281, 1997.

DALMAGO, G A. **Dinâmica da água no solo em cultivo de milho sob plantio direto preparo convencional**. 2004. 243f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. et al. Evapotranspiration in maize crops as function of soil tillage systems. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION CONFERENCE, 13., 2004, Brisbane. **Anais...** Brisbane: ISCO, 2004. p.1-4.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BIANCHI, C.A.M.; et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBA/UFSM/UNIFRA, 2003a. v.1, p.295-296.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; et al. Transpiração do milho cultivado em sistemas de semeadura direta e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBA/UFSM/UNIFRA, 2003b. v.1, p.297-298.

Da ROS, C. O. et al. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DAUGHTRY, C.S.T., K.P. GALLO, et al. Spectral estimates of solar radiation intercepted by corn canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.527 - 531, 1983.

DWYER, L.M.; STEWART, D.W. Water extraction patterns and development of plant water deficits in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 65, p.921-933.1985.

DUARTE, J.O. et al. **Cultivo do milho**: Importância econômica do milho. EMBRAPA milho e sorgo. Informação tecnológica. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/importancia.htm>. Acesso em: 12 de dezembro de 2005.

DUNCAN, W.G. A theory to explain the relationship between corn population and grain yield. **Crop Science**, Madison, v. 24, p. 1141-1145, 1984.

EARL, H.J.; DAVIS, R.F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.95, n.3, p. 688-696, 2003.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo : Edgard Blucher, 1974. 293 p.

EVANS, L.T. FISCHER, R.A. Yield Potential: its Definition, Measurement, and Significance. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p.1544-1551, 1999.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Milho: ecofisiologia e rendimento. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. (coord.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1997. p. 157-170.

FLÉNET, F.; KINIRY, J.R.; BOARD, J.E.; WESTGATE, M.E.; REICOSKY, D.C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.185–190, 1996.

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

GALLAGHER, J.N.; BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.91, p.47-60, 1978.

GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. **Physiology of crop plants**. Ames : Iowa State University, 1985. 327p.

GHANNOUM, O.; CONROY, J.P.; DRISCOLL, S. P.; et al. Non stomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition of four C<sub>4</sub> grasses. **New Phytologist**, Cambridge, v.159, p.599-608, 2003.

GOOD, R.M.; EVANS, L.T. Photosynthesis, plant productivity and crop yield. In: CARSON, P.S. **The biology of crop productivity**. New York: Academic, 1980. p.3-51.

GOSSE G.; VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R. et al. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.6, p.47-56, 1986.

JONES, H.G. **Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology**. 2. ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1992. 480p.

JONES, C.A. **C<sub>4</sub> grasses and cereals: Growth, Development and Stress response**. New York, John Wiley & Sons. 419p. 1985.

JOHNSON, G.A.; HOVERSTAD, T.R.; GREENWALD, R.E. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.1, p. 40-46, 1998.

JORDAN, W.R. Whole plant response to water deficit: An overview. In TAYLOR, H.M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA: CSSA: SSA, 1983. p. 289-317.

HALL, A.E.; FOSTER, K.W.; WAINES, J.G. Crop adaptation to semi arid environments. In: CANNEL, G.H.; LAWTON, H.W.; HALL, A.E. **Agriculture in semi-arid environments**. Berlin: Springer Verlag, 1979. p. 148-179.

HANWAY, J.J. Growth stages of corn (*Zea mays*, L.). **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, n.4/5, p. 487-492, 1963.



HEUVELINK, E. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in greenhouse. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 77-99, 1995.

HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.1264-1270, 1985.

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

HUNT, R. **Plant growth analysis**. London : Edward Arnold, 1978. 67p. (Studies in Biology, 96).

KANG, S.; SHI, W.; CAO, H.; ZHANG, J. . Alternate watering in soil vertical profile improved water use efficiency of maize (*Zea mays L.*). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.77, p.31–41, 2002.

KASPERBAUER, M.J.; KARLEN, D.L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 6, p. 1564-1569, 1994.

KINIRY, J.R.; RITCHIE, J.T. Shade-sensitive interval of kernel number of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.711-715, 1995.

KRAMER, P.J. Changing concepts regarding plant water relations. **Plant, Cell Environment**, Baltimore, v. 11, p. 565-568, 1988.

KRAMER, P.J.; BOYER J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.

KUSAKA M.; LALUSIN, A.G.; FUJIMURA, T. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. **Plant Science**, Amsterdam, v.168, p.1–14, 2005.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.

LAFITTE, R. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.76, n.2-3, p.165-174, 2002.

LAFITTE, H.R.; EDMEADES, G.O. Stress tolerance in tropical maize is linked to constitutive changes in ear growth characteristics. **Crop Science**, Madison, v.35, p.820-826, 1995.

LAZCANO-FERRAT, I.; LOVATT, C. J. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 467-475, 1999.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Baltimore, v.25, p.275-294, 2002.

LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata versus metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, London, v. 89, n. 7, p.871-885, 2002.

LEVITT, J. **Responses of Plant to Environmental Stresses**. New York: Academic Press, 1980. v.1, 697p.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to soil drying. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v.16, p.137-150, 2002.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, Madison, v.3, n.1, p.67-72, 1963.

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

LUDLOW, M.M.; MUCHOW, R.C. A critical evolution of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 43, p. 107-153, 1990.

MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, A.G. Plant population density, row spacing, and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, n.2-3, p.183-193, 2001.

MATZENAUER, R.; BEGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.85-92, 1995.

MELLO IVO, W.M.P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.135-143, 1999.

MELO FILHO, J. F.M; SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade de milho em preparo convencional de um podzólico vermelho-amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 291-297, 1993.

MEYER, R.F.; BOYER, J.S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, Heidelberg, v. 151, p. 482-489, 1981.

MONSI, M.; SEAKI, T. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production. **Japanese Journal of botany**, Tokyo, v. 14, p. 22-52, 1953.

MÜLLER, A. G. **Modelagem da matéria seca e do rendimento de grãos de milho em relação à disponibilidade hídrica**. 2001. 120f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

NONAMI, H.; WU, Y.; BOYER, J.S. Decreased growth – Induced water potential: a primary case of growth inhibition at low water potentials. **Plant physiology**, Rockville, v. 114, n. 2, p. 501-509, 1997.

NONAMI, H.; WU, Y.; BOYER, J. S. Direct demonstration of a growth – induced water potential gradient. **Plant Physiology**, Rockville, v. 102, n. 1, p. 13-19, 1993.

OTTMAN, M.J.; WELCH, L.F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.2, p.167-174, 1989.

PASSIOURA, J.B. The yield of crops in relation to drought. In: BOOTE, H.J.; BENNET, J.M.; SINCLAIR, T.R. et al. **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA: ESSA: SSA, 1994. p. 343-359.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bar soil and grass. **Proceedings of Royal Society-Serie A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948.

PENDLETON, J.W.; EGLI, D.B; PETERS, D.B. Response of *Zea mays* L. to a "light rich" field environment. **Agronomy Journal**, Madison, v.59, n.4, p.395-397, 1967.

PEREIRA, A.R. **Introdução à micrometeorologia**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. Apontamentos do curso de micrometeorologia do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ. Não publicado.

PHILLIPS, R.E. Soil Moisture. In: PHILLIPS, R. E.; PHILLIPS, S. H. **No-Tillage Agriculture: principles and practices**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984. p.67-86.

QUIRINO, B.F.; NOH, Y.S.; HIMELBLAU, E.; AMASINO, R.M. Molecular aspects of leaf senescence. **Trends in Plant Science**, London, v.5, n.7, p.278–282, 2000.

RADIN, B. **Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo tomateiro cultivado em diferentes ambientes**. 2002. 127f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

REISER JÚNIOR, C.; BERGAMASCHI, H.; RADIN, B.; BERGONCI, J.I. Alterações morfológicas do tomateiro em resposta à redução de radiação solar em ambientes de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.7-14, 2003.

ROJAS, A.L.C.; VAN LIER, Q.J. Alterações físicas e hídricas de um podzólico em função de sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.5, n.1, p. 105-115, 1999.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S. B. **Microclimate**: The biological environment. New York: John Wiley & Sons, 1974. 314p.

ROSATI, A.; BADECK, F.W.; DEJONG, T.M. Estimating canopy light interception and absorption using leaf mass per unit leaf area in *Solanum melongena*. **Annals of Botany**, London, v.88, p.101-109, 2001.

RUSSEL, G.; JARVIS, P.G.; MONTEITH, J.L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSELL, G.; MARSHAL, B.; JARVIS, P.G. (eds) **Plant canopies**: their growth, form and function. Cambridge: University Press, 1989. p. 21–40.

SAEKI, T. Interrelationships between leaf amount, light distribution, and total photosynthesis in a plant community. **The Botanical Magazine**, London, v.73, p.55-63, 1960.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4th. ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.313-319, 1995.

SCHADCHINA, T.M.; DMITRIEVA, V.V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, p.1427-1437, 1995.

SHARRATT, B.S; McWILLIAMS, D.A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, n.6, p.1129-1135, 2005.

SHIBLES, R.M.; C.R. WEBER. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, Madison, v.6, p. 55–59, 1966.

SCHUSSLER, J.R.; WASTGATE, M.E. Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduce assimilates at pollination. **Crop Science**, Madison, v.31, p.1189–1195, 1991.

SINCLAIR, T.R. Crop yield potential and fairy tales. In: BUXTON, D.R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, R.A.; ASAY, K.H.; PAULSEN, G.M.; WILSON, R.F. (eds.) **International Crop Science I**. Madison: Crop Science Society of America, 1993. p.707-711.

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O.J.W. Eficiência de conversão em biomassa da radiação solar interceptada pela cultura do arroz irrigado submetida a níveis

diferenciados de adubação nitrogenada In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 96-98.

STEINMETZ, S., SIQUEIRA, O.J.W. Eficiência de conversão em biomassa da radiação solar interceptada nas distintas fases do ciclo de três tipos de planta de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., Fortaleza, CE, 2001. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. p. 691-692.

STEWART, D.W.; COSTA, C.; DWYER, L.M.; SMITH, D.L.; HAMILTON, R.I.; MA, B.L. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p.1465 – 1474, 2003.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.: il.

TANGUILING, V.C.; YAMBAO, E.B.; O'TOOLE, J.C. et al. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.103, p.155-168, 1987.

TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T. W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 4, p. 580 – 585, 1988.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Publications in climatology**, Centerton, New Jersey, v. 10, n. 3, p. 191-311, 1955.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J.M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 419-439, 1989.

VIANA, M.C.M. et al. Alterações em pigmentos e danos em membranas de milho submetido ao déficit hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2002. CD Rom.

VIRGIN, H. I. Chlorophyll formation and hidric deficit. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.18, n. 4, p 994-1000, 1965.

WESTGATE, M. E.; FORCELLA, F.; REICOSKY D. C.; SOMSEN J. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.49, n.2-3, p.249-258, 1997.

WINTERMANS, J.F.G.M.; DE MOTS, A. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls *a* and *b* and their pheophytins in ethanol. **Biochimica ET Biophysica Acta**, Holanda, v. 109, p. 448-553, 1965.

WRIGHT, G.C.; SMITH, R.G.; McWILLIAM, J.R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth rate and yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.34, p.615-626, 1983.

## **7. APÊNDICES**

APÊNDICE 1. Datas e lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos com a dose de rega necessária para manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo, de dezembro de 2004 a fevereiro de 2005. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2004/05.

<b>Dia</b>	<b>Dias após a emergência</b>	<b>Quantidade (mm)</b>
29/11/2004	5	30
18/12/2004	24	35
23/12/2004	29	31
29/12/2004	35	35
5/1/2005	42	66
12/1/2005	49	48
19/1/2005	56	35
20/1/2005	57	40
27/1/2005	64	46
31/1/2005	68	30
7/2/2005	75	48
12/2/2005	80	32
<b>Total</b>		<b>476</b>



APÊNDICE 2. Temperatura do ar, precipitação pluvial, radiação solar global (Rg) e evapotranspiração de referência (ETo) decendial observada no período experimental e médias climatológicas do período de 1970 a 2000. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2004/05.

Período experimental 2004/05

Mês	Decêndio	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	ETo (mm)	Rg (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )
Novembro	1	19,6	60,7	33,1	18
	2	19,0	16,7	35	19
	3	20,0	5,80	44	20
Dezembro	1	22,9	43,0	43	21
	2	22,0	6,10	48	24
	3	22,4	0,00	55	25
Janeiro	1	25,9	10,6	53	23
	2	24,0	16,4	59	26
	3	24,2	2,90	62	24
Fevereiro	1	23,3	8,70	45	20
	2	23,9	43,3	45	20
	3	24,9	21,5	37	20
Março	1	22,9	0,00	45	23
	2	23,1	70,6	32	16
	3	21,9	74,6	30	14

Fonte: Boletim Agrometeorológico – UFRGS.

Médias climatológicas (1970 – 2000)

Mês	Decêndio	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	ETo (mm)	Rg (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )
Novembro	1	20,4	45,3	42	19
	2	21,3	33,2	46	20
	3	21,5	31,7	48	21
Dezembro	1	22,7	40,7	49	21
	2	23,4	36,3	50	21
	3	24,1	32,6	59	22
Janeiro	1	24,2	34,2	51	21
	2	24,7	39,3	50	21
	3	24,8	37,6	53	20
Fevereiro	1	24,5	43,1	45	19
	2	24,4	37,2	43	18
	3	24,1	30,6	31	18
Março	1	24,4	32,4	41	18
	2	23,1	24,0	39	17
	3	21,7	42,7	40	16

Bergamaschi et al., 2003.

APÊNDICE 3. Valores diários de temperatura do ar média, máxima, mínima e umidade relativa (UR%), observados nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro de 2004/05. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2004/05.

Dia	Novembro				Dezembro			
	Temperatura do ar (°C)				Temperatura do ar (°C)			
	Média	Max	Min	UR (%)	Média	Max	Min	UR (%)
1	19,9	27,1	12,6	74	22,8	29,6	18,0	71
2	22,7	32,3	13,2	71	23,7	30,8	16,2	71
3	20,9	26,3	17,5	88	25,2	33,2	17,3	64
4	21,1	26,3	15,3	87	25,5	33,6	18,1	74
5	20,2	24,0	14,5	94	23,8	28,4	20,8	80
6	15,7	21,5	11,3	71	22,9	25,8	19,3	91
7	16,3	22,3	8,0	73	22,9	26,2	21,4	90
8	20,2	26,9	13,7	74	21,8	26,3	18,8	89
9	17,9	21,0	15,6	90	20,2	23,3	17,9	86
10	21,4	26,5	16,5	86	20,3	25,2	15,2	75
11	19,3	20,9	16,7	97	19,5	24,8	12,8	75
12	16,9	20,6	14,3	87	21,1	27,1	16,1	76
13	17,2	22,6	11,7	75	20,9	28,0	12,5	75
14	20,6	27,4	15,3	75	21,9	29,2	13,5	73
15	21,6	25,5	18,1	85	25,6	35,3	17,2	71
16	22,6	28,0	18,4	85	24,6	30,7	19,6	79
17	21,0	27,9	13,7	66	21,1	27,0	13,5	70
18	17,7	24,5	10,3	72	22,9	30,8	15,2	74
19	16,6	23,7	9,0	73	20,8	30,3	15,4	83
20	16,9	23,9	9,3	72	21,7	29,3	17,2	79
21	17,6	25,2	9,1	74	20,1	25,0	12,9	69
22	20,5	28,4	11,7	71	20,2	25,5	15,7	69
23	23,3	32,5	13,9	71	20,9	26,0	14,8	78
24	24,2	33,3	15,3	74	22,6	28,8	16,3	77
25	24,4	30,6	18,3	83	24,4	32,5	15,6	69
26	23,9	29,9	18,5	76	21,9	27,2	14,6	72
27	21,3	25,8	17,1	85	22,3	28,1	15,4	72
28	21,7	26,4	16,2	84	21,7	29,2	14,1	75
29	21,7	27,0	18,6	76	23,8	32,4	16,9	71
30	21,1	26,2	15,6	77	24,8	36,2	18,3	68
31	.	.	.	.	23,8	31,8	16,5	73

## APÊNDICE 3: Continuação...

Dia	Janeiro				Fevereiro			
	Temperatura do ar (°C)				Temperatura do ar (°C)			
	Média	Max	Min	UR (%)	Média	Max	Min	UR (%)
1	25,0	30,1	20,6	77	21,9	25,5	19,5	92
2	26,7	34,2	20,4	75	18,6	22,2	17,0	87
3	23,2	26,3	20,4	93	19,2	22,5	16,9	84
4	25,5	33,3	19,6	74	23,1	28,6	18,9	77
5	25,6	31,1	20,0	80	24,7	32,0	19,0	77
6	26,4	34,5	19,7	75	25,1	33,2	17,6	71
7	26,2	33,8	19,5	75	24,6	33,4	15,9	61
8	27,2	34,9	19,3	77	24,3	32,0	17,3	65
9	27,5	39,4	21,6	67	25,2	34,2	15,7	66
10	25,7	31,4	22,6	80	26,5	34,1	20,7	73
11	26,2	31,9	22,4	78	23,4	29,5	19,0	73
12	26,0	33,0	19,3	69	22,6	27,6	18,8	80
13	25,4	34,7	16,8	63	24,2	30,1	19,8	77
14	26,8	36,4	18,6	65	23,2	28,6	19,6	73
15	22,8	25,0	21,2	98	22,9	28,4	17,8	71
16	21,7	27,0	15,6	69	23,0	28,9	18,9	79
17	21,0	29,6	11,6	63	23,5	29,8	17,6	83
18	22,9	32,8	13,1	64	24,8	31,7	21,2	79
19	24,2	30,8	17,3	73	25,9	32,9	20,9	77
20	22,9	32,0	14,7	71	26,2	32,9	22,6	76
21	20,7	29,1	12,9	71	25,2	31,6	18,8	78
22	24,1	35,7	13,1	66	25,9	32,6	21,2	73
23	26,1	34,0	17,6	61	25,5	32,4	19,6	74
24	24,5	28,7	21,2	86	26,1	33,5	19,2	74
25	23,2	29,1	17,7	65	24,5	29,4	20,9	82
26	19,7	27,8	9,5	64	24,4	30,1	20,2	77
27	20,9	29,6	10,5	66	23,6	31,8	17,7	71
28	24,4	32,5	15,8	70	24,1	31,7	18,2	68
29	26,4	34,3	18,1	74	.	.	.	.
30	27,5	35,3	19,7	72	.	.	.	.
31	28,4	37,2	20,9	67	.	.	.	.

APÊNDICE 4. Balanço hídrico decendial da cultura do milho não irrigado (NI).  
EEA/UFRGS, Eldorado do Sul- RS – 2004/05. (Fonte: Boletim  
Agrometeorológico – EEA/UFRGS).

<b>Decêndios</b>	<b>CAD</b>	<b>Prec</b>	<b>ETo</b>	<b>ETR</b>	<b>DEF</b>	<b>EXC</b>
1 SET	75	59,1	20,5	20	0	39
2 SET	75	105,9	18,4	18	0	88
3 SET	75	41,1	19,7	20	0	21
1 OUT	75	1,3	37,1	30	7	0
2 OUT	75	87,0	35,1	35	0	23
3 OUT	75	17,3	45,9	42	4	0
1 NOV	75	60,7	33,1	28	6	0
2 NOV	75	16,7	35,2	25	10	0
3 NOV	75	5,8	43,8	37	7	0
1 DEZ	75	43,0	42,8	43	0	0
2 DEZ	75	6,1	48,3	18	30	0
3 DEZ	75	0,0	54,5	8	46	0
1 JAN	75	10,6	53,2	14	39	0
2 JAN	75	16,4	59,3	18	41	0
3 JAN	75	2,9	62,3	4	58	0
1 FEV	75	8,7	45,3	9	36	0
2 FEV	75	43,3	45,1	43	2	0
3 FEV	75	21,5	36,4	22	15	0
1 MAR	75	0,0	45,3	0	45	0
2 MAR	75	70,6	31,6	32	0	0
3 MAR	75	74,7	29,8	30	0	9
1 ABR	75	47,4	24,5	25	0	23
2 ABR	75	36,9	21,8	22	0	15
3 ABR	75	0,2	22,4	20	3	0
1 MAI	75	79,0	19,3	19	0	40
2 MAI	75	97,0	10,3	10	0	87
3 MAI	75	18,6	21,3	21	0	0

APÊNDICE 5. Balanço hídrico decencial da cultura do milho irrigado (I).  
EEA/UFRGS, Eldorado do Sul- RS – 2004/05. (Fonte: Boletim  
Agrometeorológico – EEA/UFRGS).

<b>Decêndios</b>	<b>CAD</b>	<b>Prec+Irrig</b>	<b>ETo</b>	<b>ETR</b>	<b>DEF</b>	<b>EXC</b>
1 SET	75	59,1	20,5	20	0	39
2 SET	75	105,9	18,4	18	0	88
3 SET	75	41,1	19,7	20	0	21
1 OUT	75	1,3	37,1	30	7	0
2 OUT	75	87,0	35,1	35	0	23
3 OUT	75	17,3	45,9	42	4	0
1 NOV	75	60,7	33,1	28	6	0
2 NOV	75	16,7	35,2	25	10	0
3 NOV	75	5,8	43,8	37	7	0
1 DEZ	75	43	42,8	43	0	0
2 DEZ	75	41	48,3	44	5	0
3 DEZ	75	66	54,5	55	0	0
1 JAN	75	77	53,2	53	0	0
2 JAN	75	145	59,3	59	0	70
3 JAN	75	79	62,3	62	0	17
1 FEV	75	57	45,3	45	0	12
2 FEV	75	75	45,1	45	0	30
3 FEV	75	22	36,4	35	1	0
1 MAR	75	0,0	45,3	28	17	0
2 MAR	75	70,6	31,6	32	0	0
3 MAR	75	74,7	29,8	30	0	42
1 ABR	75	47,4	24,5	25	0	23
2 ABR	75	36,9	21,8	22	0	15
3 ABR	75	0,2	22,4	20	3	0
1 MAI	75	79,0	19,3	19	0	40
2 MAI	75	97,0	10,3	10	0	87
3 MAI	75	18,6	21,3	21	0	0

APÊNDICE 6. Estádios fonológicos da cultura do milho, em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m), em função das datas de amostragem (DA), dias após a emergência (DAE) e graus-dia acumulados (GD). EEA /UFRGS, Eldorado do Sul, RS – 2004/05.

DA	DAE	GD	Tratamentos	Características da cultura
25/11/2004	0	0	Todos	Emergência
15/12/2004	21	304	Todos	Oito folhas visíveis
29/12/2005	35	501	PDI80, PDI40	Onze folhas visíveis
			PDNI80, PDNI40	Oito folhas visíveis
			PCI80, PCI40, PCNI40, PCNI80	Treze folhas visíveis Nove folhas visíveis
14/01/2005	51	785	PDI80, PCI80	Quinze folhas visíveis
			PDI40, PCI40	Quatorze folhas visíveis
17/01/2005	54	827	PDNI80, PCNI80	Onze folhas visíveis
			PDNI40, PCNI40	Nove folhas visíveis
17/01/2005	54	827	PCI80 e PCI40	Pendoamento
18/01/2005	55	841	PDI80 e PDI40	Pendoamento
20/01/2005	57	873	Tratamentos não irrigados	Pendoamento
21/01/2005	58	886	Tratamentos irrigados	Espigamento
25/01/2005	62	951	Tratamentos não irrigados	Espigamento
03/02/2005	71	1086	Tratamentos irrigados	Grão leitoso
15/02/2005	83	1280	Tratamentos irrigados	Grãos farináceos
08/03/2005	104	1614	Todos tratamentos	Maturação fisiológica

APÊNDICE 7. Dias após a emergência (DAE), acúmulo de graus-dia (GD), índice de área foliar (IAF) medido e IAF estimado da cultura do milho, em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m),. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

DAE	GD (°C)	Tratamentos	IAF medido <sup>(1)</sup>		IAF estimado <sup>(2)</sup>
12	181,9	PDI80	0,1	± 0,00	0,11
		PDI40	0,1	± 0,00	0,13
		PDNI80	0,1	± 0,00	0,12
		PDNI40	0,1	± 0,00	0,19
		PCI80	0,13	± 0,00	0,10
		PCI40	0,13	± 0,00	0,21
		PCNI80	0,13	± 0,00	0,18
		PCNI40	0,13	± 0,00	0,22
21	304,1	PDI80	0,34	± 0,00	0,52
		PDI40	0,52	± 0,17	0,51
		PDNI80	0,34	± 0,04	0,38
		PDNI40	0,4	± 0,09	0,54
		PCI80	0,34	± 0,14	0,54
		PCI40	0,44	± 0,21	0,73
		PCNI80	0,45	± 0,06	0,70
		PCNI40	0,5	± 0,17	0,66
28	399,6	PDI80	1,49	± 0,34	1,47
		PDI40	1,47	± 0,43	1,25
		PDNI80	1,23	± 0,13	0,84
		PDNI40	1,3	± 0,05	1,04
		PCI80	1,83	± 0,49	1,68
		PCI40	2,15	± 0,44	1,63
		PCNI80	1,94	± 0,33	1,59
		PCNI40	1,46	± 0,22	1,29
35	501,0	PDI80	3,26	± 0,55	3,11
		PDI40	2,27	± 0,60	2,55
		PDNI80	1,07	± 0,59	1,58
		PDNI40	1,51	± 0,52	1,67
		PCI80	3,49	± 0,28	3,55
		PCI40	2,5	± 0,60	2,92
		PCNI80	2,4	± 0,48	2,63
		PCNI40	2,12	± 0,46	2,01
43	637,9	PDI80	4,32	± 0,16	4,60
		PDI40	4,27	± 0,69	4,07
		PDNI80	2,75	± 0,16	2,48
		PDNI40	2,36	± 0,16	2,25
		PCI80	4,85	± 0,66	4,89
		PCI40	4,35	± 1,03	4,17
		PCNI80	3,35	± 0,35	3,35
		PCNI40	2,2	± 0,17	2,57
51	785,0	PDI80	5,01	± 0,07	4,99
		PDI40	4,73	± 0,37	4,67
		PDNI80	3,03	± 0,35	2,88
		PDNI40	2,2	± 0,32	2,48
		PCI80	5,15	± 0,55	5,15
		PCI40	4,61	± 0,36	4,61
		PCNI80	3,5	± 0,74	3,53
		PCNI40	2,71	± 0,18	2,75

## APÊNDICE 7: Continuação....

DAE	GD (°C)	Tratamentos	IAF medido <sup>(1)</sup>		IAF estimado <sup>(2)</sup>
62	951,1	PDI80	5,0	± 0,19	5,06
		PDI40	4,89	± 0,40	4,82
		PDNI80	2,93	± 0,37	3,00
		PDNI40	2,77	± 0,22	2,55
		PCI80	5,26	± 0,65	5,18
		PCI40	5,23	± 0,85	4,72
		PCNI80	4,03	± 0,90	3,56
		PCNI40	3,04	± 0,53	2,79
71	1086,1	PDI80	5,22	± 0,30	5,06
		PDI40	4,6	± 0,19	4,82
		PDNI80	2,88	± 0,48	3,02
		PDNI40	2,56	± 0,04	2,56
		PCI80	5,33	± 0,66	5,18
		PCI40	4,19	± 0,26	4,74
		PCNI80	3,19	± 0,31	3,53
		PCNI40	3,09	± 0,29	2,80
83	1279,8	PDI80	5,1	± 0,81	5,06
		PDI40	3,99	± 0,22	3,11
		PDNI80	2,41	± 0,10	2,56
		PDNI40	2,03	± 0,63	2,17
		PCI80	4,99	± 0,14	5,18
		PCI40	4,29	± 0,24	4,40
		PCNI80	2,09	± 0,41	2,98
		PCNI40	2,54	± 0,17	2,72
92	1433,7	PDI80	4,26	± 0,55	2,70
		PDI40	3,71	± 0,42	1,74
		PDNI80	2,25	± 0,08	2,19
		PDNI40	1,93	± 0,12	1,86
		PCI80	3,45	± 0,89	3,07
		PCI40	3,33	± 0,75	2,64
		PCNI80	1,84	± 0,32	2,55
		PCNI40	2,09	± 0,34	1,85
100	1548,0	PDI80	1,39	± 0,06	0,96
		PDI40	1,24	± 0,06	0,73
		PDNI80	1,82	± 0,10	1,92
		PDNI40	1,63	± 0,21	1,63
		PCI80	1,46	± 0,18	1,50
		PCI40	1,43	± 0,07	1,33
		PCNI80	1,7	± 0,10	2,22
		PCNI40	1,13	± 0,10	1,20

<sup>(1)</sup> Dados para IAF medido correspondem à média ± desvio padrão

<sup>(2)</sup> Modelos de estimativa do IAF

$IAF_{PDI80} = 5,05/(1+\exp(-(GD-466,07)/74,85))$	$IAF_{PCI80} = 5,18/(1+\exp(-(GD-448,37)/67,31))$
$IAF_{PDI40} = 4,82/(1+\exp(-(GD-490,85)/87,06))$	$IAF_{PCI40} = 4,74/(1+\exp(-(GD-458,53)/90,62))$
$IAF_{PDNI80} = 3,02/(1+\exp(-(GD-492,15)/96,85))$	$IAF_{PCNI80} = 3,56/(1+\exp(-(GD-417,35)/80,59))$
$IAF_{PDNI40} = 2,56/(1+\exp(-(GD-437,58)/101,22))$	$IAF_{PCNI40} = 2,80/(1+\exp(-(GD-414,12)/94,14))$



APÊNDICE 8: Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do milho em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) (A) e não irrigado (NI) (B), em dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m), em função de graus-dia acumulado. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

GD	GD							
	Acumulados	PDI80	PDI40	PDNI80	PDNI40	PCI80	PCI40	PCNI80
247	0,29	0,41	0,30	0,42	0,24	0,29	0,20	0,30
260	0,31	0,46	0,31	0,45	0,24	0,30	0,20	0,31
273	0,31	0,45	0,30	0,47	0,25	0,28	0,17	0,32
287	0,30	0,42	0,33	0,46	0,28	0,28	0,18	0,36
304	0,27	0,41	0,33	0,46	0,31	0,31	0,19	0,37
321	0,41	0,55	0,45	0,56	0,44	0,40	0,31	0,41
334	0,33	0,54	0,42	0,52	0,38	0,36	0,23	0,42
349	0,34	0,58	0,42	0,50	0,39	0,40	0,22	0,42
362	0,51	0,68	0,52	0,66	0,54	0,53	0,37	0,51
375	0,42	0,59	0,47	0,60	0,49	0,48	0,27	0,45
387	0,49	0,66	0,50	0,63	0,51	0,57	0,33	0,49
400	0,56	0,71	0,55	0,69	0,59	0,62	0,40	0,56
412	0,62	0,74	0,55	0,70	0,59	0,62	0,49	0,57
427	0,64	0,75	0,54	0,64	0,61	0,61	0,52	0,49
443	0,70	0,81	0,59	0,65	0,65	0,71	0,53	0,52
457	0,69	0,81	0,61	0,67	0,70	0,70	0,55	0,54
471	0,75	0,85	0,69	0,73	0,75	0,77	0,63	0,65
485	0,73	0,82	0,62	0,69	0,74	0,75	0,56	0,55
501	0,73	0,86	0,59	0,67	0,71	0,78	0,53	0,55
518	0,74	0,84	0,52	0,61	0,72	0,78	0,50	0,52
534	0,75	0,88	0,53	0,61	0,75	0,80	0,48	0,49
551	0,80	0,88	0,58	0,64	0,76	0,83	0,55	0,55
569	0,78	0,88	0,51	0,60	0,80	0,84	0,51	0,50
585	0,86	0,92	0,77	0,84	0,84	0,87	0,74	0,74
602	0,82	0,92	0,58	0,75	0,80	0,86	0,57	0,57
620	0,86	0,93	0,62	0,69	0,85	0,89	0,61	0,58
749	0,90	0,96	0,64	0,70	0,93	0,94	0,60	0,55
766	0,90	0,96	0,63	0,66	0,93	0,93	0,58	0,53
785	0,90	0,96	0,61	0,66	0,94	0,94	0,57	0,55
800	0,94	0,97	0,83	0,86	0,93	0,93	0,77	0,76
814	0,92	0,97	0,73	0,78	0,95	0,94	0,68	0,67
827	0,92	0,97	0,72	0,76	0,95	0,94	0,66	0,63
841	0,93	0,97	0,69	0,74	0,95	0,95	0,65	0,63
858	0,93	0,97	0,69	0,72	0,96	0,95	0,63	0,62
873	0,94	0,98	0,69	0,72	0,96	0,95	0,64	0,62
885	0,93	0,98	0,67	0,72	0,96	0,95	0,63	0,63
901	0,94	0,98	0,68	0,79	0,97	0,95	0,61	0,62
919	0,94	0,98	0,66	0,78	0,97	0,96	0,60	0,61
936	0,96	0,98	0,84	0,88	0,97	0,95	0,71	0,71
951	0,94	0,98	0,71	0,73	0,97	0,96	0,62	0,65
963	0,95	0,98	0,69	0,72	0,96	0,96	0,59	0,63
976	0,95	0,98	0,70	0,72	0,97	0,96	0,60	0,63
992	0,95	0,98	0,71	0,72	0,97	0,96	0,61	0,62
1010	0,96	0,98	0,73	0,76	0,97	0,96	0,64	0,68
1030	0,96	0,98	0,72	0,80	0,97	0,96	0,63	0,65
1050	0,96	0,98	0,74	0,81	0,97	0,96	0,63	0,69

## APÊNDICE 8: Continuação....

GD								
Acumulados	PDI80	PDI40	PDNI80	PDNI40	PCI80	PCI40	PCNI80	PCNI40
1075	0,96	0,98	0,82	0,89	0,97	0,95	0,75	0,73
1086	0,96	0,98	0,84	0,89	0,98	0,95	0,79	0,80
1101	0,96	0,98	0,79	0,84	0,98	0,96	0,76	0,76
1118	0,95	0,98	0,74	0,80	0,98	0,96	0,70	0,71
1135	0,96	0,98	0,71	0,77	0,97	0,96	0,69	0,67
1152	0,94	0,97	0,67	0,73	0,96	0,94	0,59	0,64
1168	0,95	0,97	0,67	0,73	0,96	0,94	0,59	0,64
1185	0,95	0,97	0,68	0,74	0,96	0,94	0,61	0,63
1203	0,95	0,97	0,65	0,74	0,96	0,95	0,61	0,63
1219	0,96	0,98	0,71	0,79	0,96	0,96	0,65	0,70
1234	0,95	0,97	0,71	0,80	0,96	0,95	0,65	0,67
1250	0,95	0,97	0,70	0,79	0,96	0,96	0,64	0,68
1265	0,96	0,97	0,66	0,80	0,97	0,96	0,64	0,67
1280	0,95	0,98	0,66	0,79	0,97	0,95	0,63	0,66
1295	0,94	0,98	0,68	0,80	0,94	0,95	0,63	0,68
1310	0,95	0,98	0,68	0,82	0,95	0,95	0,65	0,70
1327	0,95	0,98	0,70	0,82	0,96	0,96	0,65	0,70
1345	0,94	0,97	0,73	0,83	0,95	0,95	0,68	0,77
1363	0,96	0,98	0,73	0,85	0,95	0,95	0,69	0,79
1380	0,94	0,98	0,72	0,83	0,94	0,94	0,64	0,75
1398	0,93	0,98	0,73	0,84	0,95	0,95	0,67	0,78
1416	0,93	0,97	0,75	0,85	0,93	0,94	0,66	0,78
1434	0,93	0,96	0,74	0,83	0,92	0,93	0,66	0,75
1450	0,92	0,96	0,76	0,86	0,91	0,93	0,67	0,75
1467	0,86	0,91	0,57	0,74	0,83	0,86	0,41	0,51
1482	0,92	0,95	0,77	0,86	0,92	0,92	0,72	0,76
1498	0,92	0,95	0,79	0,86	0,92	0,92	0,69	0,78
1513	0,92	0,95	0,81	0,86	0,91	0,92	0,72	0,76
1525	0,92	0,95	0,83	0,85	0,92	0,92	0,72	0,78
1538	0,92	0,95	0,82	0,86	0,92	0,93	0,73	0,76
1548	0,88	0,93	0,81	0,84	0,90	0,89	0,71	0,75

APENDICE 9. Resultados do quadrado médio (QM) da análise da variância e teor de clorofila total ( $\text{mg g MS}^{-1}$ ) em folhas de milho, sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
BLOCO	2	16,03	10,38	<,0001*
MANEJO	1	5,54	3,59	0,06
BLOCO*MANEJO	2	0,21	0,13	0,88
IRRIGAÇÃO	1	1989,93	1288,80	<,0001*
MANEJO*IRRIG	1	1,52	0,99	0,32
BLOCO*MANEJO*IRRIG	4	1,29	0,83	0,51
ESPAÇAMENTO	1	2,66	1,72	0,19
MANEJO*ESP	1	0,05	0,03	0,86
IRRIG*ESP	1	2,32	1,50	0,22
MANEJO*IRRIG*ESP	1	1,47	0,95	0,33
BLOCO*ESP(MANEJO)	4	2,58	1,67	0,16
tempo	5	24,53	15,89	<,0001*
MANEJO*tempo	5	3,31	2,14	0,07
IRRIG*tempo	5	61,43	39,79	<,0001*
MANEJO*IRRIG*tempo	5	1,82	1,18	0,33
ESP*tempo	5	1,87	1,21	0,31
MANEJO*ESP*tempo	5	0,42	0,27	0,93
IRRIG*ESP*tempo	5	2,41	1,56	0,18
MANEJO*IRRIG*ESP*tempo	5	3,73	2,42	0,0425*

\*Significativo a 5%

Interação MANEJO\*IRRIG\*ESP\*tempo

<b>Tratamentos</b>	<b>DAE</b>					
	<b>43</b>	<b>48</b>	<b>57</b>	<b>62</b>	<b>71</b>	<b>83</b>
PCI40	18,49 a*	16,95 a	18,62 a	18,87 a	18,12 a	17,40 a
PCI80	18,95 a	14,52 b	19,08 a	17,57 a	18,55 a	18,89 a
PCNI40	14,10 b	12,63 b	10,35 b	8,910 b	9,130 b	7,210 b
PCNI80	15,20 b	13,57 b	10,63 b	10,00 b	9,220 b	8,290 b
PDI40	18,43 a	15,84 b	18,87 a	18,27 a	21,70 a	17,94 a
PDI80	17,75 a	16,05 b	19,30 a	19,04 a	19,77 a	20,24 a
PDNI40	13,00 b	13,52 b	11,88 b	9,350 b	8,510 b	8,640 b
PDNI80	14,26 b	12,19 b	11,97 b	10,12 b	10,15 b	7,920 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

APENDICE 10. Resultados do quadrado médio (QM) da análise da variância e conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de milho, sob dois níveis de irrigação, (irrigado – I e não irrigado – NI) e em dois arranjos de plantas (0,40 e 0,80 m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
BLOCO	2	1,13	0,78	0,8789
MANEJO	1	81,50	9,35	0,0032*
BLOCO*MANEJO	2	37,87	4,34	0,168
IRRIGAÇÃO	1	1622,36	186,15	<0,0001*
MANEJO*IRRIG	1	9,21	1,06	0,307
BLOCO*MANEJO*IRRIG	4	8,07	0,93	0,454
ESPAÇAMENTO	1	8,16	0,94	0,3368
MANEJO*ESP	1	1,91	0,22	0,641
IRRIG*ESP	1	38,55	4,42	0,0392*
MANEJO*IRRIG*ESP	1	10,79	1,24	0,2698
BLOCO*ESP(MANEJO)	4	4,15	0,48	0,7429
tempo	4	256,34	29,41	<0,0001*
MANEJO*tempo	4	7,65	0,88	0,04817
IRRIG*tempo	4	119,71	13,74	<0,0001*
MANEJO*IRRIG*tempo	4	11,80	1,35	0,2592
ESP*tempo	4	4,41	0,51	0,7314
MANEJO*ESP*tempo	4	7,89	0,9	0,4662
IRRIG*ESP*tempo	4	12,17	1,4	0,2444
MANEJO*IRRIG*ESP*tempo	4	5,69	0,65	0,6268

\*Significativo a 5%

#### Interação IRRIG\*ESP

IRRIGAÇÃO	ESPAÇAMENTO	CRA
I	40	93,29 a*
I	80	92,68 a
NI	40	84,81 b
NI	80	86,46 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 11. Comparação da diferença entre os coeficientes “b” das equações de regressão linear do coeficiente de extinção da radiação solar na cultura do milho, em sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

<b>Espaçamento</b>	<b>Manejo/irrigação</b>			
	PDI	PCI	PDNI	PCNI
80	0,54bA	0,51bA	0,47bA	0,31aB
40	0,75aA	0,62aA	0,62aA	0,37aB

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula, que compara espaçamento (colunas), e pela mesma letra maiúscula que compara manejo e irrigação (linhas) não diferem entre si pelo Teste t ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 12. Resultados do quadrado médio (QM) da análise da variância para rendimento de grãos, peso de mil grãos, número de espigas por planta, número de grãos por espiga em milho, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), irrigado (I) e não irrigado (NI) e dois arranjos de plantas (0,4 e 0,8m). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul – RS, 2004/05.

<b>RENDIMENTO</b>				
<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
MANEJO	1	4304020,7	3,78	0,1911
IRRIG	1	481792898	1049,07	0,001
ESP	1	411553	1,08	0,4087
BLOCO	1	1004710,8	3,93	0,203
MANEJO*IRRIG	1	5584107,4	2,57	0,25
IRRIG*ESP	1	1774463,8	24,46	0,0385
MANEJO*ESP	1	7295,5	0,07	0,8185
MANEJO*IRRIG*ESP	1	1229,8	0	0,95
IRRIG*BLOCO	2	459255,4	1,79	0,3578
MANEJO*BLOCO	2	1137215,6	4,44	0,1837
MANEJO*IRRIG*BLOCO	2	2171307	8,49	0,1054
ESP*BLOCO	2	382676,5	1,5	0,4007
MANEJO*ESP*BLOCO	2	107031,2	0,42	0,7051
IRRIG*ESP*BLOCO	2	72534,8	0,28	0,7791

<b>PESO DE 1000 GRÃOS</b>				
<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
MANEJO	1	110,18	0,26	0,6667
IRRIG	1	27816,77	13,12	0,0685
ESP	1	469,025	0,35	0,6131
BLOCO	1	560,91	3,56	0,2191
MANEJO*IRRIG	1	188,42	0,34	0,6193
IRRIG*ESP	1	2553,062	2,83	0,2346
MANEJO*ESP	1	109,62	0,44	0,5744
MANEJO*IRRIG*ESP	1	50,1211	0,32	0,6294
IRRIG*BLOCO	2	2119,59	13,47	0,06
MANEJO*BLOCO	2	423,55	2,69	0,2709
MANEJO*IRRIG*BLOCO	2	555,78	3,53	0,22
ESP*BLOCO	2	1332,29	8,46	0,1057
MANEJO*ESP*BLOCO	2	247,765	1,57	0,38
IRRIG*ESP*BLOCO	2	902,54	5,73	0,01485

## APÊNDICE 12: Continuação....

<b>NÚMERO DE ESPIGAS</b>				
<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
MANEJO	1	0,0010	1,58	0,3353
IRRIG	1	2,7917	5675,27	0,0002
ESP	1	0,0933	10,11	0,0863
BLOCO	1	0,0028	1,33	0,4294
MANEJO*IRRIG	1	0,0229	1,26	0,3777
IRRIG*ESP	1	0,0825	11,87	0,0749
MANEJO*ESP	1	0,0022	1,42	0,3557
MANEJO*IRRIG*ESP	1	0,0068	3,26	0,2129
IRRIG*BLOCO	2	0,0005	0,24	0,8085
MANEJO*BLOCO	2	0,0006	0,29	0,7753
MANEJO*IRRIG*BLOCO	2	0,0181	8,73	0,1028
ESP*BLOCO	2	0,0092	4,44	0,1837
MANEJO*ESP*BLOCO	2	0,0015	0,74	0,5755
IRRIG*ESP*BLOCO	2	0,0069	3,35	0,2301

<b>NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGA</b>				
<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.&gt; F</b>
MANEJO	1	8501,102	1,5	0,3449
IRRIG	1	750392,253	732,23	0,0014
ESP	1	15350,380	154,52	0,0064
BLOCO	1	3981,608	1,23	0,4478
MANEJO*IRRIG	1	5936,278	1,79	0,313
IRRIG*ESP	1	110,971	0,06	0,8355
MANEJO*ESP	1	4809,020	8,8	0,0973
MANEJO*IRRIG*ESP	1	4453,468	1,38	0,03611
IRRIG*BLOCO	2	1024,801	0,32	0,7591
MANEJO*BLOCO	2	5654,028	1,75	0,3635
MANEJO*IRRIG*BLOCO	2	3320,891	1,03	0,493
ESP*BLOCO	2	99,344	0,03	0,9701
MANEJO*ESP*BLOCO	2	546,177	0,17	0,8593
IRRIG*ESP*BLOCO	2	1994,517	0,62	0,6181