

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

**RESPOSTA DO MILHO À REDUÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRELINHAS EM
DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Mércio Luiz Strieder
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um dos
requisitos à obtenção do grau de
Mestre em Fitotecnia
Área de Concentração Plantas de Lavoura

Porto Alegre (RS), Brasil
Fevereiro, 2006

MÉRCIO LUIZ STRIEDER
Engenheiro Agrônomo – UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em:
Pela Banca Examinadora

Homologada em:
Por:

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
Orientador-PPG-Fitotecnia

JOSÉ ANTÔNIO MARTINELLI
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

NILSON GILBERTO FLECK
PPG-Fitotecnia

CHRISTIAN BREDEMEIER
PPG-Fitotecnia

LUÍS SANGOI
Universidade do Estado de Santa
Catarina (UDESC-Lages)

GILMAR ARDUINO BETTIO
MARODIN
Diretor da Faculdade de Agronomia

“O trabalho científico é lento, na maioria das vezes monótono e, quase sempre, sujeito às adversidades. Somente a disposição, a perseverança e o amor ao estudo e à pesquisa científica de interesse podem manter o pesquisador ligado ao seu trabalho. Não se devem esperar compensações financeiras ou gratidões humanas. O trabalho científico honesto é acompanhado sempre pela recompensa espiritual e, eventualmente, por alguma homenagem que florescerá de suas verdades.”

PETROIANUA

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais Hilário (In Memoriam) e Maria Dolores, pelo apoio, estímulo e compreensão, sem os quais não teria realizado esta etapa de minha vida”. Sou eternamente grato por tudo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e por me acompanhar em todas as etapas desta caminhada.

Ao professor Paulo Regis Ferreira da Silva, pela orientação, apoio e incentivo durante essa longa “parceria” e, sobretudo, pela grande amizade e sinceridade.

À minha noiva Denise, minha alma gêmea, pela compreensão, amor, carinho e força dada, para sempre continuar a luta e não desanimar, mesmo nas horas mais difíceis.

Às minhas irmãs Marciane e Elenice e aos cunhados Evaldo e Airton por tudo aquilo que foi partilhado e planejado.

Ao Roque e à Anastácia Strieder e ao Gabriel e à Terêsia Rohden, “pais por opção”, e seus filhos, familiares e amigos, pelo apoio e incentivo constantes para continuar buscando conhecimentos e por contribuírem para a “evolução sócio-cultural do homem-cidadão do campo”.

Ao Lisandro Rambo, Gilber Argenta, Luis Sangoi e Paulo César Endrigo, grandes amigos e incentivadores, pela dedicação, companheirismo e estímulo durante a realização desse trabalho. Aos bolsistas de iniciação científica Douglas Batista Jandrey, Giovani Baseggio e Daniel da Costa Soares, pela ajuda na realização das determinações.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura o agradecimento pelos ensinamentos e atenção dispensados, e aos professores Homero Bergamaschi e Genei Antônio Dalmago, amigos e parceiros, pelo apoio na viabilização de parte das determinações desse trabalho.

Aos colegas Itamar C. Nava, Naracelis Polleto, Dênis S. Guerra, Thais F. S. de Freitas, Adriano A. da Silva, Heleno Facchin e Luciano M. Guerini, pela amizade e estímulo durante esta caminhada.

Aos colegas de pós-graduação, pelo companheirismo e colaboração recebidas, e aos funcionários do Departamento de Plantas de Lavoura pela ajuda na execução do trabalho.

Ao CNPq e à Syngenta Seeds, pelos auxílios financeiros.

RESPOSTA DO MILHO À REDUÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRELINHAS EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO ^{1/}

Autor: Mércio Luiz Strieder

Orientador: Prof. Paulo Regis Ferreira da Silva

RESUMO

A redução do espaçamento entrelinhas, mantida a densidade de plantas, melhora a distribuição entre plantas e diminui a competição intra-específica por luz, água e nutrientes, que pode ser uma vantagem sob condições de estresse (hídrico ou nutricional). Nesse trabalho estudaram-se, em duas estações de crescimento, os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas em características agrônômicas e de dossel em dois híbridos de milho, duas densidades de plantas e sob três sistemas de manejo. Foram conduzidos seis experimentos a campo, nas estações de crescimento de 2003/04 e 2004/05, na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, em Eldorado do Sul-RS. Os tratamentos constaram de dois espaçamentos entrelinhas (0,4 e 0,8 m), dois híbridos (Flash, com folhas eretas, e Penta, com folhas decumbentes) e duas densidades de plantas, variáveis com o sistema de manejo e estação de crescimento. Além das densidades, os sistemas de manejo diferiram nas doses de adubo e de suplementação hídrica. O índice de área folhar (IAF), senescência folhar e radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}), foram avaliadas apenas nos sistemas de manejo muito alto, em 2003/04, e no médio e alto, em 2004/05. Já, o rendimento de massa seca da parte aérea, o rendimento de grãos e seus componentes, o teor de proteína dos grãos e o índice de colheita aparente (ICa) foram avaliados em seis experimentos. Os resultados obtidos mostram que o IAF e a RFA_{int} variaram com a redução do espaçamento entrelinhas, mas dependeram de densidade de plantas, tipo de planta do híbrido e sistema de manejo. Nos três sistemas de manejo, as características de dossel tiveram resposta distinta da obtida para rendimento de grãos. Os incrementos nos rendimentos de grãos, com redução do espaçamento entrelinhas, quando ocorreram, foram de pequena magnitude (0 a 14%) e se manifestaram apenas em tetos superiores a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$, independente de híbrido. O número de grãos por área foi o componente com comportamento similar àquele do rendimento de grãos com redução do espaçamento entrelinhas, independente de densidade, híbrido e sistema de manejo. A redução do espaçamento entrelinhas não alterou o teor de proteína dos grãos sob rendimento de grãos alto ($>8,0 \text{ t ha}^{-1}$), mas o aumentou sob baixo rendimento ($2,3 \text{ t ha}^{-1}$). O espaçamento entrelinhas não alterou o ICa, independente de densidade, híbrido e sistema de manejo.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (88p.). Fevereiro, 2006.

MAIZE RESPONSE TO NARROW ROW SPACING IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS ^{1/}

Author: Mércio Luiz Strieder

Adviser: Prof. Paulo Regis Ferreira da Silva

ABSTRACT

With narrow row spacing, kept the plant density, spatial distribution more uniform among plants is decreasing the intra-specific competition for light, water and nutrients, which can be an advantage under stress conditions (hydric or nutritional). In this work it was studied the effect of narrow row spacing in agronomic and canopy traits in two maize hybrids, two plant densities and under three management systems. Six experiments were conducted at field, in the growth seasons 2003/04 and 2004/05, at Eldorado do Sul-RS, Brazil. The treatments consisted of two row spacings (0.4 e 0.8 m), two hybrids (Flash, with erect leaves, and Penta, with decumbent leaves) and two plant densities, variable with management systems and growth season. Besides densities, the management systems differed with fertilizer level and water supplementation. The leaf area index (IAF), leaf senescence and photosynthetic active radiation intercepted (RFA_{int}) was evaluated in 2003/04 only in the very high management system and 2004/05 in medium and high management systems. Already, the shoot yield, the grain yield and its components, the kernel crude protein and the apparent harvest index (ICa) were evaluated in six experiments. The results showed that IAF and RFA_{int} varied with narrow row spacing, but its performance depended on plant density, plant type of hybrid and management system. In the three management systems, the canopy traits had distinct response of grain yield. The increments in grain yields with narrow row spacing, when it occurred, were at small magnitude (0 to 14%) and occurred only with grain yield higher than $10,0 \text{ t ha}^{-1}$, independent of hybrid. The number of grain for area was the component with similar performance of grain yield with narrow row spacing, independent of plant density, hybrid and management system. The narrow row spacing did not affect kernel crude protein under high grain yield level ($>8,0 \text{ t ha}^{-1}$), but it increased under low grain yield ($2,3 \text{ t ha}^{-1}$). The narrow row spacing did not affect ICa, independent of plant density, hybrid and management system.

^{1/} Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (88 p.). February, 2006.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| 2. CAPÍTULO I - Características de dossel e rendimento de grãos de milho sob espaçamento entrelinhas reduzido em diferentes sistemas de manejo..... | 8 |
| 3. CAPÍTULO II - Rendimento de grãos e outras características agronômicas do milho sob espaçamento entrelinhas reduzido em diferentes sistemas de manejo..... | 40 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 72 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 78 |
| 6. APÊNDICES..... | 84 |
| 7. VITA..... | 88 |

RELAÇÃO DE TABELAS

| | Página |
|---|--------|
| 1 - Características físico-químicas do solo da área experimental, em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS..... | 13 |
| 2 - Caracterização de três sistemas de manejo aplicados na cultura do milho, em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS..... | 14 |
| 3 - Índice de área folhar (IAF) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo médio, nos estádios de nove folhas expandidas (V_9), de espigamento (R_1) e de grão leitoso (R_3), em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 20 |
| 4 - Índice de área folhar de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de seis (V_6), nove (V_9), 15 (V_{15}) folhas expandidas, espigamento (R_1) e de grão leitoso (R_3), em função do efeito simples de espaçamento entrelinhas, na média de dois híbridos e de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 21 |
| 5 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, no estádio de seis folhas expandidas (V_6), em função da interação de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas, e da interação de espaçamento e densidade, na média de dois híbridos e no estádio de grãos em forma de bolha (R_2), em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 22 |
| 6 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de nove (V_9) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas e de emborrachamento (V_{15}), em função da interação de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 23 |
| 7 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de nove (V_9) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas e de emborrachamento (V_{15}), em função da interação de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 24 |

| | | |
|------|--|----|
| 8 - | Índice de área folhar ⁽¹⁾ de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, no estádio de emborrachamento (V_{15}) ⁽²⁾ em função da interação dupla de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 25 |
| 9 - | Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $mol\ m^{-2}\ dia^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, nos estádios de seis (V_6) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas, de emborrachamento (V_{15}) e grãos em forma de bolha (R_2), em função da interação de espaçamento entrelinhas, híbrido e densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 26 |
| 10 - | Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $mol\ m^{-2}\ dia^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, nos estádios de seis (V_6) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas, de emborrachamento (V_{15}) e grãos em forma de bolha (R_2), em função da interação de espaçamento entrelinhas, híbrido e densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 27 |
| 11 - | Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $mol\ m^{-2}\ dia^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, no estádio de nove folhas expandidas (V_9), em função das interações de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos, e de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 28 |
| 12 - | Características físico-químicas do solo das áreas experimentais utilizadas em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS..... | 45 |
| 13 - | Caracterização dos três sistemas de manejo aplicados na cultura do milho, em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS..... | 46 |
| 14 - | Rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo médio, nos estádios de 11 folhas expandidas (V_{11}) e de espigamento (R_1), em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 53 |
| 15 - | Rendimento de grãos de milho e seus componentes em experimentos conduzidos sob sistema de manejo médio, em duas estações de crescimento, em função de espaçamento entrelinhas, na média de duas densidades de plantas e dois híbridos. Eldorado do Sul-RS..... | 54 |
| 16 - | Teor de proteína dos grãos de milho em experimentos conduzidos sob sistema de manejo médio, em duas estações de crescimento, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos e de espaçamento e híbrido, na média de duas densidades. Eldorado do Sul-RS..... | 55 |

| | | |
|------|---|----|
| 17 - | Rendimento de massa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de 11 folhas expandidas (V_{11}), espigamento (R_1) e de colheita, em função de espaçamento entrelinhas, na média de duas densidades e de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 56 |
| 18 - | Rendimento de massa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, no estádio de espigamento (R_1) ⁽¹⁾ , em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 56 |
| 19 - | Rendimento de grãos de milho e seus componentes em experimentos conduzidos sob sistema de manejo alto, em duas estações de crescimento, em função de espaçamento entrelinhas, na média de duas densidades de plantas e dois híbridos. Eldorado do Sul-RS..... | 57 |
| 20 - | Número de espigas de milho por área em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 58 |
| 21 - | Teor de proteína dos grãos de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, em função da interação de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 58 |
| 22 - | Rendimento de massa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, nos estádios de 11 folhas expandidas (V_{11}), espigamento (R_1) e na colheita, em função de espaçamento entrelinhas, na média de dois híbridos e duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 59 |
| 23 - | Rendimento de massa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, no estádio de espigamento (R_1) ⁽¹⁾ , em função da interação de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 60 |
| 24 - | Rendimento de grãos e seus componentes em milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, em função de espaçamento entrelinhas, na média de dois híbridos e duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04..... | 60 |
| 25 - | Rendimento de grãos de milho ($t\ ha^{-1}$) ⁽¹⁾ em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05..... | 61 |

RELAÇÃO DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| 1 - Radiação solar global decendial ocorrida durante a ontogenia da planta de milho em experimentos submetidos a três sistemas de manejo, relativa às duas estações de crescimento e à média histórica do período entre 1969/1999 em Eldorado do Sul-RS. Dados do Setor de Agrometeorologia da FA/UFRGS. ^{1/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993)..... | 19 |
| 2 - Precipitações pluviais decendiais e irrigações realizadas nos três sistemas de manejo durante a ontogenia da planta de milho, relativas às estações de crescimento 2003/04 e 2004/05 e à média histórica do período 1969/1999 em Eldorado do Sul-RS. Dados do Setor de Agrometeorologia da FA/UFRGS. ^{1/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993)..... | 50 |
| 3 - Deficiências hídricas decendiais ocorridas durante a ontogenia da planta de milho em experimentos submetidos a três sistemas de manejo, relativos às duas estações de crescimento e à média histórica do período 1969/1999 em Eldorado do Sul-RS. Dados do Setor de Agrometeorologia da FA/UFRGS. ^{1/} Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993)..... | 52 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho, juntamente com o arroz e o trigo, é um dos três cereais mais cultivados no mundo, sendo produto fundamental nas alimentações animal e humana. No ano de 2004, segundo a FAO (FAOSTAT data, 2005), produção global alcançou 721,4 milhões de toneladas de grãos. Apesar do Brasil ser o terceiro produtor mundial, sendo superado apenas pelos Estados Unidos da América e China, que concentram cerca de 65% da produção, nos últimos 15 anos a produção brasileira situa-se ao redor de 6% da global, quantidade insuficiente para atender às necessidades internas (FAOSTAT data, 2005). Por isso, o Brasil importa anualmente quantidades expressivas do produto. Uma das principais causas da falta de produto para atender à demanda nacional é o baixo rendimento de grãos obtido com essa cultura, apesar desse ter evoluído nas últimas décadas.

A cultura do milho pode ser considerada de integração nacional, pois abrange diversos sistemas produtivos, sendo cultivada nas mais diferentes regiões do Brasil. É uma cultura de grande importância sócio-econômica, que varia muito nas suas formas de produção, determinada pela diversidade das condições edafo-climáticas e dos sistemas tecnológicos. Nesse sentido, o milho integra fornecedores de insumos, de máquinas e de equipamentos agrícolas e de serviços, empresas de consultoria e de assistência técnica, agências bancárias, casas comerciais, setor de transporte, bem como indústrias de rações, destinadas a suínos, aves, bovinos e pequenos animais, fabricantes de silos, de secadores e de equipamentos de transporte (BISOTTO, 2001).

O milho é um dos principais insumos da alimentação do segmento produtivo animal, com destaque no arraçoamento, na forma de farelo, de ração ou de silagem de

planta inteira ou de grão úmido, especialmente na suinocultura, avicultura e bovinocultura de leite. Na alimentação humana é consumido como milho verde e na forma de subprodutos, como pão, farinha e massas. Na indústria, o milho é empregado como matéria prima para extração de amido, óleo, farinha, glicose, produtos químicos, rações para animais (PINAZZA, 1993).

No Estado do Rio Grande do Sul, a cultura responde por cerca de um terço da produção anual de grãos, considerando-se cereais, leguminosas e oleaginosas. Contribui para a economia estadual sob forma de produto consumido “in natura” pelo homem e por animais, como rações para aves e suínos e como matéria prima em indústrias, que o transformam em diversos subprodutos. Assim, o milho apresenta importância sócio-econômica para o Estado, em termos de geração de emprego e de renda, ocupando cerca de 30% do total da área com cultivo de grãos na primavera-verão (BISOTTO, 2001). Esse cereal representa 70% da produção obtida em propriedades com menos de 100 ha, conforme dados do Censo Agropecuário de 1995/96.

Nas últimas quatro safras agrícolas (2001/02 a 2004/05), o rendimento médio de grãos de milho obtido pelos produtores brasileiros foi baixo, situando-se em torno de 3,1 t ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2004), quando comparado com os rendimentos médios de lavoura de 8,3 e 5,2 t ha⁻¹ obtidos nos Estados Unidos da América e na Argentina, respectivamente (FAOSTAT data, 2005). Por outro lado, SANGOI et al. (2003), ao avaliarem o desempenho agrônômico de milho em cinco sistemas de manejo em Eldorado do Sul-RS, região da Depressão Central e em Lages-SC, região do Planalto Serrano, obtiveram rendimentos bem superiores à média nacional. Nos dois locais, o rendimento de grãos aumentou com a melhoria do sistema de manejo utilizado, variando de 3,0 a 15,0 t ha⁻¹ em Eldorado do Sul-RS e de 3,2 a 15,9 t ha⁻¹ em Lages-SC. Isto evidencia que o rendimento obtido pelos produtores corresponde a apenas um quinto do verificado em nível experimental. Com isso, há exploração de apenas

pequena parte do potencial genético das atuais cultivares comerciais. Isso motiva o desenvolvimento de novas estratégias e a adequação de práticas rotineiras de manejo para diminuir a lacuna existente entre o rendimento de grãos alcançado e o potencial de rendimento possível de ser obtido.

A produtividade de uma cultura depende de fatores genéticos e de condições edafo-climáticas (BUGBEE & SALISBURY, 1988; EVANS & FISCHER, 1999), particularmente da radiação solar interceptada pelo seu dossel (MELGES et al., 1989), que é muito dependente do arranjo de plantas. A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pelo dossel das culturas tem importância na definição da produtividade do milho (OTTMAN & WELCH, 1989; LOOMIS & AMTHOR, 1999), principalmente quando outros fatores do ambiente são favoráveis (ARGENTA et al., 2001c). A razão disso está no fato de, entre as espécies de maior importância agrícola, o milho representar a cultura com maior potencial de uso da radiação solar incidente para conversão de carbono mineral em carbono orgânico, para posterior acúmulo nos grãos (SLAFFER & OTEGUI, 2000).

Uma das formas de se aumentar a RFA_{int} pelo dossel e o rendimento de grãos é através do arranjo adequado de plantas, que é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos de milho (OTTMAN & WELCH, 1989; SINCLAIR, 1993; LOOMIS & AMTHOR, 1999; ARGENTA et al., 2001a). O arranjo de plantas pode ser manipulado através de alterações na densidade de plantas, no espaçamento entrelinhas e na distribuição de plantas na linha (ARGENTA et al., 2001c).

O arranjo de plantas em milho foi alterado ao longo do tempo, à medida que modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica foram incorporadas na planta pelos programas de melhoramento, concomitantemente com alterações no manejo cultural (SANGOI et al., 2002). Na principal região produtora de milho dos Estados Unidos da América, nos últimos 70 anos, ocorreram incrementos lineares no

rendimento de grãos, devido ao início do cultivo de híbridos duplos, na década de 30, e de híbridos simples, em meados da década de 60 (RUSSEL, 1991). No Brasil, as grandes modificações verificadas no rendimento de grãos ocorreram a partir da década de 1940, com a introdução de híbridos duplos. A adoção de híbridos se refletiu em avanços no manejo da cultura, como maior uso de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas e aumento da densidade de plantas (DUVICK & CASSMAN, 1999; SANGOI, 2001; MUNDSTOCK & SILVA, 2005), estratégias que se refletiram em incrementos significativos no rendimento de grãos nas décadas posteriores.

Com a disponibilidade de genótipos de milho mais responsivos à densidade de plantas e à redução do espaçamento entrelinhas, produtores e pesquisadores, muitas vezes com esforços conjuntos, desenvolveram tecnologias para elevar os rendimentos de grãos da cultura. Uma delas foi a substituição da tração animal pela mecanizada. Assim, a adoção do espaçamento entrelinhas amplo (mais de um metro) passou a ser questionada. O seu emprego decorria do uso de animais para aplicação de práticas culturais nas lavouras, por permitir o adequado funcionamento dos equipamentos necessários à semeadura, à aplicação de tratamentos culturais e à colheita, independente de sistema de produção e tipo de tração utilizados (MUNDSTOCK, 2004). Com maior espaçamento entrelinhas, os animais e o implemento passavam entre as linhas de cultivo para realização de práticas culturais, causando danos mínimos às plantas, principalmente ao sistema radical.

A redução do espaçamento entrelinhas, mantida a densidade de plantas, permite distribuição espacial mais uniforme entre plantas, com aumento da eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (FLÉNET et al., 1996) e diminuição da competição intra-específica por luz, água e nutrientes (JOHNSON et al., 1998). Isto, muitas vezes, se reflete em aumento da taxa fotossintética líquida por planta (BULLOCK et al., 1988; MUCHOW et al., 1990) e em maiores rendimentos de massa seca e de grãos (KARLEN & CAMP, 1985; MURPHY et al., 1996; ARGENTA et al. 2001b; SANGOI et

al., 2001; FLESCH & VIEIRA, 2004; BALBINOT Jr. & FLECK, 2005a). Entretanto, esses processos são dependentes da percentagem de radiação absorvida e da eficiência de sua utilização e conversão em massa vegetal (LOOMIS & WILLIAMS, 1963).

A partir da década de 60 até os dias atuais, diversos estudos conduzidos por diferentes pesquisadores enfocaram o arranjo de plantas nas suas mais variadas formas. De modo geral, os incrementos no rendimento de grãos, obtidos com a redução do espaçamento entrelinhas, foram de pequena magnitude e variaram de 5 a 10% (MUNDSTOCK, 1977; SANGOI et al., 1998; ARGENTA, et al., 2001a; FLESCH & VIEIRA, 2004; BALBINOT Jr. & FLECK, 2005a). Segundo MUNDSTOCK (1977), o uso de espaçamentos entrelinhas inferiores a um metro somente se justifica quando os rendimentos de grãos e a densidade de plantas forem superiores a $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ e a $4,0 \text{ pl m}^{-2}$, respectivamente. Com rendimentos de grãos de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$, o espaçamento entrelinhas não altera a resposta da cultura, já que as limitações a maiores rendimentos relacionam-se a fatores como fertilidade do solo, potencial genético da cultivar, falta ou excesso hídrico e/ou deficiências no manejo fitossanitário e na condução da lavoura. Por sua vez, ARGENTA et al. (2001a) verificaram incremento no rendimento de grãos com redução do espaçamento entrelinhas, principalmente em híbridos de ciclo superprecoce e com baixa estatura de planta. Híbridos com essas características de planta, geralmente demoram mais tempo para fechar os espaços entrelinhas e entre plantas na linha e, muitas vezes, não conseguem sombrear toda a área.

Poucos estudos foram realizados sobre a adoção de espaçamento entrelinhas reduzido em milho com variações na densidade de plantas, associando esses dois fatores a sistemas diferenciados de manejo e tipo de planta do híbrido. O estudo dessa interação se justifica pela cultura ser muito exigente em fertilidade do solo, respondendo progressivamente a altas adubações, desde que outros fatores não sejam limitantes. Além disso, deve-se considerar que na maioria dos experimentos que envolvem arranjo de

plantas, os rendimentos de grãos obtidos foram baixos ou médios, não ultrapassando 6,0 t ha⁻¹. Com isso, a resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas pode ser limitada por outros fatores do ambiente e/ou práticas de manejo e não àqueles relacionados ao arranjo de plantas.

Com base nesses aspectos, a investigação dos efeitos do arranjo de plantas em sistemas contrastantes de manejo, com expectativas de rendimento de grãos amplas, variando de 3,0 a 15,0 t ha⁻¹, é importante para que se tenha mais subsídios para decidir em qual situação de manejo a adoção do espaçamento entrelinhas reduzido e o aumento da densidade de plantas são mais eficientes técnica e economicamente. Do mesmo modo, a identificação dos efeitos da redução do espaçamento entrelinhas em características agronômicas da planta de milho, como índice de área folhar (IAF), senescência folhar, RFA_{int} pelo dossel, estatura de planta e de inserção da espiga principal, também é importante para direcionar práticas de manejo a serem adotadas na cultura. A elucidação das bases morfo-fisiológicas da resposta da planta aos fatores expostos é fundamental para se continuar avançando no processo de conversão de energia luminosa em produção de grãos por área através da manipulação do arranjo de plantas.

Dessa forma, os objetivos desse trabalho foram: (i) avaliar as vantagens agronômicas da redução do espaçamento entrelinhas em relação ao espaçamento tradicional em dois híbridos e duas densidades de plantas, sob três sistemas de manejo; (ii) comparar os efeitos do uso da redução do espaçamento entrelinhas em dois híbridos com arquitetura de plantas contrastantes nas características associadas ao dossel da planta, como IAF, senescência folhar e RFA_{int} pelo dossel; (iii) determinar os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos e seus componentes e nas características relacionadas ao desenvolvimento da planta em três sistemas de manejo e (iv) avaliar se a resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas depende de densidade de plantas, tipo de planta do híbrido, sistema de manejo ou da combinação desses fatores.

Para tanto, a apresentação da dissertação foi dividida em dois capítulos. No Capítulo I, investigou-se o efeito da redução do espaçamento entrelinhas no IAF, na senescência folhar e o rendimento de grãos em três sistemas de manejo (médio, alto e muito alto) e sobre a RFA_{int} nos sistemas de manejo alto e muito alto. Em cada um dos três sistemas de manejo, testou-se duas densidades de plantas e dois híbridos com arquitetura de plantas contrastantes, já que a hipótese sugere que há influência desses fatores nas características avaliadas. No Capítulo II, testou-se a hipótese de que a redução do espaçamento entrelinhas é mais importante sob condições mais limitantes ao rendimento de grãos de milho. Para tanto, foram avaliados, em duas estações de crescimento e em três sistemas de manejo, o rendimento de massa seca da parte aérea, o rendimento de grãos e seus componentes, o índice de colheita aparente e o teor de proteína dos grãos.

2. CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS DE DOSEL E RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO SOB ESPAÇAMENTO ENTRELINHAS REDUZIDO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

CORN CANOPY TRAITS AND GRAIN YIELD UNDER NARROW ROW SPACING IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

2.1. RESUMO

A redução do espaçamento entrelinhas aumenta a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) e diminui a competição intra-específica por luz, água e nutrientes, devido à distribuição mais uniforme entre plantas. Teoricamente, as vantagens da redução do espaçamento entrelinhas em milho podem variar com o tipo de planta e o sistema de manejo. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da redução do espaçamento entrelinhas no índice de área folhar (IAF), senescência folhar, RFA_{int} e no rendimento de grãos de dois híbridos de milho com arquitetura de planta contrastantes, sob três sistemas de manejo. Foram conduzidos três experimentos em Eldorado do Sul-RS. Os tratamentos constaram de dois espaçamentos entrelinhas (0,4 e 0,8 m), de dois híbridos (Flash, com folhas eretas, e Penta, com folhas decumbentes) e de duas densidades de plantas (5,0 e 6,6, 6,2 e 8,3 e 6,5 e 8,0 pl m⁻², respectivamente nos sistemas de manejo médio, alto e muito alto). Além das densidades, os sistemas de manejo diferiram quanto aos níveis de adubo e de suplementação hídrica. Em cada sistema de manejo, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em fatorial 2x2x2, com quatro repetições. Na estação de crescimento 2003/04, foram realizadas avaliações no experimento com sistema de manejo muito alto e, em 2004/05, nos experimentos com sistema de manejo médio e alto. As características de dossel foram avaliadas em diversos estádios fenológicos. O IAF e a RFA_{int} pelo dossel foram influenciados pela redução do espaçamento entrelinhas, mas seus comportamentos dependeram do estágio fenológico, densidade de plantas, tipo de planta do híbrido e sistema de manejo. A senescência folhar não foi influenciada pelo espaçamento entrelinhas em nenhum dos três sistemas de manejo em que foi avaliada, independente de densidade de plantas e tipo de planta do híbrido. A redução do espaçamento entrelinhas incrementou o rendimento de grãos somente no sistema de manejo muito alto, não o afetando nos sistemas de manejo baixo e médio. As características de dossel avaliadas não tiveram comportamento similar ao verificado para rendimento de grãos nos três sistemas de manejo.

Termos para indexação: *Zea mays*, híbrido, densidade de plantas, níveis de adubo e de irrigação.

2.2. ABSTRACT

The narrow row spacing increases the interception of photosynthetic active radiation (RFA_{int}) and decreases intra-specific competition by light, water and nutrients, due to the more uniform plant distribution. Theoretically the advantages of narrow row

spacing in maize crop would vary according to plant type and management system. The objective of this research was to evaluate the effect of narrow row spacing on leaf area index (IAF), leaf senescence, RFA_{int} and on grain yield of two maize hybrids with contrasting plant type, under three management systems. Three experiments were conducted at Eldorado do Sul-RS, Brazil. The treatments consisted of two row spacings (0.4 and 0.8 m), of two hybrids (Flash, with erect leaves, and Penta, with decumbent leaves) and of two plant densities (5,0 and 6,6, 6,2 and 8,3 and 6,5 and 8,0 pl m⁻², respectively for medium, high and very high management systems). Besides the plant densities, the management systems differed according com fertilizer and water supplementation levels. In each management system, the experimental design used was the randomized blocks, in a factorial 2x2x2, with four replications. In the growth season 2003/04, the measurements were obtained in the experiment with very high management system and, in 2004/05, in the experiments with medium and high management systems. The canopy traits were evaluated in various development stages. The IAF and RFA_{int} by the canopy were influenced by narrow row spacing, but their performance depended on development stage, plant density, hybrid plant type and management system. The leaf senescence was not affected by row spacing in none of the three management systems which was evaluated, independent of plant density and hybrid plant type. The narrow row spacing increased grain yield only in the very high management system, but it was not modified in low and medium management systems. The canopy traits evaluated did not have similar performance to the verified for grain yield in the three management systems.

Index terms: *Zea mays*, hybrid, plant density, fertilization and irrigation levels.

2.3. INTRODUÇÃO

A manipulação do arranjo de plantas, através de alterações no espaçamento entrelinhas, na densidade de plantas e/ou na distribuição de plantas na linha, é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos em milho. Ela afeta a interceptação da radiação solar incidente, que é um dos principais fatores determinantes da produtividade (OTTMAN & WELCH, 1989; LOOMIS & AMTHOR, 1999), principalmente quando outros fatores do ambiente e de manejo da cultura são favoráveis (ARGENTA et al., 2001c). Geralmente, o aumento na interceptação de radiação solar, devido à distribuição espacial mais uniforme entre plantas, tem sido relacionado unicamente ao maior índice de área folhar (IAF) (FLÉNET et al., 1996; MADONNI & OTEGUI, 1996), pois aumenta a atividade fotossintética (BULLOCK et al., 1988; MUCHOW et al., 1990) e a produção de massa vegetal por planta (KARLEN & CAMP, 1985; MURPHY et al., 1996; SANGOI et al., 2001). Entretanto, o incremento no

rendimento de grãos pode ainda, relacionar-se à distribuição mais uniforme da radiação solar no interior do dossel e a maior eficiência de uso e de conversão da radiação interceptada em acúmulo de massa seca por planta (ARGENTA et al., 2001c).

A redução do espaçamento entrelinhas e o aumento da densidade de plantas incrementam a interceptação da radiação solar, mas alteram a estrutura do dossel, em termos de tamanho, forma e orientação de folhas. Assim, são influenciados o IAF, o número e a área individual da folha, o ângulo de inserção folhar, a distribuição folhar no dossel, a taxa de senescência das folhas mais velhas (inferiores) e, dessa forma, a relação entre RFA_{int} e IAF (TETHIO-KAGHO & GARDNER, 1988; FLÉNET et al., 1996). Por apresentarem características de planta diversas, os genótipos de milho também afetam a arquitetura de plantas no dossel (MADONNI & OTEGUI, 1996), pelas diferenças na estatura de planta, no número de folhas, no IAF, no ângulo de inserção das folhas e na distribuição azimutal de folhas no colmo (EDMEADES & LAFITTE, 1993; MADONNI & OTEGUI, 1996; STEWART & DWYER, 1999). Para um genótipo com folhas eretas e sob alta densidade de plantas ($10,0 \text{ pl m}^{-2}$) OTTMAN & WELCH (1989) obtiveram maior interceptação de radiação solar nas plantas cultivadas no espaçamento entrelinhas reduzido (0,38 m), em relação ao espaçamento tradicional (0,76 m).

A manipulação do arranjo de plantas também altera a qualidade de luz recebida pelas folhas, sobretudo nos extratos inferiores do dossel. Com disposição mais uniforme de plantas na área ocorre maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e menor reflexão de luz na faixa do vermelho extremo (V_E) (KASPERBAUER & KARLEN, 1994; ALMEIDA et al., 2001). Já sob densidades superiores a $6,0 \text{ pl m}^{-2}$, essas recebem mais luz V_E refletida, diminuindo a relação V/V_E e, dessa forma, alteram a habilidade competitiva do milho junto às plantas vizinhas. Isso determina modificações morfológicas na arquitetura e no desenvolvimento da planta, estimulando a alongação de entrenós (colmos mais compridos, porém com menor diâmetro), maiores dominância apical e altura de inserção de espiga

(ALMEIDA et al., 2001; RAJCAN & SWANTON, 2001), folhas mais compridas e finas e maior abscisão radical (KASPERBAUER & KARLEN, 1994).

O IAF, que é uma característica muito relacionada à RFA_{int} pelo dossel, é influenciado, além do arranjo de plantas, pelo genótipo, pela densidade de plantas e pelas condições edafo-climáticas (TOLLENAAR et al., 1994; MADONNI & OTEGUI, 1996; MURPHY et al., 1996). Em milho, valores de IAF entre 3 e 4 podem ser suficientes para maximizar o rendimento de grãos (LINQUIST et al., 1998). Embora o incremento na densidade de plantas seja uma das formas mais fáceis de aumentar o IAF (SILVA et al., 2006) e a quantidade de RFA_{int} pelo dossel, essa prática conduz às desvantagens de diminuir a assimilação líquida de CO_2 por planta, de acelerar a senescência folhar e de incrementar o sombreamento de folhas (TETHIO-KAGHO & GARDNER, 1988), principalmente daquelas dispostas nos extratos inferiores do dossel.

Outro aspecto importante a ser considerado nas características de dossel refere-se à habilidade de alguns genótipos modificarem a distribuição azimutal de folhas quando submetidos a altas densidades e à redução do espaçamento entrelinhas. As folhas do extrato superior do dossel dispõem-se mais perpendicularmente às linhas de semeadura sob alta ($10,0 \text{ pl m}^{-2}$) do que sob baixa ($4,0 \text{ pl m}^{-2}$) densidade de plantas (GIARDIN & TOLLENAAR, 1994). Esses autores, ao manterem a densidade de plantas, verificaram tendência similar em milho cultivado sob maior espaçamento entrelinhas (0,76 m), que apresentou folhas mais perpendiculares à linha de semeadura, do que quando cultivado sob menor espaçamento (0,5 m).

Ao contrário da densidade de plantas, o espaçamento entrelinhas geralmente não modifica o IAF máximo (WESTGATE et al., 1997). Com base nessas evidências, MADONNI et al. (2001a), em estudos conduzidos na Argentina, classificaram os genótipos de milho em “plásticos”, que apresentam habilidade de modificar a orientação de folhas, e em “rígidos”, que não têm essa plasticidade. Isso demonstra que há resposta

distinta entre genótipos na habilidade de interceptar a radiação solar incidente quando submetidos a arranjos de plantas variáveis, podendo resultar em maior acúmulo de massa seca e, mais tarde em rendimento de grãos.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da redução do espaçamento entrelinhas no IAF, na senescência folhar, na RFA_{int} pelo dossel e no rendimento de grãos de dois híbridos de milho com arquitetura de plantas contrastantes, sob duas densidades de plantas e três sistemas de manejo.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos a campo, sendo um realizado na estação de crescimento 2003/04 e dois na de 2004/05, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no município de Eldorado do Sul ($30^{\circ} 05' S$ e $51^{\circ} 39' W$, altitude média de 42 m), na região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado por Köppen como subtropical úmido de verão quente, do tipo fundamental Cfa, predominante na região Sul do Brasil (BERGAMASCHI et al., 2003).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 1999). Nos últimos 13 anos, as áreas experimentais têm sido conduzidas no sistema de semeadura direta, adotando-se a rotação de soja e milho nos cultivos de verão. Em cada estação de crescimento, coletaram-se amostras de solo antes da instalação da cultura invernal de cobertura de solo, estando os resultados apresentados na Tabela 1. No segundo ano, a área experimental recebeu aplicação, a lanço, de $3,0 t ha^{-1}$ de calcário (PRNT de 85%), quatro meses antes da instalação dos experimentos com milho.

Cada sistema de manejo aplicado no milho (médio e alto em 2004/05, e muito alto em 2003/04) correspondeu a um experimento. Em cada experimento testou-se dois espaçamentos entrelinhas (0,4 e 0,8 m), dois híbridos (Flash, portador de folhas eretas, e

Penta, com folhas decumbentes) e duas densidades de plantas, as quais variaram de acordo com o sistema de manejo e a estação de crescimento adotadas. Nos três experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em fatorial 2x2x2, com quatro repetições.

Tabela 1. Características físico-químicas do solo da área experimental, em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS

| Característica de solo | Estação de crescimento | |
|--|------------------------|---------|
| | 2003/04 | 2004/05 |
| Densidade do solo (g dm^{-3}) | 1430 | 1500 |
| Teor de argila (g dm^{-3}) | 543 | 510 |
| pH (água) | 5,3 | 5,1 |
| P (Mehlich I) (mg dm^{-3}) | 5,6 | 6,3 |
| K (Mehlich I) (mg dm^{-3}) | 179 | 146 |
| Matéria orgânica (g dm^{-3}) | 3,6 | 3,5 |
| CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) | 8,1 | 9,0 |

Os genótipos Flash e Penta, desenvolvidos e comercializados pela empresa Syngenta Seeds, são híbridos simples e possuem ciclos superprecoce e precoce, respectivamente. Além das densidades de plantas, os sistemas de manejo diferiram quanto aos níveis de adubo na semeadura e em cobertura e de suplementação hídrica (Tabela 2). No sistema de manejo muito alto (2003/04), testou-se as densidades de plantas 6,5 e 8,0 pl m^{-2} , enquanto no segundo ano, as densidades foram 5,0 e 6,6 e de 6,2 e 8,3 pl m^{-2} , respectivamente, nos sistemas de manejo médio e alto (Tabela 2). A área útil de cada unidade experimental foi de 9,6 m^2 .

As quantidades de N, P_2O_5 e K_2O e as densidades de plantas correspondentes aos sistemas de manejo médio e alto, nos experimentos conduzidos na estação de crescimento 2004/05, foram propostos com base nas indicações técnicas para essa cultura nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004; REUNIÃO, 2005). No sistema de manejo muito alto, conduzido na estação de crescimento 2003/04, a

quantidade de N, P₂O₅ e K₂O e as densidades de plantas foram estabelecidas com base em experimentos anteriores conduzidos no mesmo local (ARGENTA et al., 2001b; FORSTHOFER, 2004). Os sistemas de manejo alto e muito alto tiveram por objetivo a obtenção de elevados rendimentos de grãos. Assim, utilizaram-se altas densidades de plantas e de adubo, principalmente nitrogênio (N), e suprimento adequado de água durante toda a ontogenia da planta. O sistema de manejo médio objetivou simular a condição mais usual de lavoura de milho, em que há deficiências na nutrição e na suplementação hídrica da planta e se adota menor densidade de plantas.

Tabela 2. Caracterização de três sistemas de manejo aplicados na cultura do milho, em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS

| Estação de crescimento | Sistema de manejo | Densidade de plantas (pl m ⁻²) | Adubo mineral (kg ha ⁻¹) | | | Irrigação suplementar (mm água) | |
|------------------------|-------------------|--|--------------------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|
| | | | N | | P ₂ O ₅ | | K ₂ O |
| | | | Semeadura | Cobertura | Semeadura | | |
| 2003/04 | Muito alto | 6,5 | 40 | 185 | 130 | 130 | Com |
| | | 8,0 | 40 | 185 | 130 | 130 | Com |
| 2004/05 | Alto | 6,2 | 20 | 120 | 95 | 95 | Com |
| | | 8,3 | 20 | 120 | 95 | 95 | Com |
| 2004/05 | Médio | 5,0 | 10 | 60 | 40 | 40 | Sem* |
| | | 6,6 | 10 | 60 | 40 | 40 | Sem* |

* No sistema de manejo médio, a irrigação foi realizada apenas sob deficiência hídrica elevada durante o período mais crítico da planta, de 14 dias antes (estádio V₁₅) até 20 dias após o florescimento (estádio R₃).

Como espécie de cobertura de solo no inverno, utilizou-se a aveia preta (*Avena strigosa*), implantada sem adubo na semeadura em 20 de maio em cada uma das duas estações de crescimento, na densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes. No início de seu perfilhamento, aplicou-se adubo nitrogenado em cobertura (45 kg ha⁻¹) na forma de uréia (45% de N). A aveia preta teve rendimentos de 4,7 e 5,2 t ha⁻¹ de massa seca da parte aérea, respectivamente, em 2003/04 e em 2004/05. No estágio de grãos leitosos, dessecou-se essa cultura com o herbicida glyphosate (540 g i.a. ha⁻¹), sendo após acamada com rolo-faca.

Adotou-se o sistema de semeadura direta do milho em sucessão à aveia preta, realizando-se a semeadura com saraquá nos dias 21 de outubro de 2003 e 13 de outubro de 2004, dispondo-se três sementes por cova. Cerca de 14 dias após emergência fez-se o ajuste da densidade de plantas para aquelas desejadas, mantendo-se uma planta por cova. Nos três experimentos, a adubação na semeadura nas linhas constou da aplicação da mistura, realizada manualmente, de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, nas doses dos nutrientes constantes na Tabela 2. A dose e a época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura no milho variaram de acordo com o sistema de manejo, utilizando-se como fonte o nitrato de amônio (32% de N). No sistema de manejo muito alto foram aplicadas três doses de N (45, 65 e 75 kg ha⁻¹), respectivamente, nos estádios de três (V₃), nove (V₉) folhas expandidas e emborrachamento das plantas (V₁₅). No sistema de manejo alto aplicou-se duas doses de N (50 e 70 kg ha⁻¹), respectivamente, nos estádios V₄ e V₁₀. No sistema de manejo médio aplicou-se dose única de 60 kg ha⁻¹ de N no estádio V₅. Os estádios fenológicos do milho foram identificados com base na escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993).

Nos sistemas de manejo alto e muito alto, a necessidade de irrigação do milho foi estimada pela instalação de seis tensiômetros (três a 0,2 m e três a 0,4 m de profundidade), procedendo-se a irrigação por aspersão (vazão de 8 mm h⁻¹) sempre que o potencial de água no solo era inferior a -0,04 MPa. Nos três experimentos, realizou-se o controle de plantas daninhas em pós-emergência precoce, através da aplicação da mistura formulada de atrazine (1200 g ha⁻¹) com metolachlor (1800 g ha⁻¹). O controle preventivo de pragas cortadoras de plantas foi realizado no dia da semeadura através do tratamento de sementes, aplicando-se 3 g kg⁻¹ de semente do inseticida thiodiocarb. Para controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e da vaquinha (*Diabrotica speciosa*) aplicou-se 25 g ha⁻¹ do inseticida permethrin, no estádio V₄, e de 24 g ha⁻¹ de methoxifenozeide, no estádio V₉.

Nos três experimentos, as determinações constaram de avaliações do índice de área folhar (IAF), em cinco estádios de desenvolvimento, de área folhar senescida, em três estádios, e do rendimento de grãos. Nos experimentos com sistemas de manejo alto e muito alto analisou-se também a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pelo dossel, em cinco estádios.

No sistema de manejo muito alto (2003/04), o IAF foi avaliado nos estádios V_8 , V_{15} , R_1 (espigamento) e R_3 (grão leitoso). Nos sistemas de manejo médio e alto (2004/05), as avaliações de IAF foram realizadas nos estádios V_6 , V_9 , V_{15} , R_1 e R_3 . Na primeira avaliação do IAF, nos três experimentos, foram obtidas as medidas de todas as folhas fotossinteticamente ativas expandidas e, também daquelas não expandidas, desconsiderando-se as senescidas. Para diminuir o tempo de realização das avaliações posteriores, em cada estádio identificou-se a última folha expandida de cada uma das quatro plantas com uma borrachinha. Nas avaliações subseqüentes, obtiveram-se apenas as medidas das folhas que se expandiram a partir daquela identificada na avaliação anterior e as daquelas ainda não expandidas, sendo a essas áreas folhares acrescida a área verde das folhas remanescentes da avaliação imediatamente anterior.

Do total da área folhar verde (remanescente mais a medida) subtraíram-se as áreas das folhas com mais de 50% de amarelecimento (aquelas senescidas entre uma avaliação e a outra). Dessa forma, para obtenção do IAF em cada estádio de desenvolvimento, considerou-se apenas as áreas das folhas fotossinteticamente ativas. O IAF foi obtido medindo-se o comprimento e a largura máxima de todas as folhas fotossinteticamente ativas em quatro plantas de cada unidade experimental. O produto dessas medidas foi multiplicado pelo fator de correção 0,75, conforme proposto por FRANCIS et al. (1969) e se dividiu o valor da área folhar obtida pela área de solo que as quatro plantas ocupavam. Todas as avaliações de IAF foram realizadas nas mesmas plantas durante o ciclo, já que o método utilizado não é destrutivo.

A estimativa de senescência folhar foi obtida pela soma da área das folhas senescentes em cada um dos três estádios de desenvolvimento em que se avaliou essa característica (V_{15} , R_1 e R_3). Nessa avaliação, considerou-se a mesma área anteriormente estimada para cada folha, por ocasião da avaliação do IAF.

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pelo dossel foi avaliada nos estádios V_6 , V_9 , V_{12} , V_{15} e R_2 (grão em bolha) nos sistemas de manejo alto e muito alto. No sistema de manejo muito alto (2003/04), obteve-se a RFA incidente (RFA_{inc}) através da instalação de um sensor “Quantum” um metro acima do dossel da cultura, enquanto no segundo ano, utilizou-se os dados de radiação global multiplicados por 0,42 (FRANÇA, 2003), por serem equivalentes à radiação medida pelo sensor “Quantum”. Avaliou-se a RFA transmitida (RFA_t) cinco centímetros acima do solo, usando três conjuntos de sensores (barras) por parcela, cada um contendo cinco células foto-voltaicas. As barras foram ligadas a um multiplexador de canais conectado a um “datalogger”, com unidade externa armazenadora de dados (módulo de memória). As leituras foram realizadas automaticamente a cada 30 segundos e seus valores armazenados em intervalos de 15 minutos. A RFA_{int} pelos genótipos foi calculada pela equação:

$$RFA_{int} = RFA_{inc} - RFA_t$$

O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção da área útil de $9,6 \text{ m}^2$ por unidade experimental para um hectare, corrigindo-se a umidade para 13%. Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância pelo F-teste ($p < 0,05$). Quando alcançada significância estatística, a comparação entre médias foi realizada pelo teste DMS ($p < 0,05$). Em razão das características dos tratamentos e dos objetivos propostos, os dados de cada conjunto constituinte do respectivo sistema de manejo foram analisados individualmente, como um experimento isolado. Em função desses aspectos, a análise conjunta dos dados ficou prejudicada, pois entre os sistemas de manejo e as estações de crescimento, houve grande variação nos fatores estudados.

2.5. RESULTADOS

Na média histórica dos anos 1969/1999, no período entre o primeiro decêndio do mês de outubro e o primeiro de março, a radiação solar global média decencial variou entre 30 e 40 mol m⁻² dia⁻¹ (BERGAMASCHI et al., 2003) (Figura 1). Os maiores valores de radiação solar global média foram registrados entre o terceiro decêndio de dezembro e o segundo decêndio de janeiro, o que também foi verificado nas duas estações de crescimento, nas quais se atingiu valores próximos a 50 mol m⁻² dia⁻¹. Nos dois anos de condução da pesquisa, geralmente, a radiação solar global superou a verificada na média histórica entre 1969/99. Entretanto, na estação de crescimento 2003/04, verificou-se que a radiação solar global foi inferior à média histórica no primeiro decêndio de outubro (antes da semeadura do milho), entre o segundo e o terceiro decêndio de novembro (estádio V₆) e entre o segundo e o terceiro decêndio de dezembro (estádio V₁₅) (Figura 1). Já, na estação de crescimento 2004/05, essa característica foi inferior à média histórica apenas entre o primeiro e o terceiro decêndio de novembro (V₆ a V₉) e entre o segundo e o terceiro decêndio de março (R₆) (Figura 1). Nos demais decêndios das duas estações de crescimento, a radiação solar global foi superior a verificada na média histórica.

A seguir são apresentados, separadamente, os resultados obtidos nos experimentos correspondentes aos sistemas de manejo médio e alto, conduzidos na estação de crescimento 2004/05, e ao muito alto, em 2003/04. Como o objetivo principal da pesquisa foi comparar dois espaçamentos entrelinhas, apresentaram-se no texto apenas os resultados em que houve efeitos simples de espaçamento entrelinhas ou as interações de espaçamento e híbrido e de espaçamento e densidade de plantas ou ainda, a interação de espaçamento entrelinhas, híbrido e densidade de plantas. Os efeitos simples de híbrido e de densidade de plantas e as interações desses fatores não foram descritos nesse item.

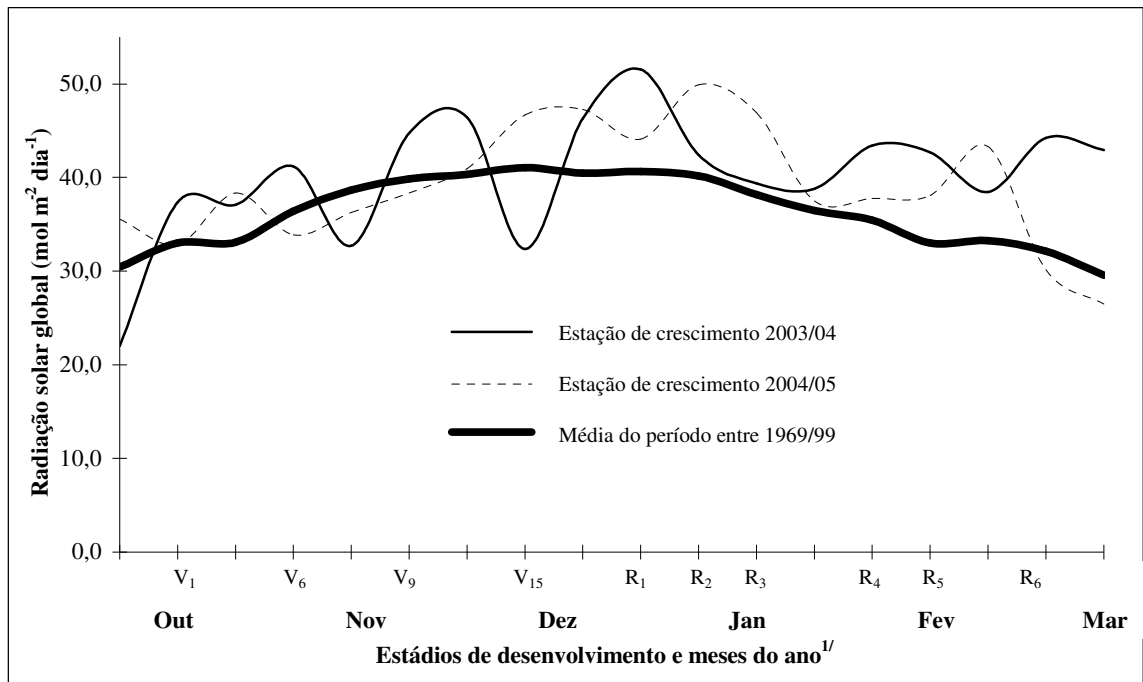


Figura 1. Radiação solar global decidual ocorrida durante a ontogenia da planta de milho em experimentos submetidos a três sistemas de manejo, relativa às duas estações de crescimento e à média histórica do período entre 1969/1999 em Eldorado do Sul-RS. Dados do Setor de Agrometeorologia da FA/UFRGS. ^{1/}Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993).

2.5.1 – EXPERIMENTO COM SISTEMA DE MANEJO MÉDIO

Nesse experimento foram avaliados o IAF, a senescência folhar e o rendimento de grãos. A RFA_{int} pelo dossel durante a ontogenia da planta não foi avaliada.

2.5.1.1 - Índice de área folhar (IAF)

Nos estádios V_9 , R_1 e R_3 de desenvolvimento da planta o IAF variou em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas (Tabela 3). No estágio V_{15} não houve efeito de espaçamento entrelinhas nessa característica (Apêndice 1), atingindo o valor relativo de 3,9, na média dos dois espaçamentos. A redução do espaçamento entrelinhas aumentou o IAF no estágio V_9 na menor densidade de plantas ($5,0 \text{ pl m}^{-2}$) e o reduziu nos estádios R_1 e R_3 na maior densidade ($6,6 \text{ pl m}^{-2}$). Já, o incremento da densidade de plantas de $5,0$ para $6,6 \text{ pl m}^{-2}$ aumentou o IAF no estágio V_9 nos dois espaçamentos entrelinhas e, nos estádios R_1 e R_3 no maior espaçamento entrelinhas (Tabela 3).

Tabela 3. Índice de área folhar (IAF) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo médio, nos estádios de nove folhas expandidas (V₉), de espigamento (R₁) e de grão leitoso (R₃), em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Densidade de plantas (pl m ⁻²) | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|--|---|-----|-----|---|-----|---|
| | 0,4 | | 0,8 | | | |
| | IAF - estágio V₉ ^(1 e 4) | | | | | |
| 5,0 | B | 1,6 | a* | B | 1,3 | b |
| 6,6 | A | 1,9 | a | A | 2,0 | a |
| | IAF - estágio R₁ ⁽²⁾ | | | | | |
| 5,0 | A | 4,2 | a | B | 3,7 | a |
| 6,6 | A | 4,4 | b | A | 5,0 | a |
| | IAF - estágio R₃ ⁽³⁾ | | | | | |
| 5,0 | A | 1,1 | a | B | 0,8 | a |
| 6,6 | A | 0,9 | b | A | 1,8 | a |

^(1, 2 e 3) Coeficientes de variação= 13,4, 13,3 e 25,3%, respectivamente; ⁽⁴⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em cada estágio de desenvolvimento, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

2.5.1.2 - Senescência folhar

A senescência folhar, avaliada nos estádios V₁₅, R₁ e R₃ de desenvolvimento da planta através da área folhar senescida, não variou com o espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndice 1). Os valores relativos de senescência folhar foram de 524, 2412 e 6114 cm², respectivamente, nos estádios V₁₅, R₁ e R₃, na média de dois espaçamentos entrelinhas, duas densidades de plantas e dois híbridos.

2.5.1.3 – Rendimento de grãos

O rendimento de grãos foi muito baixo e não variou com o espaçamento entrelinhas (Apêndice 3). Os valores obtidos foram de 2,3 e 2,1 t ha⁻¹ nos espaçamentos entrelinhas de 0,4 e 0,8 m, respectivamente, na média de dois híbridos e de duas densidades de plantas.

2.5.2 – EXPERIMENTO COM SISTEMA DE MANEJO ALTO

Nesse experimento foram avaliados o IAF, a senescência folhar, a RFA_{int} pelo dossel e o rendimento de grãos.

2.5.2.1 - Índice de área folhar (IAF)

Nos cinco estádios de desenvolvimento, houve efeito simples de espaçamentos entrelinhas para o IAF, sendo sempre superior no maior espaçamento entrelinhas (0,8 m) em relação ao menor (0,4 m) (Tabela 4). Durante o ciclo da planta, os incrementos do IAF no maior espaçamento variaram de 14% (V₉) a 43% (R₃).

Tabela 4. Índice de área folhar de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de seis (V₆), nove (V₉), 15 (V₁₅) folhas expandidas, espigamento (R₁) e de grão leitoso (R₃), em função do efeito simples de espaçamento entrelinhas, na média de dois híbridos e de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Estádio de desenvolvimento ⁽¹⁾ | Espaçamento entrelinhas (m) | | CV ⁽²⁾ (%) |
|---|-----------------------------|-------|--------------------------|
| | 0,4 | 0,8 | |
| V ₆ | 0,9 b* | 1,2 a | 14,8 |
| V ₉ | 2,9 b | 3,3 a | 16,1 |
| V ₁₅ | 5,5 b | 6,6 a | 14,1 |
| R ₁ | 6,1 b | 8,0 a | 14,8 |
| R ₃ | 3,5 b | 5,0 a | 24,6 |

⁽¹⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); ⁽²⁾ CV= Coeficiente de variação; * Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

2.5.2.2 - Senescência folhar

Nesse sistema de manejo, a senescência folhar também não variou com o espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndice 1). Os valores relativos de senescência folhar foram de 668, 1298 e 3794 cm², respectivamente, nos estádios V₁₅, R₁ e R₃, na média de dois espaçamentos entrelinhas, duas densidades de plantas e dois híbridos.

2.5.2.3 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int})

No estádio V₆, a resposta da RFA_{int} à redução do espaçamento entrelinhas dependeu da interação com híbrido e da com densidade de plantas, enquanto no estádio R₂, foi significativa a interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas (Tabela 5). Independente de híbrido, no estádio V₆, e de densidade de plantas, nos estádios V₆ e R₂, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou a RFA_{int} pelo dossel da

cultura. Esses incrementos foram de até 50% no híbrido Penta. No menor espaçamento entrelinhas (0,4 m), o híbrido de folhas decumbentes (Penta) interceptou mais RFA que o de folhas eretas (Flash) no estádio V_6 . Nos estádios V_6 e R_2 , a RFA_{int} foi superior na maior densidade ($8,3 \text{ pl m}^{-2}$) em relação a menor ($6,2 \text{ pl m}^{-2}$). No estádio V_6 , no maior espaçamento entrelinhas (0,8 m), o Flash e a maior densidade ($8,3 \text{ pl m}^{-2}$) tiveram maior RFA_{int} que o Penta e a menor densidade ($6,2 \text{ pl m}^{-2}$), respectivamente. No estádio R_2 , no maior espaçamento, não houve efeito de densidade de plantas nessa característica.

Tabela 5. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, no estádio de seis folhas expandidas (V_6), em função da interação de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas, e da interação de espaçamento e densidade, na média de dois híbridos e no estádio de grãos em forma de bolha (R_2), em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Híbrido/Densidade de plantas | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---|---|------|----|-----|------|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| Híbrido | RFA_{int} - estádio V_6 ^(1 e 3) | | | | | |
| Flash | B | 21,3 | a* | A | 17,9 | b |
| Penta | A | 24,8 | a | B | 16,5 | b |
| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | RFA_{int} - estádio V_6 | | | | | |
| 6,2 | B | 22,4 | a | B | 15,0 | b |
| 8,3 | A | 23,7 | a | A | 19,4 | b |
| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | RFA_{int} - estádio R_2 ⁽²⁾ | | | | | |
| 6,2 | B | 40,5 | a | A | 39,0 | b |
| 8,3 | A | 41,5 | a | A | 39,5 | b |

^(1 e 2) Coeficientes de variação= 4,2 e 1,3%, respectivamente; ⁽³⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em cada interação, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

Nos estádios V_9 , V_{12} e V_{15} , a resposta da RFA_{int} à redução do espaçamento entrelinhas dependeu da interação com densidade de plantas e híbrido (Tabelas 6 e 7). No híbrido Flash, na menor densidade de plantas ($6,2 \text{ pl m}^{-2}$), a redução do espaçamento de 0,8 para 0,4 m não afetou a RFA_{int} nos estádios V_9 e V_{12} e a diminuiu no estádio V_{15} . Na maior densidade de plantas ($8,3 \text{ pl m}^{-2}$) desse híbrido, a redução do espaçamento aumentou a RFA_{int} nos estádios V_9 e V_{12} e não a afetou no estádio V_{15} . No híbrido Penta, nos estádios V_9 , V_{12} e V_{15} , independente de densidade de plantas, a redução do espaçamento entrelinhas

aumentou a RFA_{int} , com exceção da maior densidade de plantas no estádio V_{12} , onde a RFA_{int} não variou. Nos dois espaçamentos entrelinhas, a RFA_{int} nos estádios V_9 , V_{12} e V_{15} foi maior na densidade de 8,3 em relação à de 6,2 $pl\ m^{-2}$, com exceção do híbrido Flash no maior espaçamento no estádio V_{12} e do Penta no menor espaçamento no estádio V_{15} , onde essa característica não alterou.

Tabela 6. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $mol\ m^{-2}\ dia^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de nove (V_9) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas e de emborrachamento (V_{15}), em função da interação de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Densidade de plantas ($pl\ m^{-2}$) | Híbrido | | | |
|---|-----------------------------|----------|----------|----------|
| | Flash | | Penta | |
| | Espaçamento entrelinhas (m) | | | |
| | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 |
| RFA_{int} - estádio V_9 ^(1 e 4) | | | | |
| 6,2 | B 27,9 a* | B 29,1 a | B 37,1 a | B 25,7 b |
| 8,3 | A 35,6 a | A 33,5 b | A 39,2 a | A 35,1 b |
| RFA_{int} - estádio V_{12} ⁽²⁾ | | | | |
| 6,2 | B 38,7 a | A 40,1 a | B 40,0 a | B 35,2 b |
| 8,3 | A 44,5 a | A 41,1 b | A 44,8 a | A 43,1 a |
| RFA_{int} - estádio V_{15} ⁽³⁾ | | | | |
| 6,2 | B 26,4 b | B 27,3 a | A 28,7 a | B 25,4 b |
| 8,3 | A 28,9 a | A 28,2 a | A 28,8 a | A 27,5 b |

^(1, 2 e 3) Coeficiente de variação= 3,6, 3,6 e 1,1%, respectivamente; ⁽⁴⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em estádio de desenvolvimento e híbrido, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

Na comparação entre híbridos, no menor espaçamento entrelinhas (0,4 m) e na menor densidade de plantas (6,2 $pl\ m^{-2}$), o híbrido Penta interceptou mais RFA do que o Flash nos estádios V_9 , V_{12} e V_{15} , assim como também ocorreu na maior densidade de plantas (8,3 $pl\ m^{-2}$) no estádio V_9 (Tabela 7). Por outro lado, no maior espaçamento entrelinhas (0,8 m) e na menor densidade de plantas (6,2 $pl\ m^{-2}$), o híbrido Flash teve maior interceptação de RFA em relação ao Penta nos estádios V_9 , V_{12} e V_{15} , enquanto o Penta teve maior RFA_{int} nos dois primeiros estádios.

Tabela 7. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de nove (V_9) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas e de emborrachamento (V_{15}), em função da interação de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | Híbrido | | | |
|---|---|--------|--------|--------|
| | 0,4 | | 0,8 | |
| | Espaçamento entrelinhas (m) | | | |
| | Flash | Penta | Flash | Penta |
| | RFA_{int} - estágio V_9 ^(1 e 4) | | | |
| 6,2 | 27,9 b* | 37,1 a | 29,1 a | 25,7 b |
| 8,3 | 35,6 b | 39,2 a | 33,5 b | 35,1 a |
| | RFA_{int} - estágio V_{12} ⁽²⁾ | | | |
| 6,2 | 38,7 b | 40,0 a | 40,1 a | 35,2 b |
| 8,3 | 44,5 a | 44,8 a | 41,1 b | 43,1 a |
| | RFA_{int} - estágio V_{15} ⁽³⁾ | | | |
| 6,2 | 26,4 b | 28,7 a | 27,3 a | 25,4 b |
| 8,3 | 28,9 a | 28,8 a | 28,2 a | 27,5 a |

^(1, 2 e 3) Coeficiente de variação= 3,6, 3,6 e 1,1%, respectivamente; ⁽⁴⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em cada estágio de desenvolvimento e híbrido, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

2.5.2.4 – Rendimento de grãos

O rendimento de grãos não variou com a redução do espaçamento entrelinhas (Apêndice 3). Os valores obtidos foram de 9,1 e 8,8 t ha^{-1} , respectivamente nos espaçamentos de 0,4 e 0,8 m, na média de dois híbridos e de duas densidades de plantas.

2.5.3 – EXPERIMENTO COM SISTEMA DE MANEJO MUITO ALTO

Nesse experimento, além do IAF e da área folhar senescida, foram avaliadas a quantidade de RFA_{int} pelo dossel e o rendimento de grãos.

2.5.3.1 - Índice de área folhar (IAF)

Nos estádios V_9 , R_1 e R_3 , o IAF não variou com a redução do espaçamento entrelinhas (Apêndice 1), atingindo valores de, respectivamente 0,6, 3,0 e 5,9, na média de dois espaçamentos entrelinhas e de duas densidades de plantas. Somente no estágio V_{15} , o IAF variou em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas (Tabela 8). Nesse estágio, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m

incrementou o IAF em 16% na maior densidade (8,0 pl m⁻²). No menor espaçamento entrelinhas (0,4 m), o incremento na densidade de 6,5 para 8,0 pl m⁻² aumentou o IAF em 33% e, no maior espaçamento (0,8 m), o aumentou em 15%.

Tabela 8. Índice de área folhar ⁽¹⁾ de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, no estágio de emborrachamento (V₁₅)⁽²⁾ em função da interação dupla de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Densidade de plantas (pl m ⁻²) | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|--|-----------------------------|-----|----|-----|-----|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| 6,5 | B | 2,7 | a* | B | 2,7 | a |
| 8,0 | A | 3,6 | a | A | 3,1 | b |

⁽¹⁾ Coeficiente de variação= 11,3%; ⁽²⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

2.5.3.2 – Senescência folhar

Da mesma forma que os resultados obtidos nos sistemas de manejo médio e alto, a senescência folhar no sistema de manejo muito alto não variou com o espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndice 1). Os valores relativos de senescência folhar foram de 124, 689 e 974 cm², respectivamente, nos estádios V₁₅, R₁ e R₃, na média de dois espaçamentos entrelinhas, duas densidades e dois híbridos.

2.5.3.3 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int})

Para RFA_{int} nos estádios V₆, V₁₂, V₁₅ e R₂ foi significativa a interação de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido (Tabelas 9 e 10). Para o híbrido Flash, na menor densidade de plantas (6,5 pl m⁻²), a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou a RFA_{int} no estágio V₆ e a diminuiu nos estádios V₁₂, V₁₅ e R₂. Na maior densidade de plantas (8,0 pl m⁻²) desse híbrido, a redução do espaçamento entrelinhas diminuiu a RFA_{int} no estágio V₆, a aumentou nos estádios V₁₂ e V₁₅ e não a afetou no estágio R₂. Para o híbrido Penta, na menor densidade de plantas, a redução do espaçamento entrelinhas incrementou a RFA_{int} nos estádios V₆ e R₂ e não a afetou nos

estádios V_{12} e V_{15} . Já, na maior densidade, a redução do espaçamento entrelinhas aumentou a RFA_{int} no estágio V_6 , a diminuiu em V_{15} , e não a afetou nos estádios V_{12} e R_2 .

Tabela 9. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, nos estádios de seis (V_6) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas, de emborrachamento (V_{15}) e grãos em forma de bolha (R_2), em função da interação de espaçamento entrelinhas, híbrido e densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | Híbrido | | | |
|---|---|----------|----------|----------|
| | Flash | | Penta | |
| | Espaçamento entrelinhas (m) | | | |
| | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 |
| | RFA_{int} - estágio $V_6^{(1 \text{ e } 5)}$ | | | |
| 6,5 | A 19,1 a* | B 18,0 b | A 26,4 a | A 20,0 b |
| 8,0 | A 19,4 b | A 23,1 a | B 22,7 a | B 16,6 b |
| | RFA_{int} - estágio $V_{12}^{(2)}$ | | | |
| 6,5 | A 22,6 b | A 24,3 a | A 23,8 a | B 23,1 a |
| 8,0 | A 23,0 a | B 21,7 b | A 23,7 a | A 24,3 a |
| | RFA_{int} - estágio $V_{15}^{(3)}$ | | | |
| 6,5 | B 38,7 b | A 42,5 a | A 40,9 a | B 39,9 a |
| 8,0 | A 41,2 a | B 38,6 b | A 40,2 b | A 41,5 a |
| | RFA_{int} - estágio $R_2^{(4)}$ | | | |
| 6,5 | A 36,7 b | A 38,1 a | A 38,0 a | B 36,9 b |
| 8,0 | A 36,9 a | B 36,6 a | A 37,5 a | A 37,9 a |

^(1, 2, 3 e 4) Coeficiente de variação= 3,7, 4,0, 1,9 e 0,3%, respectivamente; ⁽⁵⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em cada estágio de desenvolvimento e híbrido, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

Os efeitos do aumento da densidade de plantas de 6,5 para 8,0 pl m^{-2} na RFA_{int} pelo dossel dependeram de espaçamento entrelinhas, híbrido e estágio de avaliação (Tabela 9). Para o híbrido Flash, no menor espaçamento entrelinhas (0,4 m), o aumento da densidade de plantas de 6,5 para 8,0 pl m^{-2} incrementou a RFA_{int} pelo dossel no estágio V_{15} e a manteve nos demais estádios. Para esse híbrido, no maior espaçamento (0,8 m), o aumento da densidade incrementou a RFA_{int} pelo dossel no estágio V_6 e a reduziu nos estádios V_{12} , V_{15} e R_2 . Para o híbrido Penta, no menor espaçamento entrelinhas, o aumento da densidade de plantas diminuiu a RFA_{int} pelo dossel apenas no estágio V_6 , mantendo-se

nos demais estádios. Para esse híbrido, no maior espaçamento, o aumento da densidade incrementou a RFA_{int} pelo dossel nos estádios V_{12} , V_{15} e R_2 , mas a reduziu no estádio V_6 .

Na comparação entre híbridos, no menor espaçamento entrelinhas (0,4 m) e na menor densidade de plantas ($6,5 \text{ pl m}^{-2}$), o Penta teve maior RFA_{int} pelo dossel em relação ao Flash nos estádios V_6 , V_{12} , V_{15} e R_2 , o que também ocorreu na maior densidade ($8,0 \text{ pl m}^{-2}$) no estádio V_6 (Tabela 10). Por outro lado, no maior espaçamento entrelinhas (0,8 m), no estádio V_6 , o híbrido Penta teve maior RFA_{int} na menor densidade de plantas ($6,5 \text{ pl m}^{-2}$), enquanto o Flash teve interceptação de RFA maior que o Penta na maior densidade ($8,0 \text{ pl m}^{-2}$). Ainda no espaçamento entrelinhas de 0,8 m, nos estádios V_{12} , V_{15} e R_2 , o híbrido Flash teve maior RFA_{int} na densidade de $6,5 \text{ pl m}^{-2}$, enquanto o Penta apresentou maior RFA_{int} na densidade de $8,0 \text{ pl m}^{-2}$ (Tabela 10).

Tabela 10. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) pelo dossel de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, nos estádios de seis (V_6) e de 12 (V_{12}) folhas expandidas, de emborrachamento (V_{15}) e grãos em forma de bolha (R_2), em função da interação de espaçamento entrelinhas, híbrido e densidade de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | Espaçamento entrelinhas (m) | | | |
|---|--|--------|--------|--------|
| | 0,4 | | 0,8 | |
| | Híbrido | | | |
| | Flash | Penta | Flash | Penta |
| | RFA_{int} - estádio V_6^(1 e 5) | | | |
| 6,5 | 19,1 b* | 26,4 a | 18,0 b | 20,0 a |
| 8,0 | 19,4 b | 22,7 a | 23,1 a | 16,6 b |
| | RFA_{int} - estádio V_{12}⁽²⁾ | | | |
| 6,5 | 22,6 b | 23,8 a | 24,3 a | 23,1 b |
| 8,0 | 23,0 a | 23,7 a | 21,7 b | 24,3 a |
| | RFA_{int} - estádio V_{15}⁽³⁾ | | | |
| 6,5 | 38,7 b | 40,9 a | 42,5 a | 39,9 b |
| 8,0 | 41,2 a | 40,2 a | 38,6 b | 41,5 a |
| | RFA_{int} - estádio R_2⁽⁴⁾ | | | |
| 6,5 | 36,7 b | 38,0 a | 38,1 a | 36,9 b |
| 8,0 | 36,9 a | 37,5 a | 36,6 b | 37,9 a |

^(1, 2, 3 e 4) Coeficiente de variação= 3,7, 4,0, 1,9 e 0,3%, respectivamente; ⁽⁵⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em cada estádio de desenvolvimento e híbrido, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

No estádio V_9 , a resposta da RFA_{int} à redução do espaçamento entrelinhas dependeu das interações com densidade de plantas e com híbrido (Tabela 11). A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m incrementou a RFA_{int} pelo dossel em 11% na menor densidade de plantas ($6,5 \text{ pl m}^{-2}$). O aumento da densidade de plantas de 6,5 para $8,0 \text{ pl m}^{-2}$ incrementou a RFA_{int} pelo dossel em 12% no maior espaçamento. Por outro lado, a redução do espaçamento entrelinhas incrementou a RFA_{int} pelo dossel em 10% no híbrido Penta. Na comparação entre híbridos, a RFA_{int} pelo híbrido Penta foi 9% superior à do Flash no menor espaçamento entrelinhas.

Tabela 11. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int} em $\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, no estádio de nove folhas expandidas (V_9), em função das interações de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos, e de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Densidade de plantas/Híbrido | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---|---|------|----|-----|------|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | RFA _{int} - estádio V_9 ^(1 e 2) | | | | | |
| 6,5 | A | 26,7 | a* | B | 24,1 | b |
| 8,0 | A | 26,9 | a | A | 26,9 | a |
| Híbrido | RFA _{int} - estádio V_9 | | | | | |
| Flash | B | 25,6 | a | A | 25,5 | a |
| Penta | A | 28,0 | a | A | 25,5 | b |

⁽¹⁾ Coeficiente de variação= 3,6%; ⁽²⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Para cada interação, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

2.5.3.4 – Rendimento de grãos

O rendimento de grãos variou apenas em função do efeito simples de espaçamento entrelinhas (Apêndice 2). Os rendimentos obtidos foram muito elevados, sendo de $14,3$ e $13,7 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente nos espaçamentos de 0,4 e 0,8 m, na média de dois híbridos e de duas densidades de plantas. Nesse sistema de manejo, o rendimento de grãos aumentou 4,4% quando se reduziu o espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m.

2.6. DISCUSSÃO

Diversos são os fatores que afetam as características agronômicas do dossel da planta. No presente trabalho, estudou-se a influência da redução do espaçamento entrelinhas em função de densidade de plantas, de tipo de planta do híbrido e de sistema de manejo. No sistema de manejo médio, com restrições para se obter rendimento de grãos satisfatório, o efeito da redução do espaçamento entrelinhas no IAF variou com a época de avaliação (estádio de desenvolvimento) e com a densidade de plantas (Tabela 3). Em um dos três estádios avaliados, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou o IAF na menor densidade de plantas ($5,0 \text{ pl m}^{-2}$) e o diminuiu na maior densidade ($6,6 \text{ pl m}^{-2}$). Essa resposta diferencial do IAF em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, não era esperada.

A distribuição espacial mais uniforme entre plantas obtida com redução do espaçamento entrelinhas, mantendo-se a densidade de plantas, deveria aumentar o IAF, principalmente no sistema de manejo médio, em que houve maior competição intra-específica, sobretudo pela maior restrição de água e nutrientes. Os resultados obtidos evidenciam que, na prática, a distribuição espacial mais uniforme das plantas, ao se reduzir o espaçamento entrelinhas, não é garantia de melhor desenvolvimento da planta. No experimento com sistema de manejo médio, além das limitações relacionadas à distribuição espacial de plantas, houve deficiências nutricionais e hídricas, que afetaram o desenvolvimento adequado das plantas de milho. Assim, no sistema de manejo médio, a redução de espaçamento entrelinhas deveria amenizar a progressão da senescência folhar ao longo do ciclo da planta. No entanto, ao contrário do esperado, a senescência folhar não foi influenciada pela redução do espaçamento entrelinhas (Apêndice 1).

Verificou-se que, no sistema de manejo médio, a redução do espaçamento entrelinhas não foi um fator importante a influenciar as características de dossel avaliadas. Especula-se que a maior interceptação de RFA tenha sido contrabalanceada pela limitação de

outros recursos do ambiente, que permitiriam que a planta pudesse aproveitar a melhor a radiação interceptada. Ou seja, outros fatores atuaram de forma mais marcante no desenvolvimento da planta, entre os quais, as condições meteorológicas adversas, principalmente o regime de precipitação pluvial vigente e as restrições na nutrição da planta (MUNDSTOCK & SILVA, 2005; REUNIÃO, 2005). A ocorrência isolada de uma dessas restrições e/ou de suas interações, especialmente no sistema de manejo médio, pode não se refletir em maior desenvolvimento do dossel da planta, embora isso possa ser teoricamente esperado quando há distribuição espacial mais uniforme entre plantas.

No sistema de manejo alto, em que se utilizaram maiores densidades de plantas e altas quantidades de adubo e irrigação, o IAF foi maior no espaçamento entrelinhas amplo (0,8m), independente de densidade, de tipo de planta do híbrido e de estágio de avaliação (Tabela 4). Os aumentos do IAF entre o menor e o maior espaçamento entrelinhas foram crescentes e variaram de 14% (V_9) a 43% (R_3), sendo obtidos valores de IAF de 6,6 e 8,0, respectivamente, nos estádios V_{15} e R_1 , no maior espaçamento entrelinhas. Os valores de IAF obtidos podem ser considerados muito altos e bem superiores ao IAF de 3 a 4 que já seria suficiente para maximizar o rendimento de grãos de milho (LINGUIST et al., 1998). Assim, repetindo a resposta obtida no experimento com sistema de manejo médio, no manejo alto, a resposta do IAF em função do espaçamento entrelinhas divergiu da esperada, pois essa característica foi superior na maior densidade.

Sob condições adequadas para se obter elevado rendimento de grãos, como aquelas existentes no sistema de manejo alto, praticamente sem limitações ao desenvolvimento da planta, teoricamente, o IAF deveria ter superado aquele obtido no menor espaçamento entrelinhas. Entretanto, diferentemente do esperado, obteve-se maior IAF no espaçamento entrelinhas amplo, independente de densidade e de estágio de desenvolvimento da planta (Tabela 4), numa situação em que houve distribuição menos favorável de plantas e, conseqüentemente, ocorreu maior competição intra-específica pelos

recursos do ambiente. Em estudo conduzido na Argentina, MADONNI et al. (2001b) obtiveram resultados semelhantes para essa característica ao utilizarem dois espaçamentos entrelinhas (0,7 e 0,35 m) em dois genótipos com folhas eretas. Segundo os autores, independente das características do híbrido utilizado a área folhar foi superior no maior espaçamento, especialmente devido a maior largura das folhas expandidas acima da oitava.

Ao variarem o espaçamento entrelinhas, outros estudos também verificaram alterações nas dimensões de folhas, na estrutura e no desenvolvimento do dossel, sendo essas mudanças atribuídas à qualidade de luz no interior do dossel (KASPERBAUER & KARLEN, 1994). A qualidade de luz, expressa pela relação V/V_E no interior do dossel, embora não tenha sido avaliada no presente estudo, pode ser fator determinante da resposta do IAF à redução do espaçamento entrelinhas. Isso porque as plantas são capazes de perceber pequenas trocas na qualidade de luz, mesmo crescendo numa comunidade em que o IAF seja inferior a 1,0, pois a distinção do tipo de luz ocorre desde o início de desenvolvimento da planta (KASPERBAUER & KARLEN, 1994). Segundo os autores, a alteração na qualidade de luz, devido à distribuição mais uniforme entre plantas, pode promover respostas foto-morfogênicas antes mesmo de ocorrer interferência de uma planta sobre a outra ou de ser estabelecida a competição pelos recursos do ambiente.

Luz, água e/ou nutrientes, podem estar ou se tornar limitantes em diferentes estádios de desenvolvimento da planta, dependendo do arranjo de plantas, do sistema de manejo e da forma de condução da lavoura. Em estádios fenológicos mais avançados, quando o IAF aumenta, a competição por luz, tanto em qualidade quanto quantidade, pode alterar o desenvolvimento do dossel, principalmente quando são utilizados espaçamentos entrelinhas amplos e altas densidades de plantas, estratégias que determinam distribuição espacial menos uniforme entre plantas.

A senescência folhar é um processo normal no ciclo de vida das plantas e se caracteriza por encerrar o desenvolvimento de todos os órgãos da planta (DANGL et al.,

2000). Nos três sistemas de manejo em que foi avaliada, verificou-se início da senescência folhar ao redor do estádio V₇, sobretudo nas duas primeiras folhas do extrato inferior do dossel, independente de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido testados. Os dados obtidos no presente estudo demonstram que a senescência folhar é um evento fisiológico que ocorre simultaneamente ao desenvolvimento da planta, como também constataram outros autores (EIK & HANWAY, 1965; BORRÁS et al., 2003; VALENTINUZ & TOLLENAAR, 2004). A senescência folhar é influenciada por limitações ambientais (hídrica ou nutricional), de manejo da lavoura (distribuição espacial desfavorável entre plantas) e por fatores endógenos à planta, como a regulação hormonal (NOODÉN, 1997), que são limitações que ocorreram no presente estudo, principalmente no experimento com sistema de manejo médio. Assim, a interação desses fatores pode induzir precocemente o processo de senescência folhar e inclusive acelerar etapas sucessivas de seu desenvolvimento, caso as limitações impostas não sejam revertidas.

Nos três experimentos, a progressão da senescência folhar foi mais intensa durante o período de formação e enchimento de grãos do que no vegetativo, assim como foi maior no sistema de manejo médio em relação aos demais. Os valores relativos nessa característica de dossel variaram de 524 (V₁₅) a 6114 cm² (R₃) no sistema de manejo médio, de 668 (V₁₅) a 3794 cm² (R₃) no sistema de manejo alto e, de 124 (V₁₅) a 974 (R₃) no sistema de manejo muito alto, sem que tenha ocorrido efeito de espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndice 1). Esses dados demonstram que a senescência folhar, no mesmo estádio de desenvolvimento, diminuiu à medida que houve melhoria no nível de manejo, especialmente durante o período de enchimento de grãos. Nos três sistemas de manejo, os valores de senescência folhar no estádio R₃ em relação aos das avaliações mais precoces, foram muito altos e explicam parcialmente a acentuada queda do IAF verificada entre os estádios R₁ e R₃.

A maior senescência folhar verificada no estágio R₃, pode relacionar-se à acentuada translocação de fotoassimilados de folhas e colmos para os grãos. Além disso, no sistema de manejo médio, houve severa deficiência hídrica durante a ontogenia da planta, principalmente durante o período de formação e enchimento de grãos (Figura 2). Nesse período, a precipitação pluvial foi baixa, diminuindo o nível do reservatório utilizado para captação de água para as irrigações, limitando as irrigações a apenas duas entre os estádios R₄ e R₆ (maturação fisiológica) no sistema de manejo alto. A restrição hídrica nos sistemas de manejo médio (sem irrigação) e alto manejo ajudou a diminuir o ciclo da planta e acelerar a senescência folhar nos dois espaçamentos entrelinhas e se refletiu em menor rendimento de grãos.

Embora não avaliado no presente estudo VALENTINUZ & TOLLENAAR (2004), verificaram que a evolução da senescência folhar é mais intensa no período reprodutivo, em relação ao vegetativo. Utilizando híbridos de diferentes eras, os autores verificaram que na primeira fase, do florescimento à metade do período de enchimento dos grãos, a taxa de senescência folhar é baixa, enquanto na segunda fase, da metade do enchimento à maturação fisiológica do grão, a intensidade de senescência se potencializa. Esse comportamento é atribuído ao maior acúmulo de reservas nos grãos na segunda fase, quando há intensa translocação de fotoassimilados das diferentes partes da planta aos grãos, ao contrário da primeira fase, quando ocorre a definição do número de grãos fixados e a formação de suas estruturas teciduais. Assim, a alta senescência folhar obtida no estágio R₃ em relação aos estádios mais precoces nos três sistemas de manejo está de acordo com as observações de VALENTINUZ & TOLLENAAR (2004).

Além dos efeitos isolados do IAF e da senescência folhar é importante realizar a análise conjunta dessas características de dossel com a RFA_{int} , as quais foram avaliadas no sistema de manejo alto e muito alto. Esta análise pode, por exemplo, explicar o comportamento do rendimento de grãos e do acúmulo de massa seca. Esperava-se que o

maior IAF obtido no maior espaçamento entrelinhas e a maior senescência folhar obtida no menor espaçamento, aumentassem a RFA_{int} pelo dossel no maior espaçamento entrelinhas. A razão disso é que aumentos na RFA_{int} pelo dossel relacionam-se a incrementos no IAF da cultura (FLÉNET et al., 1996; MADONNI & OTEGUI, 1996).

Entretanto, em função do comportamento anômalo do IAF e da senescência folhar, não se esperavam aumentos adicionais na RFA_{int} nos estádios V_6 e R_2 como ocorreu no menor espaçamento entrelinhas (0,4 m), nas duas densidades de plantas e nos dois híbridos testados (Tabela 5). Também, ao contrário do esperado, nos estádios V_9 , V_{12} e V_{15} a redução do espaçamento entrelinhas resultou, geralmente, em comportamento semelhante da RFA_{int} pelo dossel nas duas densidade de plantas (6,2 e 8,3 pl m⁻²) no híbrido de folhas decumbentes (Penta) e, na maior densidade, no híbrido de folhas eretas (Flash) (Tabelas 6 e 7). As respostas obtidas nessas condições evidenciam que o arranjo físico das plantas na área é mais importante que o IAF, já que um alto IAF nem sempre incrementa a RFA_{int} . Isso ocorre porque sob alto IAF pode haver maior sombreamento de folhas superiores sobre as inferiores, tornando a área de interceptação de luz menor, principalmente em híbridos de folhas decumbentes, como o Penta.

Os resultados obtidos para RFA_{int} pelo dossel, no experimento com sistema de manejo alto em função da redução do espaçamento entrelinhas, embora sejam contraditórios com os das outras duas características avaliadas (IAF e senescência folhar), estão de acordo com dados encontrados na literatura. A redução do espaçamento entrelinhas otimiza a interceptação da radiação solar incidente (OTTMAN & WELCH, 1989; MADONNI & OTEGUI, 1996; LOOMIS & AMTHOR, 1999), devido à distribuição espacial mais uniforme entre plantas, contribuindo para que as folhas ocupem mais eficientemente os espaços. Entretanto, deve-se considerar que a maior RFA_{int} pelo dossel no menor espaçamento entrelinhas, contrariamente ao que foi obtido para IAF, pode associar-se à maior interceptação de radiação solar por partes da planta pouco ativas

fotossinteticamente, já que a senescência folhar foi maior no menor espaçamento. Esse comportamento da senescência folhar explica, parcialmente, os resultados obtidos com rendimento de grãos, que não variou com o espaçamento entrelinhas no sistema de manejo alto (Apêndice 3), apesar do espaçamento ter afetado o IAF e a RFA_{int} (Apêndice 1).

Uma das estratégias não avaliadas no presente estudo, mas que ocorre em plantas de alguns genótipos de milho para melhor ocupar os espaços ao seu redor e, com isso explorar melhor os recursos do ambiente, é a mudança na distribuição azimutal de folhas durante o ciclo. A distribuição azimutal folhar varia com as características do genótipo, espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e com o estágio de desenvolvimento da planta (MADONNI et al., 2001b). Segundo os autores, híbridos considerados “plásticos” redirecionam suas folhas para espaços pouco ou ainda não ocupados pelas folhas de plantas vizinhas, o que aumenta o número de folhas perpendiculares à linha de cultivo e, possivelmente, incrementa a RFA_{int} pelo dossel. A re-orientação de folhas ocorre, preferencialmente, quando a distribuição espacial de plantas for desfavorável, como em espaçamentos entrelinhas amplos e sob alta densidade de plantas. Por outro lado, os híbridos considerados “rígidos”, por apresentarem maior número de folhas paralelas à linha de semeadura, não possuem habilidade em re-orientar suas folhas para espaços ainda não ocupados pelas folhas de plantas vizinhas, mesmo quando a distribuição espacial de plantas lhes for desfavorável (MADONNI et al., 2001b).

O efeito da redução do espaçamento entrelinhas na RFA_{int} , dependeu de híbrido e densidade de plantas. Na interação de espaçamento entrelinhas e densidade, houve comportamento distinto nos dois espaçamentos, principalmente no experimento com sistema de manejo alto (Tabelas 5, 6 e 7). Nos dois espaçamentos entrelinhas (0,4 e 0,8 m), o aumento da densidade de plantas de 6,2 para 8,3 pl m⁻² geralmente incrementou a RFA_{int} pelo dossel nos cinco estádios de desenvolvimento, corroborando com observações de TOLLENAAR et al. (1994), MADONNI & OTEGUI (1996) e MURPHY et al. (1996), de

que a densidade de plantas exerce grande efeito no IAF do milho. Segundo SILVA et al. (2006), o aumento da densidade de plantas é uma das formas mais fáceis de incrementar o IAF no milho, embora essa estratégia possa acelerar a senescência foliar e o sombreamento de folhas (TETHIO-KAGHO & GARDNER, 1988), como se especula que tenha ocorrido nas folhas do extrato inferior do dossel no experimento com sistema de manejo muito alto e muito alto no presente estudo.

Por outro lado, no experimento conduzido com sistema de manejo muito alto (Tabela 2), praticamente não houve efeito do espaçamento entrelinhas sobre o IAF (Apêndice 1), reforçando a idéia de que o IAF não é tão importante, ao contrário da distribuição física das plantas na área. Com isso, esperar-se-ia que a RFA_{int} pelo dossel também não variasse com a redução do espaçamento entrelinhas, já que há relação positiva entre essas duas características do dossel. Logo, o aumento na RFA_{int} não o ocorre pelo aumento do IAF, mas sim pela distribuição mais uniforme das plantas que permite que as diferentes partes/extratos do dossel possam contribuir mais e melhor na intercepção da RFA. Entretanto, mesmo com o IAF variando apenas em função do espaçamento entrelinhas, em quatro (V_6 , V_{12} , V_{15} e R_2) dos cinco estádios em que a RFA_{int} foi avaliada, verificou-se interação de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido (Tabelas 9 e 10). No híbrido de folhas eretas (Flash), a redução do espaçamento entrelinhas geralmente diminuiu a RFA_{int} na menor densidade ($6,5 \text{ pl m}^{-2}$) e a aumentou na maior densidade ($8,0 \text{ pl m}^{-2}$). Já, no de folhas decumbentes (Penta), em geral a RFA_{int} aumentou quando se incrementou a densidade no maior espaçamento entrelinhas, o que não ocorreu no menor espaçamento. Essa resposta diferencial entre híbridos, em parte, também se verificou quando a densidade de plantas aumentou de $6,5$ para $8,0 \text{ pl m}^{-2}$, no mesmo espaçamento entrelinhas (Tabela 9). O aumento da densidade de plantas, nos dois híbridos, raramente afetou a intercepção da radiação solar no menor espaçamento entrelinhas ($0,4 \text{ m}$). Contudo, no maior espaçamento entrelinhas ($0,8 \text{ m}$), o aumento da densidade de

plantas geralmente diminuiu a RFA_{int} no híbrido de folhas eretas e a aumentou no de folhas decumbentes.

De modo geral, os resultados obtidos para IAF durante a ontogenia do milho, em resposta à redução do espaçamento entrelinhas, nos três sistemas de manejo (médio, alto e muito alto) evidenciaram variação na RFA_{int} pelo dossel, demonstrando haver relação positiva entre essas duas características. Entretanto, a hipótese de que a resposta dessas características de dossel, juntamente com a de senescência folhar, resultasse em variação no rendimento de grãos, não se confirmou em nenhum dos sistemas de manejo testados. No entanto, OTTMAN & WELCH (1989) e LOOMIS & AMTHOR (1999) afirmaram que a RFA_{int} pelo dossel constitui-se num dos principais fatores determinantes da produtividade das culturas. Entretanto, a resposta diferencial obtida no sistema de manejo alto, relaciona-se à maior RFA_{int} , em geral, ser obtida no menor espaçamento (Tabelas 5, 6 e 7), embora nesse espaçamento o IAF seja menor (Tabela 4) e a senescência folhar não tenha variado com o espaçamento entrelinhas (Apêndice 1). Isso evidencia que outros fatores, além daqueles relacionados aos tratamentos, afetam a resposta da cultura ao espaçamento entrelinhas. Por outro lado, os dados de RFA_{int} mostram que a plasticidade do dossel através da re-orientação das folhas, é uma característica importante no milho, que pode contribuir para aumentar a RFA_{int} durante o dia, em resposta à redução do espaçamento entrelinhas (MADONNI et al., 2001b). Com redução do espaçamento entrelinhas, as plantas e as folhas distribuem-se mais uniformemente. Entretanto, a orientação folhar é efetiva apenas para ocupar melhor o espaço entrelinhas e/ou para diminuir a interferência entre folhas, tendo pequeno efeito em características fenotípicas das plantas (GIARDIN & TOLLENAAR, 1994).

A ausência de resposta do rendimento de grãos à redução do espaçamento entrelinhas no experimento com sistema de manejo alto também se relaciona com o balanço entre os ganhos de acúmulo de massa seca e os gastos energéticos para

manutenção das estruturas formadas durante o ciclo. Isso resultou em comportamento distinto das características avaliadas do dossel, as quais, em alguns estádios, tiveram comportamento similar ao menor espaçamento entrelinhas e, em outros, semelhante ao verificado com uso de maior espaçamento entrelinhas. Com isso, evidencia-se que a obtenção de um IAF alto, como os obtidos no presente estudo, nos três sistemas de manejo (Tabelas 3, 4 e 8), não é garantia de incrementos na interceptação da radiação solar e no rendimento de grãos de milho. Isso porque parte da RFA foi interceptada pela área folhar senescida, pelo pendão, pelo colmo e/ou pelas brácteas da espiga, estruturas que praticamente não contribuem na fotossíntese da planta e no acúmulo de fotoassimilados (TETHIO-KAGHO & GARDNER, 1988; MUCHOW et al., 1990; GALLO et al., 1993). Além disso, dependendo do arranjo de plantas, altos valores de IAF podem, também, resultar em aumento do sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores, o que ocorre mais freqüentemente em híbridos de folhas decumbentes. Dessa forma, as folhas do extrato inferior do dossel tornam-se pouco ativas fotossinteticamente, além de aumentarem o gasto energético para manter as atividades e as funções morfo-fisiológicas que resultam desse alto IAF. Assim, as folhas sombreadas funcionam como dreno, ao invés de fonte de fotoassimilados e, dessa forma, comprometem parte do rendimento de grãos.

2.7. CONCLUSÕES

A obtenção de maior índice de área folhar com alteração do espaçamento entrelinhas não garante aumento na quantidade de radiação solar interceptada.

O índice de área folhar e a interceptação de radiação solar pelo dossel de milho são influenciadas pela redução do espaçamento entrelinhas e dependem de densidade de plantas, de tipo de planta, de sistema de manejo e do estádio de desenvolvimento da planta.

Sob sistema de manejo alto, a redução do espaçamento entrelinhas diminui o índice de área folhar, independente de densidade de plantas e de tipo de planta do híbrido

de milho. Com sistema de manejo alto, a interceptação de radiação solar pelo dossel aumenta com a densidade de plantas, independente de espaçamento entrelinhas, de híbrido e do estágio de desenvolvimento.

Sob sistema de manejo muito alto, a redução do espaçamento entrelinhas diminui a interceptação de radiação solar em híbrido de folhas eretas e sob menor densidade de plantas, e tende a aumentá-la sob maior densidade.

A senescência folhar não é influenciada pelo espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas, tipo de planta do híbrido e sistema de manejo.

A redução do espaçamento entrelinhas incrementa o rendimento de grãos sob tetos muito altos ($>10,0 \text{ t ha}^{-1}$), não o afetando em sistemas de manejo baixo e médio.

Nos três sistemas de manejo, o índice de área folhar e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel possuem comportamento distinto do rendimento de grãos.

3. CAPÍTULO II

RENDIMENTO DE GRÃOS E OUTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO MILHO SOB ESPAÇAMENTO ENTRELINHAS REDUZIDO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

CORN GRAIN YIELD AND OTHER AGRONOMIC TRAITS UNDER NARROW ROW SPACING IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

3.1. RESUMO

A redução do espaçamento entrelinhas permite distribuição mais uniforme entre plantas, o que pode ser uma vantagem sob condições de estresse (hídrico ou nutricional). Estudos recentes com redução do espaçamento entrelinhas verificaram pequenos incrementos no rendimento de grãos de milho. Assim, são requeridas pesquisas que avaliem a resposta de genótipos com arquitetura de planta e sistemas de manejo contrastantes à redução do espaçamento entrelinhas. A presente pesquisa objetivou avaliar os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos e outras características agronômicas de dois híbridos de milho, sob três sistemas de manejo. Seis experimentos foram conduzidos a campo em Eldorado do Sul-RS. Em cada experimento, correspondente a um sistema de manejo, os tratamentos constaram de dois espaçamentos entrelinhas (0,8 e 0,4 m), de dois híbridos (Penta e Flash) e de duas densidades de plantas, variáveis com o sistema de manejo e estação de crescimento. Além da densidade de plantas, os sistemas de manejo diferiram quanto aos níveis de adubo aplicado na semeadura e em cobertura e de água suplementada. Em todos os experimentos, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em fatorial 2x2x2, com quatro repetições. Os incrementos no rendimento de grãos, com redução do espaçamento entrelinhas, quando ocorreram, foram de pequena magnitude (0 a 14%), dependeram da estação de crescimento, manifestaram-se apenas com rendimentos de grãos superiores a 10,0 t ha⁻¹ e não dependeram de híbrido. O número de grãos por área foi o componente com resposta similar à verificada para rendimento de grãos com redução do espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas, híbrido e sistema de manejo. A redução do espaçamento entrelinhas não alterou o teor de proteína dos grãos quando o rendimento de grãos foi alto (>8,0 t ha⁻¹), mas o aumentou quando o rendimento de grãos foi baixo (2,3 t ha⁻¹). A redução do espaçamento entrelinhas não alterou o índice de colheita aparente, independente de densidade de plantas, tipo de planta do híbrido e sistema de manejo.

Termos para indexação: *Zea mays*, componentes do rendimento, teor de proteína, híbrido, densidade de plantas, níveis de adubo e irrigação.

3.2. ABSTRACT

With narrow row spacing, the distribution among plants is more uniform and can be an advantage under stress conditions (hydric or nutritional). Recent studies with narrow row spacing had verified small increments on corn grain yield. Thus more research is required to evaluate the response of genotypes with plant architecture and management

systems contrasting under narrow row spacings. The present research had the objective to evaluate the effect of narrow row spacing on grain yield and other agronomics traits of two maize hybrids, under three management systems. Six experiments were carried out at field at Eldorado do Sul-RS, Brazil. In each experiment, correspondent to a management system, the treatments consisted of two row spacings (0.8 and 0.4 m), of two hybrids (Penta and Flash) and two plant densities, variable with management system and growth season. Besides plant density, the management systems differed according to the quantity of fertilizer applied on sowing and side-dressed and water supplemented. In all experiments, the experimental design used was the random blocks, in factorial 2x2x2, with four replications. The increments of grain yield with narrow row spacing, when it occurred, were of small magnitude (0 to 14%), depended on growth season, occurred only with grain yield higher than 10,0 t ha⁻¹ and did not depended on plant density and hybrid. The number of grains per area was the grain yield component with similar response to the grain yield to narrow row spacing, independently of plant density, hybrid and management system. The narrow row spacing did not affected the kernel crude protein when grain yield was high (>8,0 t ha⁻¹), but it increased when grain yield was low (2,3 t ha⁻¹). The narrow row spacing had no effected on the apparent harvest index, independently of plant density, plant hybrid type and management system.

Index terms: *Zea mays*, grain yield components, kernel crude protein, hybrid, plant density, fertilizer and irrigation levels.

3.3. INTRODUÇÃO

A produtividade de uma cultura depende de fatores genéticos e de condições de manejo e edafo-climáticas favoráveis (BUGBEE & SALISBURY, 1988; EVANS & FISCHER, 1999). Quando não há restrições hídricas durante o ciclo da cultura, a radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pelo dossel, bem como sua utilização, são os processos mais importantes para obtenção de altos rendimentos (MELGES et al., 1989), pois é através da fotossíntese que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos. Entre as formas de aumentar a RFA_{int} e seu uso inclui-se a escolha adequada do arranjo de plantas, que é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos de uma cultura (OTTMAN & WELCH, 1989; LOOMIS & AMTHOR, 1999; ARGENTA et al., 2001c). Além do incremento da densidade de plantas, outra forma de aumentar a RFA_{int} é através da redução do espaçamento entrelinhas, devido à distribuição espacial mais uniforme entre plantas. Isto pode se refletir em aumento da

taxa fotossintética líquida (BULLOCK et al., 1998), devido à menor competição intra-específica das plantas por recursos do ambiente (JOHNSON et al., 1998).

Estudos recentes sobre espaçamento entrelinhas reduzido em milho têm verificado incrementos de pequena magnitude (entre zero e 10%) no rendimento de grãos (SANGOI et al., 1990, 1998 e 2001; TEASDALE, 1998; ARGENTA et al., 2001a; FLESCHE & VIEIRA, 2004), evidenciando a influência de outras limitações para obtenção de ganhos maiores. Entre esses, destaca-se o rendimento de grãos desses experimentos próximo a 6,0 t ha⁻¹, embora os genótipos comerciais atuais apresentem potencial produtivo obtido em lavoura de mais de 12,0 t ha⁻¹. Devido a essa lacuna na produtividade, são requeridas pesquisas que avaliem o comportamento de genótipos em situações contrastantes de manejo e de tetos de rendimento de grãos, como por exemplo, numa ampla variação de 3,0 a 15,0 t ha⁻¹. Nessa amplitude de tetos de rendimento de grãos, ocorrem modificações na competição intra-específica quando o espaçamento entrelinhas é reduzido e a densidade de plantas mantida, ou vice-versa. Isso explica eventuais respostas contraditórias em genótipos de milho contrastantes em arquitetura de planta quando submetidos a sistemas diferenciais de manejo e de rendimento de grãos.

Poucos estudos em milho foram realizados com redução do espaçamento entrelinhas com variações na densidade de plantas, associando esses fatores a sistemas diferenciados de manejo, o que se constitui na proposta do presente estudo. A necessidade nutricional das plantas é importante e deve ser considerada na escolha do arranjo de plantas, pois a cultura é exigente em fertilidade. O milho responde progressivamente a altas adubações, desde que os demais fatores estejam em níveis ótimos, sendo o nitrogênio (N) o nutriente ao qual a cultura, geralmente, mais responde em incrementos no rendimento de grãos. Estudos evidenciam que, à medida que se eleva a densidade de plantas, são necessárias maiores doses de N. Entretanto, com baixa disponibilidade desse

nutriente no solo, que determina baixo rendimento de grãos, a densidade ótima de plantas deve ser reduzida (MUNDSTOCK, 1977; PEIXOTO et al., 1997).

Outro aspecto a ser considerado na escolha do arranjo de plantas em milho, relaciona-se ao tipo de planta dos híbridos comerciais mais recentes, que apresentam importantes modificações na arquitetura de planta, tais como menores estatura de planta e altura de inserção da espiga, folhas mais eretas e em menor número (ALMEIDA et al., 2001) e pequeno acamamento de colmos e raízes (KASPERBAUER & KARLEN, 1994; DUVICK & CASSMAN, 1999). Outras características incorporadas nos híbridos comerciais atuais, que contribuem no incremento da RFA_{int} , são a redução do intervalo temporal entre pendoamento e espigamento, mesmo sob alta densidade de plantas (PEIXOTO et al., 1997; SILVA, et al., 1999) e a habilidade dos genótipos de ciclo precoce e com plantas mais compactas de suportarem maior densidade de plantas (SANGOI, 2001) e menor espaçamento entrelinhas.

Dessa forma, diversos híbridos comerciais de milho apresentam plantas mais compactas e folhas mais eretas do que aqueles cultivados em décadas anteriores. Assim, sob alta densidade de plantas há redução na competição intra-específica de plantas por recursos do ambiente (JOHSON et al., 1998) e aumento na infiltração de luz nos diferentes extratos do dossel, mesmo sob alto índice de área folhar (KASPERBAUER & KARLEN, 1994). As modificações de ordem genética, fisiológica, metabólica e anatômica incorporadas ao novo ideotipo de planta aumentaram a tolerância dos híbridos mais recentes aos diferentes estresses e alteraram, expressivamente, o arranjo de plantas (TOLLENAAR et al., 1997; TOLLENAAR & WU, 1999; ARGENTA et al., 2001c; SANGOI, 2001 e 2002; REUNIÃO, 2005). Isso contribui para aumento da eficiência de interceptação e de uso da radiação solar e para alcançar rendimentos de grãos mais elevados.

Além do rendimento de grãos que, muitas vezes, é a única avaliação realizada em muitos estudos de arranjo de plantas, é importante a determinação dos efeitos em outras

características agronômicas. Entre essas, inclui-se o teor de proteína dos grãos, pela sua importância no balanceamento de dietas de animais, e a evolução de acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA). Alguns estudos referem existir relação linear entre MSPA produzida e energia radiante absorvida ao longo da ontogenia de inúmeras espécies vegetais (TOLLENAAR & BRUULSEMA, 1988). Entretanto, deve-se considerar que a conversão de radiação solar absorvida em massa vegetal depende da taxa de fotossíntese, que varia com radiação solar e temperatura do ar e com a fração de carbono fixada pela fotossíntese e consumida pela respiração (GALLAGHER & BISCOE, 1978). Assim, a avaliação do rendimento de MSPA, em diversos estádios fenológicos, pode identificar o estágio a partir do qual se iniciam e se observam os efeitos da distribuição espacial mais uniforme entre plantas, devido ao uso de menor espaçamento entrelinhas. Sob densidades de plantas inferiores a $5,0 \text{ pl m}^{-2}$, o desenvolvimento individual da planta costuma ser similar em toda população, enquanto sob altas densidades ($8,5 \text{ pl m}^{-2}$), é muito desuniforme, com formação de hierarquia entre os indivíduos e se refletindo em diferenças acentuadas na taxa de acúmulo de massa (EDMEADES & DAYNARD, 1979; MADONNI & OTEGUI, 2004). À medida que se incrementa a densidade, aumenta o número de plantas dominadas, caracterizadas por possuírem menor desenvolvimento, menor diâmetro de colmo, resultando em menor rendimento de grãos (MADONNI & OTEGUI, 2004).

Nesse sentido, a presente pesquisa objetivou avaliar, durante duas estações de crescimento, o efeito da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos e seus componentes e outras características agronômicas em dois híbridos de milho, cultivados sob três sistemas de manejo e duas densidades de plantas.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos seis experimentos a campo, sendo três na estação de crescimento 2003/04 e três na de 2004/05, na Estação Experimental Agronômica da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, na região ecoclimática da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (30°05' S, 51°40' W, altitude média de 46 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, predominante no Sul do Brasil, sendo a precipitação média anual de 1446 mm, com 426 mm concentrados nos meses de novembro a fevereiro (BERGAMASCHI et al., 2003), o que abrange os estádios de florescimento e de formação e enchimento de grãos de milho quando semeado na primeira quinzena do mês de outubro.

O solo das áreas experimentais é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 1999). Nos últimos 13 anos, as áreas experimentais têm sido conduzidas no sistema de semeadura direta, adotando-se a rotação soja e milho como cultivos de verão. Em cada estação de crescimento, coletaram-se amostras de solo antes da instalação da cultura invernal de cobertura de solo, cujos resultados são apresentados na Tabela 12. Na estação de crescimento 2004/05, aplicou-se, a lanço, 3,0 t ha⁻¹ de calcário (PRNT de 85%) na área experimental, quatro meses antes da semeadura dos experimentos.

Tabela 12. Características físico-químicas do solo das áreas experimentais utilizadas em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS

| Característica avaliada | Estação de crescimento | |
|---|------------------------|---------|
| | 2003/04 | 2004/05 |
| Densidade de solo (g dm ⁻³) | 1430 | 1500 |
| Teor de argila (g dm ⁻³) | 543 | 510 |
| pH (água) | 5,3 | 5,1 |
| P (Mehlich I) (mg dm ⁻³) | 5,6 | 6,3 |
| K (Mehlich I) (mg dm ⁻³) | 179 | 146 |
| Matéria orgânica (g dm ⁻³) | 3,6 | 3,5 |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) | 8,1 | 9,0 |

Nos dois anos de condução da pesquisa, cada sistema de manejo (médio, alto e muito alto) correspondeu a um experimento separado. Em cada sistema de manejo, os tratamentos constaram de dois espaçamentos entrelinhas (0,4 e 0,8 m), dois híbridos (Flash, com folhas eretas, e Penta, com folhas decumbentes) e duas densidades de plantas,

variáveis com o sistema de manejo e estação de crescimento (Tabela 13). Nos seis experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em fatorial 2x2x2, com quatro repetições.

Os genótipos Flash e Penta, desenvolvidos e comercializados pela empresa Syngenta Seeds, são híbridos simples e com ciclos superprecoce e precoce, respectivamente. Os sistemas de manejo diferiram quanto à quantidade de adubo e suplementação hídrica (Tabela 13). Os níveis de adubo e as densidades de plantas correspondentes aos sistemas de manejo médio e alto foram propostos com base nas indicações técnicas vigentes para a cultura do milho nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004; REUNIÃO, 2005). Nos dois experimentos com sistema de manejo muito alto, os níveis de adubo e as densidades de plantas foram estabelecidos com base em experimentos conduzidos anteriormente no mesmo local (ARGENTA et al., 2001c; FORSTHOFER, 2004).

Tabela 13. Caracterização dos três sistemas de manejo aplicados na cultura do milho, em duas estações de crescimento. Eldorado do Sul-RS

| Sistema de manejo | Densidade de plantas (pl m ⁻²) | | Adubação mineral (kg ha ⁻¹) | | | Irrigação suplementar (mm água) | |
|-------------------|--|---------|---|-----------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|
| | | | N | | P ₂ O ₅ | | K ₂ O |
| | 2003/04 | 2004/05 | Semeadura | Cobertura | Semeadura | | |
| Médio | 4,5 | 5,0 | 10 | 60 | 40 | 40 | Sem* |
| | 6,0 | 6,6 | 10 | 60 | 40 | 40 | Sem* |
| Alto | 5,5 | 6,2 | 20 | 120 | 95 | 95 | Com |
| | 7,0 | 8,3 | 20 | 120 | 95 | 95 | Com |
| Muito alto | 6,5 | 7,5 | 40 | 185 | 130 | 130 | Com |
| | 8,0 | 9,9 | 40 | 185 | 130 | 130 | Com |

* No sistema de manejo médio, a irrigação foi realizada apenas sob deficiência hídrica elevada durante o período mais crítico da planta, de 14 dias antes (estádio V₁₅) até 20 dias após o florescimento (estádio R₃).

Adotou-se a aveia preta (*Avena strigosa*) como espécie de cobertura de solo no inverno, implantada sem adubação de base, em 20 de maio de cada estação de crescimento, na densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes. No início do perfilhamento, procedeu-se adubação nitrogenada em cobertura (45 kg ha⁻¹) na forma de uréia (45% N). O rendimento

de massa seca da parte aérea (MSPA) foi de 4,7 e 5,2 t ha⁻¹, respectivamente, em 2003/04 e 2004/05. Dessecou-se a aveia com o herbicida glyphosate (540 g i.a. ha⁻¹), no estágio de grãos leitosos, sendo posteriormente acamada com rolo-faca. Nos dois anos da pesquisa adotou-se sistema de semeadura direta do milho em sucessão à aveia preta. A semeadura foi realizada com saraquá nos dias 21 de outubro de 2003 e 13 de outubro de 2004, dispondo-se três sementes por cova. O ajuste das densidades desejadas foi efetuado 14 dias após emergência das plântulas, deixando-se uma por cova. O arranjo de plantas e a adubação, adotados na semeadura em cada experimento, estão especificados na Tabela 13.

A adubação de semeadura constou da mistura realizada manualmente, de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio como fontes de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, a qual foi aplicada na linha por ocasião da semeadura. O manejo do N em cobertura variou conforme o sistema de manejo. No sistema de manejo médio, aplicaram-se 60 kg ha⁻¹ no estágio de cinco folhas expandidas (V₅). No sistema de manejo alto, aplicaram-se 50 e 70 kg ha⁻¹ de N, respectivamente nos estádios V₄ e V₁₀. No sistema de manejo muito alto, aplicaram-se 45, 65 e 75 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, nos estádios V₃, V₉ e no de emborrachamento das plantas (V₁₅). A fonte de N utilizada foi o nitrato de amônio (32% N). Os estádios fenológicos do milho foram identificados com base na escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993).

Nos dois anos da pesquisa, os dados meteorológicos referentes à precipitação pluvial e à evapotranspiração de referência foram obtidos junto à Unidade Meteorológica da EEA/UFRGS, localizada próxima das áreas de condução dos experimentos. Esses dados foram utilizados para se calcular os balanços hídricos relativos às estações de crescimento 2003/04 e 2004/05, conforme metodologia desenvolvida por THORNTWAITE & MATHER (1955), citada por BERGAMASCHI et al. (2003). Embora sejam apresentados apenas os dados entre os meses de outubro e março de cada estação de crescimento, o balanço hídrico foi calculado para o período de setembro a abril do ano seguinte. Ou seja,

de um mês antes da semeadura dos experimentos a um mês após a colheita do milho. Considerou-se como capacidade de água disponível no solo o valor de 75 mm.

Nos sistemas de manejo alto e muito alto, as necessidades de irrigação do milho foram consideradas similares, sendo estimadas a partir da instalação de seis tensiômetros (três a 0,2 e três a 0,4 m de profundidade). No sistema de manejo médio, as irrigações foram realizadas apenas sob elevada deficiência hídrica durante o período mais crítico da planta, de 14 dias antes (estádio V₁₅) até 20 dias após o florescimento (estádio R₃). Procedeu-se irrigação por aspersão, na vazão de 8 mm h⁻¹, sempre que o potencial de água no solo era inferior a -0,04 MPa.

O controle de plantas daninhas no milho foi realizado em pós-emergência precoce, aplicando-se a mistura formulada de atrazine (1200 g ha⁻¹) com metolachlor (1800 g ha⁻¹). O controle preventivo de pragas cortadoras de plantas foi realizado no dia da semeadura através de tratamento de sementes, aplicando-se 3 g kg⁻¹ de sementes do inseticida thiodiocarb. Para controlar a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e a vaquinha (*Diabrotica speciosa*), aplicaram-se 25 g ha⁻¹ do inseticida permethrin no estágio V₄, e 24 g ha⁻¹ do methoxifenozone no estágio V₉.

As determinações realizadas no milho constaram de avaliações de rendimento de MSPA da planta, rendimento de grãos e seus componentes, índice de colheita aparente (ICa) e teor de proteína dos grãos. O rendimento de MSPA foi avaliado através da coleta de quatro plantas por unidade experimental, nos estádios V₁₁, R₁ e na colheita em 2003/04 e nos estádios R₁ e colheita em 2004/05. As plantas foram secas em estufa sob temperatura de 60° C, sendo então pesadas. O rendimento de MSPA foi obtido pela extrapolação da massa das quatro plantas para as densidades estabelecidas em cada sistema de manejo.

O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção obtida na área útil de 9,6 m² por unidade experimental para um hectare, corrigindo-se a umidade para 13%. Estimou-se o número de espigas por área através da razão entre o número de espigas

colhidas na parcela pela respectiva área útil. O peso do grão foi estimado pela contagem manual de 400 grãos de cada parcela, com posterior pesagem e correção de umidade para 13%, dividindo-se a massa obtida por 400. O número de grãos por área foi estimado através da razão entre a massa de grãos produzida na parcela e peso de um grão.

Para se determinar o ICa foram coletadas quatro plantas por parcela, que foram secas em estufa sob temperatura de 60° C, sendo após pesadas. As espigas foram manualmente debulhadas e os grãos, a palha e o sabugo pesados separadamente. O ICa foi estimado pela razão entre a massa dos grãos e a massa total da parte aérea da planta [(grãos + parte vegetativa da planta (folhas + colmos) + palha e sabugo da espiga)]. Já, para o teor de proteína dos grãos, triturou-se uma amostra de 100 g de grãos por parcela em moinho tipo centrífuga, com peneira de 0,5 mm de diâmetro. Determinou-se o teor de N conforme metodologia descrita em TEDESCO et al. (1995). O teor de proteína dos grãos foi obtido multiplicando-se o teor de N pelo fator 6,25.

Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Quando alcançada significância estatística, a comparação entre médias foi realizada pelo teste DMS ($p < 0,05$). Em razão das características dos tratamentos e dos objetivos propostos, os dados de cada sistema de manejo, em cada estação de crescimento, foram analisados individualmente como um experimento.

3.5. RESULTADOS

Na média histórica dos anos 1969/1999 no período entre o primeiro decêndio do mês de outubro e o primeiro de fevereiro, as precipitações pluviais foram de cerca de 40 mm por decêndio, com pequena diminuição entre o segundo decêndio de fevereiro e o terceiro de março, conforme BERGAMASCHI et al. (2003) (Figura 2). Na estação de crescimento 2003/04, verificaram-se precipitações pluviais acima da média histórica no terceiro decêndio de outubro (emergência do milho), entre o segundo decêndio de

novembro (estádio V_8) e o segundo decêndio de dezembro (estádio V_{15}), no segundo decêndio de janeiro (estádio R_2), no primeiro e segundo decêndios de fevereiro (estádio R_4) e no segundo decêndio de março (estádio R_6) (Figura 2). Na estação de crescimento 2004/05, as precipitações foram superiores à média histórica apenas no segundo decêndio de outubro (emergência do milho), no primeiro decêndio de novembro (estádio V_6) e no segundo decêndio de março (estádio R_6) (Figura 2). Assim, no segundo ano, as precipitações foram inferiores à média histórica durante a maior parte do ciclo de desenvolvimento da planta, ou seja, entre os estádios V_8 e R_5 .

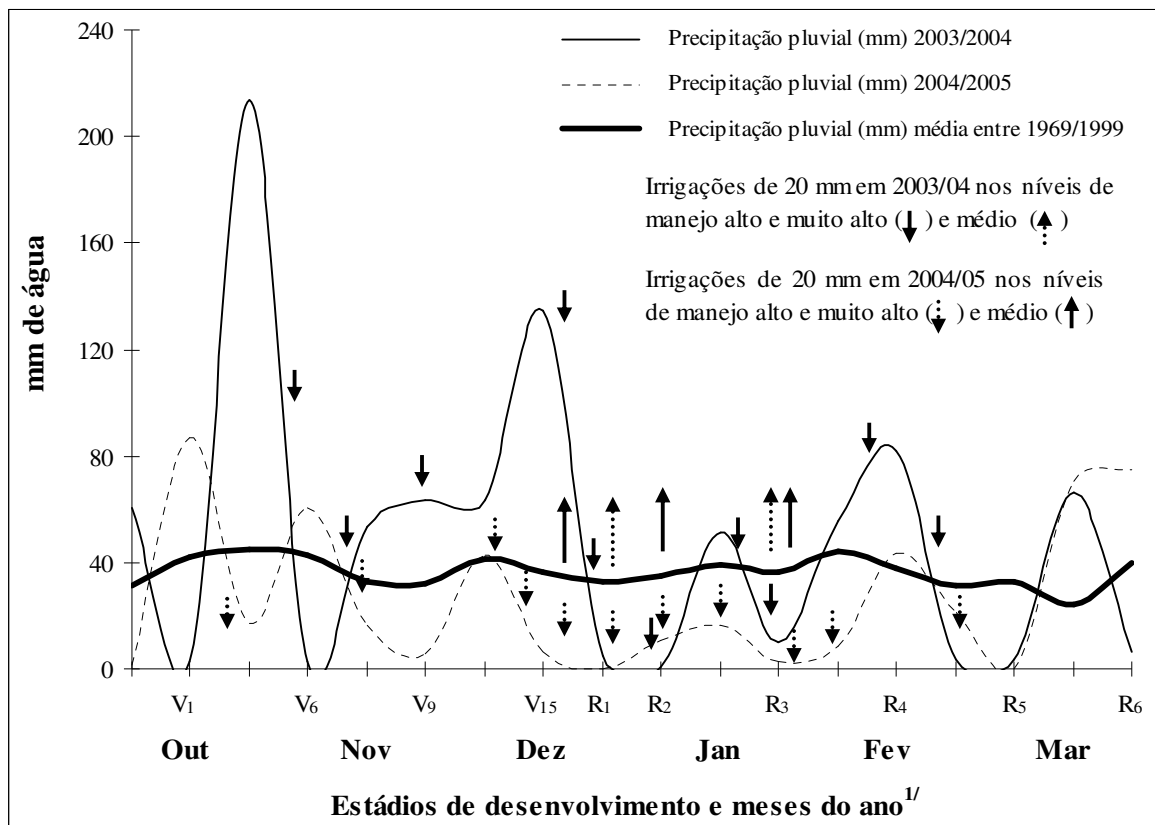


Figura 2. Precipitações pluviais decendiais e irrigações realizadas nos três sistemas de manejo durante a ontogenia da planta de milho, relativas às estações de crescimento 2003/04 e 2004/05 e à média histórica do período 1969/1999 em Eldorado do Sul-RS. Dados do Setor de Agrometeorologia da FA/UFGRS. ^{1/}Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993).

Em razão das precipitações pluviais irregulares e inferiores à média histórica, no primeiro ano de pesquisa, nos experimentos com sistemas de manejo alto e muito alto, foram necessárias 10 suplementações hídricas (20 mm de água cada). As irrigações foram

uniformemente distribuídas no ciclo da cultura (Figura 2). No segundo ano, nesses dois sistemas de manejo, foram necessárias 11 irrigações, sendo oito delas concentradas entre o segundo decêndio de dezembro (V_{12}) e o primeiro de fevereiro (R_4) quando as precipitações foram escassas.

Analisando os dados da média histórica 1969/1999 verifica-se que a deficiência hídrica ao milho, na região em que foi realizada a pesquisa, é superior a 10 mm por decêndio entre o segundo decêndio de dezembro e o terceiro decêndio de janeiro e no segundo decêndio de março, conforme BERGAMASCHI et al. (2003) (Figura 3). Contudo, nos dois anos de condução da pesquisa, a deficiência hídrica foi superior à média histórica em parte considerável do ciclo da planta. No primeiro ano, a deficiência hídrica ocorreu durante o subperíodo semeadura-emergência, no estágio V_6 , entre os estádios V_{15} e R_3 e entre os estádios R_4 e R_6 . Registraram-se deficiências entre 10 e 40 mm por decêndio entre os estádios V_{15} e R_3 (Figura 3). Nesse intervalo de tempo, ocorreram florescimento, polinização, formação e início de enchimento de grãos, períodos de maior demanda hídrica pelas plantas. As irrigações realizadas suprimiram praticamente toda deficiência hídrica verificada durante o período experimental.

No segundo ano, a deficiência hídrica foi mais intensa durante o período reprodutivo do que a verificada no primeiro. Constataram-se deficiências entre 10 e 55 mm por decêndio entre os estádios V_{12} e R_3 e, posteriormente, em R_5 (grão dentado) (Figura 3). Ressalta-se que as irrigações realizadas entre os estádios V_{12} e R_3 suprimiram a maior parte da deficiência hídrica. Entretanto, a condição de suprimento hídrico não é suficiente para o pleno desenvolvimento da planta, pois outras variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade do ar, e estado nutricional, também afetam o metabolismo da planta.

A seguir, são apresentados, para os experimentos correspondentes aos sistemas de manejo médio, alto e muito alto, nas duas estações de crescimento, os resultados de características agrônômicas durante a ontogenia do milho, em função de dois espaçamentos

entrelinhas, duas densidades de plantas e dois híbridos. Como o objetivo principal da pesquisa foi comparar os espaçamentos entrelinhas, nos seis experimentos, descreveram-se apenas os resultados em que houve efeitos simples de espaçamento e em que foram significativas as interações de espaçamento entrelinhas e híbrido e as de espaçamento e densidade de plantas ou a interação de espaçamento entrelinhas, híbrido e densidade de plantas. Os efeitos simples de híbridos e de densidades de plantas e a interação desses fatores para as diversas variáveis analisadas não foram descritos nesse item.

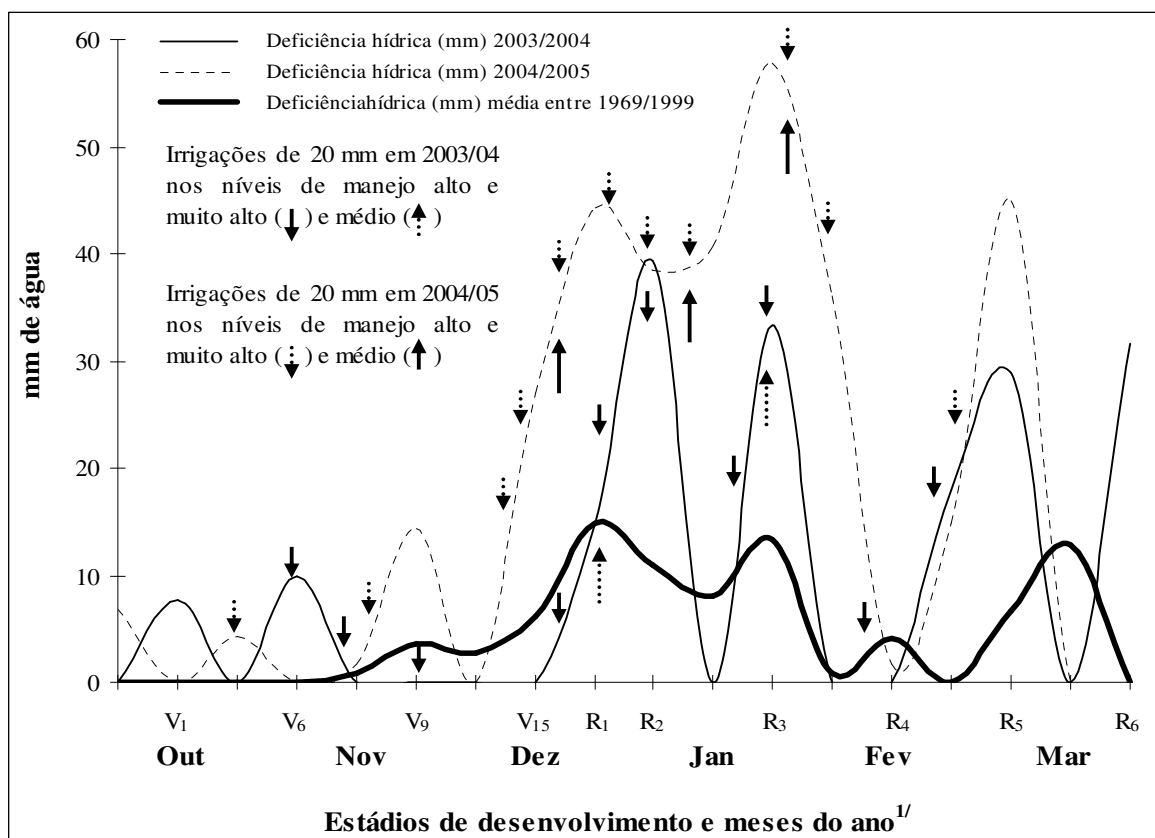


Figura 3. Deficiências hídricas decendiais ocorridas durante a ontogenia da planta de milho em experimentos submetidos a três sistemas de manejo, relativos às duas estações de crescimento e à média histórica do período 1969/1999 em Eldorado do Sul-RS. Dados do Setor de Agrometeorologia da FA/UFGRS. ^{1/}Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993).

3.5.1 – EXPERIMENTOS COM SISTEMA DE MANEJO MÉDIO

As avaliações relatadas a seguir referem-se aos dois experimentos submetidos ao sistema de manejo médio e realizados nas estações de crescimento 2003/04 e 2004/05.

3.5.1.1 - Rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA)

Nos estádios V_{11} e R_1 , a resposta do rendimento de MSPA à redução do espaçamento entrelinhas dependeu da densidade de plantas (Tabela 14). Nos dois estádios, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou o rendimento de MSPA em 175 (V_{11}) e 70% (R_1) na menor densidade de plantas ($4,5 \text{ pl m}^{-2}$) e em 91 (V_{11}) e 90% (R_1) na maior densidade ($6,0 \text{ pl m}^{-2}$). Já, o incremento da densidade de plantas de 4,5 para $6,0 \text{ pl m}^{-2}$ aumentou o rendimento de MSPA em 38% (V_{11}) no maior espaçamento (0,8 m) e em 12% (R_1) no menor espaçamento (0,4 m). Na colheita, o rendimento de MSPA variou em função do efeito simples de espaçamento entrelinhas (Apêndice 2). A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 m ($6,8 \text{ t ha}^{-1}$) para 0,4 m ($7,8 \text{ t ha}^{-1}$) aumentou o rendimento de MSPA em 15%, na média de dois híbridos e duas densidades de plantas.

No segundo ano, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m não influenciou o rendimento de MSPA em nenhum dos estádios avaliados (R_1 e colheita), independente de densidade de plantas e de híbrido (Apêndice 3).

Tabela 14. Rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo médio, nos estádios de 11 folhas expandidas (V_{11}) e de espigamento (R_1), em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Densidade de plantas (pl m^{-2}) | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---|---|-----|----|-----|-----|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| | MSPA - estádio V_{11} (t ha^{-1})^(1 e 3) | | | | | |
| 4,5 | A | 4,4 | a* | B | 1,6 | b |
| 6,0 | A | 4,2 | a | A | 2,2 | b |
| | MSPA - estádio R_1 (t ha^{-1})⁽²⁾ | | | | | |
| 4,5 | B | 5,1 | a* | A | 3,0 | b |
| 6,0 | A | 5,7 | a | A | 3,0 | b |

^(1 e 2) Coeficientes de variação= 18,4 e 14,3%, respectivamente; ⁽³⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); * Em cada estádio de desenvolvimento, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$).

3.5.1.2 - Rendimento de grãos e seus componentes

Nos dois experimentos com sistema de manejo médio, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m não afetou o rendimento de grãos, independente

de densidade de plantas e híbrido (Tabela 15 e Apêndices 2 e 3). Na estação de crescimento 2003/04, o rendimento médio de grãos foi 8,1 t ha⁻¹ nos dois espaçamentos entrelinhas e, na de 2004/05, de 2,1 e 2,3 t ha⁻¹, respectivamente, no menor e maior espaçamento entrelinhas (Tabela 15).

Na estação de crescimento 2003/04, houve efeito simples de espaçamento entrelinhas para dois dos três componentes do rendimento de grãos (Tabela 15). Como verificado para rendimento de grãos, a resposta dos componentes à redução do espaçamento entrelinhas não dependeu de densidade de plantas e híbrido. A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou o número de espigas por área (13%), diminuiu o peso do grão (5%) e não alterou o número de grãos por área. No segundo ano, a redução do espaçamento entrelinhas não influenciou nenhum dos três componentes do rendimento de grãos, independente de densidade de plantas e híbrido (Tabela 15).

Tabela 15. Rendimento de grãos de milho e seus componentes em experimentos conduzidos sob sistema de manejo médio, em duas estações de crescimento, em função de espaçamento entrelinhas, na média de duas densidades de plantas e dois híbridos. Eldorado do Sul-RS

| Estação de crescimento | Rendimento de grãos e seus componentes | Espaçamento entrelinhas (m) | | CV ⁽¹⁾ (%) |
|------------------------|---|-----------------------------|--------|-----------------------|
| | | 0,4 | 0,8 | |
| 2003/04 | Rendimento de grãos (t ha ⁻¹) | 8,1 a* | 8,1 a | 11,3 |
| | Peso do grão (mg) | 282 b | 296 a | 3,5 |
| | Espigas m ⁻² (nº) | 6,0 a | 5,3 b | 9,2 |
| | Grãos m ⁻² (nº) | 2860 a | 2749 a | 10,4 |
| 2004/05 | Rendimento de grãos (t ha ⁻¹) | 2,1 a | 2,3 a | 34,0 |
| | Peso do grão (mg) | 231 a | 230 a | 9,5 |
| | Espigas m ⁻² (nº) | 4,6 a | 4,2 a | 19,2 |
| | Grãos m ⁻² (nº) | 1015 a | 925 a | 31,4 |

⁽¹⁾ Coeficientes de variação; * Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

3.5.1.3 - Índice de colheita aparente (ICa)

Nas duas estações de crescimento, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m não afetou o índice de colheita, independente de densidade de plantas e híbrido

(Apêndices 2 e 3). Os valores relativos de ICa do milho no espaçamento de 0,4 e 0,8 m foram, respectivamente, de 0,45 e 0,44 em 2003/04 e de 0,40 e 0,42 em 2004/05.

3.5.1.3 - Teor de proteína dos grãos

Na estação de crescimento 2003/04, a resposta do teor de proteína dos grãos à redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m dependeu de densidade de plantas e, no segundo ano, de híbrido (Tabela 16). No primeiro ano, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m diminuiu o teor de proteína dos grãos (22%) na menor densidade de plantas (4,5 pl m⁻²). No segundo ano, a redução do espaçamento entrelinhas aumentou essa característica nos híbridos Flash (10%) e Penta (16%). O incremento na densidade de plantas de 4,5 para 6,0 pl m⁻² reduziu o teor de proteína dos grãos em 19 e 9%, respectivamente, nas estações de crescimento 2003/04 e 2004/05, mas apenas no maior espaçamento entrelinhas (0,8m).

Tabela 16. Teor de proteína dos grãos de milho em experimentos conduzidos sob sistema de manejo médio, em duas estações de crescimento, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos e de espaçamento e híbrido, na média de duas densidades. Eldorado do Sul-RS

| Densidade de plantas/Híbrido | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---|--|------|----|-----|------|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| Densidade de plantas (pl m⁻²) | Teor de proteína dos grãos (%) - 2003/04 ⁽¹⁾ | | | | | |
| 4,5 | A | 9,8 | b* | A | 12,6 | a |
| 6,0 | A | 9,7 | a | B | 10,2 | a |
| Híbrido | Teor de proteína dos grãos (%) - 2004/05 ⁽²⁾ | | | | | |
| Flash | A | 10,8 | a | A | 9,8 | b |
| Penta | A | 10,3 | a | B | 8,9 | b |

^(1 e 2) Coeficientes de variação= 14,9 e 13,6%, respectivamente; * Para cada interação e estação de crescimento, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

3.5.2 – EXPERIMENTOS COM SISTEMA DE MANEJO ALTO

As avaliações relatadas a seguir referem-se aos dois experimentos submetidos ao sistema de manejo alto, conduzidos nas estações de crescimento 2003/04 e 2004/05.

3.5.2.1 - Rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA)

No primeiro ano, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou os rendimentos de MSPA em 104 e 80%, respectivamente, nos estádios V₁₁ e R₁ (Tabela 17). Na avaliação realizada na colheita, a redução do espaçamento entrelinhas reduziu essa característica em 7%.

Tabela 17. Rendimento de massa seca da parte aérea (t ha⁻¹) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, nos estádios de 11 folhas expandidas (V₁₁), espigamento (R₁) e de colheita, em função de espaçamento entrelinhas, na média de duas densidades e de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Estádio de desenvolvimento ⁽¹⁾ | Espaçamento entrelinhas (m) | | CV ⁽²⁾ (%) |
|---|-----------------------------|--------|--------------------------|
| | 0,4 | 0,8 | |
| V ₁₁ | 5,1 a* | 2,5 b | 15,2 |
| R ₁ | 7,4 a | 4,1 b | 11,9 |
| Colheita | 9,6 b | 10,3 a | 7,6 |

⁽¹⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); ⁽²⁾ CV= Coeficiente de variação; * Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

No segundo ano, no estádio R₁, a resposta dessa característica ao espaçamento entrelinhas dependeu de densidade de plantas (Tabela 18). A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m diminuiu (28%) o rendimento de MSPA na maior densidade (8,3 pl m⁻²). O incremento na densidade de plantas de 6,2 para 8,3 pl m⁻² aumentou (29%) o rendimento de MSPA no maior espaçamento entrelinhas. Na avaliação realizada na colheita, o rendimento de MSPA não variou com o espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndice 3).

Tabela 18. Rendimento de massa seca da parte aérea (t ha⁻¹) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, no estádio de espigamento (R₁)⁽¹⁾, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Densidade de plantas (pl m ⁻²) | Espaçamento entrelinhas (m) | |
|--|-----------------------------|----------|
| | 0,4 | 0,8 |
| 6,2 | A 10,6 a ⁽²⁾ * | B 10,9 a |
| 8,3 | A 10,2 b | A 14,1 a |

⁽¹⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); ⁽²⁾ Coeficiente de variação= 13,6%; * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

3.5.2.2 - Rendimento de grãos e seus componentes

Os rendimentos médios de grãos obtidos nos experimentos com sistema de manejo alto foram de 11,8 e 9,1 t ha⁻¹, respectivamente nas estações de crescimento 2003/04 e 2004/05. No primeiro ano, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou (10%) o rendimento de grãos, independente de densidade de plantas e híbrido (Tabela 19). Da mesma forma, a redução do espaçamento entrelinhas aumentou os números de espigas (12%) e de grãos por área (15%), enquanto o peso do grão diminuiu (2%) no menor espaçamento.

Tabela 19. Rendimento de grãos de milho e seus componentes em experimentos conduzidos sob sistema de manejo alto, em duas estações de crescimento, em função de espaçamento entrelinhas, na média de duas densidades de plantas e dois híbridos. Eldorado do Sul-RS

| Estação de crescimento | Rendimento de grãos e seus componentes | Espaçamento entrelinhas (m) | | CV ⁽¹⁾ (%) |
|------------------------|---|-----------------------------|--------|-----------------------|
| | | 0,4 | 0,8 | |
| 2003/04 | Rendimento de grãos (t ha ⁻¹) | 12,3 a* | 11,2 b | 8,8 |
| | Peso do grão (mg) | 303 b | 310 a | 3,1 |
| | Espigas m ⁻² (nº) | 7,5 a | 6,5 b | 10,2 |
| | Grãos m ⁻² (nº) | 4066 a | 3620 b | 9,2 |
| 2004/05 | Rendimento de grãos (t ha ⁻¹) | 8,6 a | 9,6 a | 6,2 |
| | Peso do grão (mg) | 274 a | 290 a | 14,4 |
| | Grãos m ⁻² (nº) | 3136 a | 3050 a | 7,3 |

⁽¹⁾ CV= Coeficientes de variação; * Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

No segundo ano, o espaçamento entrelinhas não afetou o rendimento de grãos nem o peso do grão e o número de grãos por área, independente de densidade de plantas e híbrido (Tabela 19). Apenas o número de espigas por área foi influenciado pela interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas (Tabela 20). Assim, a redução do espaçamento de 0,8 para 0,4 m diminuiu (7%) o número de espigas por área na menor densidade de plantas (6,2 pl m⁻²). O incremento da densidade de plantas de 6,2 para 8,3 pl m⁻² diminuiu (9%) o número de espigas por área no maior espaçamento (0,8 m).

Tabela 20. Número de espigas de milho por área em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Densidade de plantas (pl m ⁻²) | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|--|-----------------------------|-----|--------------------|-----|-----|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| 6,2 | A | 8,9 | a ⁽¹⁾ * | A | 9,6 | a |
| 8,3 | A | 8,6 | a | B | 8,7 | a |

⁽¹⁾ Coeficiente de variação= 4,2%; * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

3.5.2.3 - Índice de colheita aparente (ICa)

Assim como verificado no sistema de manejo médio, nas duas estações de condução do experimento com sistema de manejo alto, o ICa não foi influenciado pelo espaçamento entrelinhas, independente de densidade e híbrido (Apêndices 2 e 3). Os valores relativos de ICa no espaçamento de 0,4 e 0,8 m, foram de, respectivamente, 0,49 e 0,50 em 2003/04 e de 0,48 e 0,49 em 2004/05.

3.5.2.4 – Teor de proteína dos grãos

No primeiro ano de condução do experimento, a resposta do teor de proteína dos grãos à redução do espaçamento entrelinhas dependeu de híbrido (Tabela 21). A redução do espaçamento de 0,8 para 0,4 m aumentou essa característica em 27% no híbrido Penta. Na comparação entre híbridos, no menor espaçamento, o teor de proteína dos grãos foi 26% superior no híbrido Penta. No maior espaçamento, observou-se resposta inversa, com o teor de proteína sendo 13% maior no genótipo Flash.

Tabela 21. Teor de proteína dos grãos de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo alto, em função da interação de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Híbrido | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---------|-----------------------------|------|--------------------|-----|------|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| Flash | B | 9,2 | a ⁽¹⁾ * | A | 10,3 | a |
| Penta | A | 11,6 | a | B | 9,1 | b |

⁽¹⁾ Coeficiente de variação= 21,8%; * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

3.5.3. – EXPERIMENTOS COM SISTEMA DE MANEJO MUITO ALTO

As avaliações relatadas a seguir referem-se aos dois experimentos conduzidos no sistema de manejo muito alto, conduzidos nas estações de crescimento 2003/04 e 2004/05.

3.5.3.1 - Rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA)

Na estação de crescimento 2003/04, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou essa característica em 65% no estágio V₁₁ e em 13% no estágio R₁, mas não a alterou na avaliação foi realizada na colheita (Tabela 22).

Tabela 22. Rendimento de massa seca da parte aérea (t ha⁻¹) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, nos estádios de 11 folhas expandidas (V₁₁), espigamento (R₁) e na colheita, em função de espaçamento entrelinhas, na média de dois híbridos e duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Estádio de desenvolvimento ⁽¹⁾ | Espaçamento entrelinhas (m) | | CV ⁽²⁾ (%) |
|---|-----------------------------|--------|--------------------------|
| | 0,4 | 0,8 | |
| V ₁₁ | 6,1 a* | 3,7 b | 18,0 |
| R ₁ | 8,5 a | 7,5 b | 15,2 |
| Colheita | 12,4 a | 12,3 a | 10,3 |

⁽¹⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); ⁽²⁾ CV= Coeficientes de variação; * Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste DMS (p<0,05).

No segundo ano, no estágio R₁, a resposta do rendimento de MSPA à redução do espaçamento dependeu de híbrido (Tabela 23). A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m diminuiu (15%) o rendimento de MSPA no híbrido de folhas eretas (Flash) e não o afetou no de folhas decumbentes (Penta). Na comparação entre híbridos, o Flash apresentou rendimento de MSPA 25% superior ao do Penta no maior espaçamento. Na avaliação realizada na colheita, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 m (22,4 t ha⁻¹) para 0,4 m (20,1 t ha⁻¹) diminuiu essa característica em 10%, na média de duas densidades de plantas e de dois híbridos (Apêndice 3).

Tabela 23. Rendimento de massa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) de milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, no estágio de espigamento (R_1)⁽¹⁾, em função da interação de espaçamento entrelinhas e híbrido, na média de duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Híbrido | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---------|-----------------------------|------|-------------------|-----|------|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| Flash | A | 11,6 | b ^{(2)*} | A | 13,7 | a |
| Penta | A | 11,2 | a | B | 11,0 | a |

⁽¹⁾ Conforme escala de desenvolvimento proposta por RITCHIE et al. (1993); ⁽²⁾ Coeficiente de variação= 11,5%; * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p<0,05$).

3.5.3.2 - Rendimento de grãos e seus componentes

Na estação de crescimento 2003/04, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m incrementou o rendimento de grãos em 5% e o número de grãos por área em 4%, sem haver efeito nos demais componentes (Tabela 24).

Tabela 24. Rendimento de grãos e seus componentes em milho em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, em função de espaçamento entrelinhas, na média de dois híbridos e duas densidades de plantas. Eldorado do Sul-RS, 2003/04

| Rendimento de grãos e seus componentes | Espaçamento entrelinhas (m) | | CV ⁽¹⁾ (%) |
|--|-----------------------------|--------|-----------------------|
| | 0,4 | 0,8 | |
| Rendimento de grãos ($t\ ha^{-1}$) | 14,3 a* | 13,6 b | 5,0 |
| Peso do grão (mg) | 321 a | 322 a | 2,1 |
| Espigas m^{-2} (nº) | 7,6 a | 7,4 a | 4,5 |
| Grãos m^{-2} (nº) | 4453 a | 4282 b | 5,3 |

⁽¹⁾ CV= Coeficientes de variação; * Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste DMS ($p<0,05$).

No segundo ano, a resposta do rendimento de grãos ao espaçamento entrelinhas dependeu de densidade de plantas (Tabela 25). A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m aumentou o rendimento de grãos (14%) na maior densidade de plantas (9,9 pl m^{-2}). Na comparação entre densidades de plantas, verificou-se que o incremento da densidade de 7,5 para 9,9 pl m^{-2} aumentou o rendimento de grãos em 17% no menor espaçamento (0,4 m). Nesse segundo ano, nenhum dos três componentes do rendimento de grãos avaliados variou com o espaçamento entrelinhas (Apêndice 3).

Tabela 25. Rendimento de grãos de milho ($t\ ha^{-1}$) ⁽¹⁾ em experimento conduzido sob sistema de manejo muito alto, em função da interação de espaçamento entrelinhas e densidade de plantas, na média de dois híbridos. Eldorado do Sul-RS, 2004/05

| Densidade de plantas ($pl\ m^{-2}$) | Espaçamento entrelinhas (m) | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|------|----|-----|-----|---|
| | 0,4 | | | 0,8 | | |
| 7,5 | B | 9,6 | a* | A | 9,1 | a |
| 9,9 | A | 11,2 | a | A | 9,8 | b |

⁽¹⁾ Coeficiente de variação= 16,7%; * Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e antecedidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste DMS ($p<0,05$).

3.5.3.3 - Índice de colheita aparente (ICa) e teor de proteína dos grãos

Nas duas estações de crescimento, o ICa e o teor de proteína dos grãos não foram influenciados pela redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndices 2 e 3). Na estação de crescimento 2003/04, os valores relativos de ICa foram 0,50 e 0,52 e, no segundo ano, foram de 0,47 e 0,48, respectivamente, no espaçamento entrelinhas de 0,4 e 0,8 m. Já, os valores relativos de proteína dos grãos foram de 11,3 e 11,0%, no primeiro ano, e de 10,0 e 9,6%, no segundo ano de condução da pesquisa, respectivamente no menor e maior espaçamento entrelinhas.

3.6. DISCUSSÃO

O milho pode ser cultivado praticamente em todos os locais dos três Estados do Sul do Brasil. Entretanto, algumas limitações de ambiente são desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas, como a baixa disponibilidade hídrica durante o ciclo (MATZENAUER & MACHADO, 2002). Os prejuízos causados pela deficiência hídrica são potencializados quando ocorre entre 15 dias antes (V_{15}) a 20 dias após o florescimento (R_3), devido à defasagem entre a liberação de pólen e a emissão de estigmas (SILVA et al., 1999), o que reduz o número de grãos por espiga e o rendimento de grãos.

A deficiência hídrica durante o ciclo do milho no Rio Grande do Sul é um evento bastante comum, pois, dependendo da série de anos considerada, ela ocorre em mais de 60% dos anos (MATZENAUER & MACHADO, 2002). Considerando a série histórica entre 1969/1999 (BERGAMASCHI et al, 2003) apresentada na Figura 2, verifica-se que as precipitações pluviais durante o período de outubro a março ficam em torno de 40 mm por decêndio. Nos dois anos da pesquisa, houve diversos períodos com precipitação pluvial inferior à média histórica, principalmente no segundo ano. Os reflexos dessas baixas precipitações podem ser observados na Figura 3, que mostra que a deficiência hídrica histórica é superior a 10 mm por decêndio entre o segundo decêndio de dezembro (estádio R₁) e o terceiro decêndio de janeiro (estádio R₄), enquanto nos dois anos da pesquisa, houve deficiência hídrica variável entre 10 e 55 mm por decêndio entre os estádios V₁₂ e R₄, principalmente no segundo ano. Os reflexos dos diferentes graus de deficiência hídrica no milho podem ser mais bem caracterizados através do desempenho das diferentes características agrônômicas avaliadas no presente estudo.

Com relação ao rendimento de grãos, no sistema de manejo médio, com limitações nos aportes nutricional e hídrico e com uso de menores densidades de plantas (Tabela 13), na estação de crescimento 2003/04 os rendimentos de grãos foram 8,1 t ha⁻¹ nos dois espaçamentos entrelinhas e, no segundo ano, de 2,1 e 2,3 t ha⁻¹, respectivamente no menor (0,4 m) e no maior (0,8 m) espaçamento entrelinhas (Tabela 15). No sistema de manejo alto, com adequados suprimentos nutricional e hídrico e maior densidade de plantas (Tabela 13), os rendimentos de grãos foram 12,3 e 11,2 t ha⁻¹, no primeiro ano, e de 8,8 e 9,6 t ha⁻¹, no segundo ano, respectivamente no menor e no maior espaçamento entrelinhas (Tabela 19). No sistema de manejo muito alto, suprido com alta densidade de plantas, nutrição e irrigação adequada para se atingir altos tetos de rendimento de grãos (Tabela 13), os rendimentos de grãos foram de 14,3 e 13,6 t ha⁻¹ no primeiro ano e de 9,1 a 11,2 t ha⁻¹ no segundo ano, respectivamente, nos espaçamentos entrelinhas de 0,4 e 0,8 m,

(Tabelas 24 e 25). As diferenças verificadas nos rendimentos de grãos entre os dois anos e entre os três sistemas de manejo com a redução do espaçamento entrelinhas relacionam-se à maior deficiência hídrica e ao incremento na densidade de plantas no segundo ano e à própria definição dos tratamentos e dos sistemas de manejo.

No segundo ano, a alteração de critério para definição do intervalo entre a menor e a maior densidade de plantas influenciou as características agronômicas da cultura. O intervalo utilizado entre a menor e a maior densidade de plantas no mesmo sistema de manejo foi de 33%, enquanto no primeiro ano a variação entre as duas densidades foi uniforme, sendo de 1,5 pl m⁻² nos três sistemas de manejo testados (Tabela 13). Essa modificação de critério homogeneizou os intervalos de densidade de plantas nos três sistemas de manejo, já que no primeiro ano as diferenças percentuais entre densidades foram de 33, 27 e 23%, respectivamente, nos sistemas de manejo médio, alto e muito alto.

No segundo ano, com ocorrência de maior deficiência hídrica durante o ciclo da planta (Figura 3), o maior número de plantas por área favoreceu a redução do rendimento de grãos. Isso porque há relação positiva entre o número de plantas por área e o consumo de água, principalmente no período crítico de desenvolvimento da planta, entre os estádios V₁₅ ao R₃. No segundo ano, como as precipitações pluviais durante o ciclo foram menores do que as ocorridas no primeiro ano (Figura 2), a estratégia correta teria sido adotarem-se densidades menores e não o seu aumento, como ocorreu no presente estudo. Entretanto, nas duas estações de crescimento, a definição das densidades de plantas ocorreu muito antes da instalação da cultura e, portanto, não foi possível dispor-se de previsão de ocorrência de deficiência hídrica.

A utilização de densidades de plantas mais elevadas no mesmo sistema de manejo, requer maior quantidade de precipitações pluviais mas também com distribuição uniforme durante todo o ciclo da planta. A demanda hídrica da cultura do milho é maior entre os estádios de emborrachamento (V₁₅) e de grão leitoso (R₃), nos quais o

desenvolvimento da planta é dependente do adequado suprimento hídrico, podendo a demanda evaporativa atmosférica superar 8 mm dia^{-1} (MATZENAUER et al., 1995; MATZENAUER & MACHADO, 2002). Segundo esses autores, a alta sensibilidade do milho à deficiência hídrica entre os estádios V_{15} e R_3 é o principal fator responsável pelas freqüentes reduções de safra no Estado do Rio Grande do Sul.

Como demonstrado nas Figuras 2 e 3, o número total de irrigações realizadas no milho foi similar nos dois anos de condução da pesquisa. Entretanto, no primeiro ano, a distribuição das irrigações ocorreu durante todo o ciclo da cultura, enquanto no segundo ano houve necessidade de se concentrar oito das 11 irrigações entre os estádios V_{12} e R_4 . Os efeitos das precipitações pluviais ocorridas e das irrigações realizadas durante o ciclo mostram que a distribuição adequada de água no período crítico é mais importante do que a quantidade total ocorrida durante o ciclo. Esses resultados corroboram com os obtidos por MATZENAUER & MACHADO (2002), ao estudarem a disponibilidade hídrica para o milho em anos com diferentes disponibilidades hídricas no Estado do Rio Grande do Sul. Por isso, a adoção da irrigação vem se demonstrando prática essencial para obtenção de altos tetos de rendimento de grãos em milho nas principais regiões de cultivo no Brasil.

Outro aspecto que explica, parcialmente, a amplitude de rendimento de grãos entre as estações de crescimento e sistemas de manejo, está na própria caracterização dos tratamentos (Tabela 13). Devem-se considerar as diferenças intrínsecas existentes entre níveis dos adubos de semeadura e cobertura, realização ou não de irrigações, densidade de plantas utilizada, condições meteorológicas ocorridas durante o ciclo e características de cada genótipo, pois as plantas apresentam mecanismos morfo-fisiológicos que determinam maior ou menor tolerância aos estresses, como deficiência hídrica e/ou nutricional mineral.

As diferenças observadas no rendimento de grãos entre os três sistemas de manejo propostos demonstram a acentuada resposta do milho à variação do grau de tecnologia. Sob elevados níveis de adubo de semeadura e de cobertura e de densidade de

plantas nos sistemas de manejo alto e muito alto, ocorrem maiores acúmulos de massa seca na planta e rendimento de grãos, desde que a suplementação hídrica e o controle de plantas daninhas, pragas e moléstias não sejam limitantes. As amplas variações no rendimento de grãos constatadas entre os três sistemas de manejo (médio, alto e muito alto) refletem a importância da suplementação hídrica durante o ciclo da planta, já que as precipitações pluviais foram bem inferiores à média histórica, sobretudo no segundo ano (Figura 2).

Considerando-se os seis experimentos conduzidos, verificou-se que o efeito da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos ocorreu em apenas três deles e não dependeu de híbrido (Tabelas 15, 19, 24 e 25). A distribuição espacial mais uniforme entre plantas com redução do espaçamento entrelinhas, mantida a densidade de plantas, aumentou o rendimento de grãos no sistema de manejo alto no primeiro ano (10%) (Tabela 19) e no de manejo muito alto nos dois anos, 5 e 14% respectivamente (Tabelas 24 e 25).

Os incrementos no rendimento de grãos, com redução do espaçamento entrelinhas, quando ocorreram, foram de pequena magnitude, não dependeram de híbrido e se verificaram apenas nos sistemas de manejo com tetos de rendimento de grãos superiores a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$ (no primeiro ano, no sistema de manejo alto e, nos dois anos, no sistema de manejo muito alto). Os percentuais de incrementos obtidos com redução do espaçamento entrelinhas estão de acordo com os resultados relatados por outros pesquisadores (MUNDSTOCK, 1977; SANGOI, 1990; SANGOI et al., 1998 e 2001; TEASDALE, 1998; ARGENTA et al., 2001a; FLESH & VIEIRA, 2004; BALBINOT Jr. & FLECK, 2005a).

Nos experimentos com sistema de manejo médio, nos dois anos, e com sistema de manejo alto, no segundo ano, a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m não afetou o rendimento de grãos de milho (Tabelas 15 e 19). A não variação do rendimento de grãos nesses três sistemas de manejo com a redução do espaçamento entrelinhas evidencia que seus benefícios são pouco prováveis de ocorrerem quando os tetos de rendimento de grãos são inferiores a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$. A ausência de resposta positiva do

rendimento de grãos à redução do espaçamento entrelinhas sob sistemas de manejo menos favoráveis, demonstra que há outros fatores afetando o rendimento da cultura, além de espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e híbrido. Entre esses pode-se destacar o baixo potencial de rendimento de grãos dos genótipos, deficiências hídricas e nutricionais, época de semeadura inadequada e limitações no manejo de daninhas, pragas e moléstias.

Considerando os seis experimentos conduzidos, os resultados de rendimento de grãos não confirmam a teoria de que a distribuição espacial mais uniforme entre plantas, mantida a densidade de plantas, otimiza o uso dos recursos do ambiente (luz água e nutrientes), como foi proposto por FUNDAÇÃO RIO VERDE (2002). A distribuição mais uniforme entre plantas, com adoção de espaçamento entrelinhas reduzido, aumentaria o rendimento de grãos, principalmente devido à distribuição mais homogênea do sistema radical. Com isso, as raízes ocupariam melhor o solo e, dessa forma, melhoraria a eficiência de absorção de água e nutrientes, bem como a interceptação de radiação solar. Especula-se que a distribuição espacial mais uniforme entre plantas, devida à redução do espaçamento entrelinhas, mantida a densidade de plantas, mostra ser mais eficiente apenas em situações em que o rendimento de grãos é elevado, superior a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$, desde que as demais práticas de manejo não sejam limitantes. Essa conclusão corrobora as observações verificadas por STRIEDER et al. (2006), em trabalho conduzido no mesmo local da presente pesquisa, quando foi avaliada a resposta do milho à redução do espaçamento entrelinhas em híbridos contrastantes quanto à arquitetura de plantas.

Também é importante se avaliar o efeito da redução do espaçamento entrelinhas nos componentes, identificando-se qual deles possui comportamento similar ao do rendimento, ou seja, que mais se associa à resposta do rendimento de grãos à redução do espaçamento entrelinhas. Nos três experimentos em que o rendimento de grãos não variou com o espaçamento entrelinhas (sistemas de manejo médio, nos dois anos, e alto, no segundo ano), o número de grãos por área também não foi alterado, independente de

densidade de plantas e de híbrido (Tabelas 15 e 19). Nos experimentos em que a redução do espaçamento entrelinhas aumentou o rendimento de grãos (sistemas de manejo alto, no primeiro ano, e muito alto, nos dois anos), o número de grãos por área também aumentou, independente de densidade de plantas e híbrido (Tabelas 19, 24 e 25). Dessa forma, os resultados de cinco dos seis experimentos demonstram que o número de grãos por área é o componente que apresenta comportamento similar ao do rendimento de grãos em resposta à redução do espaçamento entrelinhas.

As características associadas ao desenvolvimento da planta, como o rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA) e o índice de colheita aparente, também foram objeto de avaliação no presente estudo. Nos três experimentos da estação de crescimento 2003/04, a redução do espaçamento entrelinhas aumentou o rendimento de MSPA nos estádios V_{11} e R_1 de desenvolvimento da planta e, em geral, não alterou essa característica na avaliação realizada na colheita (Tabelas 14, 17 e 22 e Apêndice 2). Nos três experimentos conduzidos em 2004/05, em geral não houve efeito da redução do espaçamento entrelinhas nessa característica nos estádios R_1 e de colheita (Tabelas 18 e 23 e Apêndice 3).

Esperava-se que os benefícios advindos da distribuição espacial mais uniforme entre plantas no rendimento de MSPA nos estádios V_{11} e R_1 no primeiro ano, fossem se ampliar na avaliação realizada na colheita. Isso ocorreria devido ao fato da competição intra-específica pelos recursos do ambiente (luz, água e nutrientes) se intensificar durante o ciclo, resultando no estabelecimento de hierarquias entre as plantas e, dessa forma, determinar a ocorrência de indivíduos dominantes e dominados (MADONNI & OTEGUI, 2004). Em cinco dos seis experimentos conduzidos, a redução do espaçamento entrelinhas não afetou o rendimento de MSPA na colheita, independente de densidade de plantas e híbrido, diferentemente do que foi observado nas avaliações efetuadas em estádios anteriores (Tabelas 14, 17, 18, 22 e 23). Por outro lado, o índice de colheita aparente expressa a relação entre fotoassimilados produzidos pela planta durante o ciclo e de que

forma esses são acumulados no grão. A não variação do rendimento de MSPA na colheita com redução do espaçamento entrelinhas, manteve o índice de colheita aparente inalterado nos seis experimentos, independente de densidade de plantas e híbrido (Apêndices 2 e 3).

Em função dos resultados obtidos, evidencia-se que há outras características de planta, além de rendimento de MSPA e índice de colheita aparente, e fatores de ambiente que interferem na resposta da cultura à redução do espaçamento entrelinhas. Os resultados demonstram também que, durante o ciclo do milho, ocorrem compensações entre os ganhos no acúmulo de massa seca e os gastos energéticos para manutenção das estruturas formadas. Assim, o rendimento de MSPA nos estádios V_{11} e R_1 no espaçamento entrelinhas reduzido teve comportamento similar ao rendimento de grãos nos experimentos com sistemas de manejo alto e muito alto no primeiro ano. Já, o rendimento de MSPA na colheita seguiu o comportamento do rendimento de grãos nos sistemas de manejo médio, nos dois anos, e ao rendimento de grãos no sistema de manejo alto no segundo ano.

Além do rendimento de grãos e de características associadas ao desenvolvimento da planta, é importante também que se discutam os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas, mantida a densidade de plantas, na qualidade do produto colhido, expressa pelo teor de proteína dos grãos. Isso se justifica porque a formulação de rações para as duas principais espécies animais confinadas (suínos e aves) tem por base o uso de farelo de soja e de grãos de milho, que se constituem na maior parte dos custos financeiros relacionados ao atendimento dos diferentes níveis de exigências protéicas dessas espécies durante o seu crescimento. Assim, práticas de manejo que aumentem o teor de proteína dos grãos de milho ajudam reduzir os custos de produção de rações para os animais e para melhorar a qualidade nutricional dessa, através do uso de grãos de maior qualidade.

Outra possível vantagem do aumento do teor de proteína dos grãos de milho é a redução da susceptibilidade dos grãos à quebra durante a colheita, o que permite agregar valor ao produto (TSAI et al., 1992). Deve-se considerar, entretanto, que pode ocorrer

somente aumento do teor de zeína na fração protéica do milho (TSAI et al., 1992), a qual corresponde à maior parte da proteína do grão e é deficiente em lisina e triptofano, aminoácidos essenciais para espécies animais monogástricas, como suínos e aves. Assim, mais do que a determinação do teor de proteína dos grãos é importante que sejam elaborados aminogramas para avaliar o tipo e a quantidade de aminoácidos presentes. Entretanto, devido ao custo elevado e à morosidade na elaboração de aminogramas, não foi possível fazer essa avaliação no presente estudo.

Em cinco dos seis experimentos conduzidos, o teor de proteína dos grãos não foi afetado pela redução do espaçamento entrelinhas (Tabelas 16 e 21 e Apêndices 2 e 3). A distribuição espacial mais uniforme entre plantas, obtida com redução do espaçamento entrelinhas mantida a densidade de plantas, incrementou o teor de proteína dos grãos somente no segundo ano do experimento sob sistema de manejo médio (Tabela 16).

Associando-se os resultados dos teores proteína dos grãos obtidos nos seis experimentos, em função do espaçamento entrelinhas, com os de rendimento de grãos de milho, constata-se que a qualidade de grãos aumentou somente no experimento com teto de rendimento de grãos baixo ($2,2 \text{ t ha}^{-1}$). Nos demais cinco experimentos, com tetos de rendimento de grãos superiores a $8,0 \text{ t ha}^{-1}$, não houve efeito de espaçamento entrelinhas nessa característica. O aumento do teor de proteína dos grãos, com a redução do espaçamento entrelinhas, relaciona-se à maior concentração de proteína por massa de grão colhido. Mesmo com baixo rendimento de grãos, como o obtido no sistema de manejo médio no segundo ano, a quantidade total de proteína dos grãos foi pouco alterada, devido ao fato da diluição da proteína se distribuir em menor massa de grãos.

Além dos efeitos diretos da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos e outras características agronômicas que foram avaliados no presente estudo, a literatura relata que há diversas outras vantagens potenciais para sua utilização. Entre essas, podem-se citar: (i) diminuição do desenvolvimento e da infestação de plantas

daninhas (JOHNSON et al., 1998; ARGENTA et al., 2000); (ii) viabilidade de se reduzir a dose de herbicidas (FORCELLA et al., 1992; TEASDALE, 1995; BALBINOT Jr. & FLECK, 2005b), principalmente os pré-emergentes (ARGENTA et al., 2000), diminuindo seus resíduos na superfície do solo e no lençol freático; (iii) aumento da habilidade competitiva de alguns genótipos de milho em suprimir o desenvolvimento de plantas invasoras (BALBINOT Jr. & FLECK, 2005a); (iv) diminuição do risco de efeitos tóxicos provocados pela salinidade de adubos nas sementes, especialmente quando se utiliza cloreto de potássio como fonte de potássio, já que esse é distribuído em maior número de linhas na lavoura (FUNDAÇÃO RIO VERDE, 2002).; (v) maior eficiência na conservação do solo e da água, por antecipar o fechamento dos espaços entre as linhas de cultivo, diminuindo a ocorrência de escoamento superficial e as perdas de solo e de água por erosão (SANGOI et al., 2001; COGO et al., 2003) e, (vi) aumento da eficiência de uso de equipamentos na propriedade, principalmente das semeadoras-adubadoras, por possibilitar o uso da mesma regulação das entrelinhas para a semeadura das duas principais culturas de verão (milho e soja), sem necessidade de ajuste (MUNDSTOCK & SILVA, 2005).

O uso de espaçamento entrelinhas reduzido também apresenta algumas limitações, sendo por isso necessário sua avaliação tanto sob aspectos agronômicos quanto econômicos antes que se decida por sua adoção. Uma das maiores dificuldades para sua implementação se refere aos ajustes necessários à aplicação de tratamentos culturais durante o ciclo da planta e, principalmente, na operação de colheita, pois as plataformas usuais de corte das colhedoras são ajustadas ao recolhimento de espigas com espaçamento entrelinhas entre 0,7 e 1,0 m. Dessa forma, a redução do espaçamento entrelinhas requer a aquisição de máquinas e de equipamentos novos ou a adaptação das existentes. Os dispêndios com as aquisições e/ou adaptações não se justificam em níveis de rendimento de grãos baixos ou muito baixos, como os obtidos no segundo ano no experimento com sistema de manejo médio. Deve-se considerar também, a escala de área de adoção dessa

tecnologia, pois possui relação inversa com o tempo necessário para que os seus benefícios se tornem economicamente viáveis. A disponibilidade de equipamentos adaptados para cultivos com espaçamentos entrelinhas reduzidos aumentou nos últimos anos, em função de diversas vantagens apresentadas por essa estratégia de manejo do arranjo de plantas (ARGENTA et al., 2001c), mas o custo da plataforma de colheita ainda é elevado.

3.7. CONCLUSÕES

Os incrementos nos rendimentos de grãos de milho com a redução do espaçamento entrelinhas, quando ocorrem, são de pequena magnitude (0 a 14%), dependem da estação de crescimento e se manifestam apenas sob rendimentos de grãos superiores a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$.

A resposta do rendimento de grãos de milho à redução do espaçamento entrelinhas não depende do tipo de planta do híbrido.

A distribuição espacial mais uniforme entre plantas, devida à redução do espaçamento entrelinhas, nem sempre otimiza o uso dos recursos do ambiente (luz, água e nutrientes) sob sistemas de manejo cujos rendimentos de grãos sejam inferiores a $8,0 \text{ t ha}^{-1}$.

O número de grãos por área é o componente com comportamento similar ao rendimento de grãos em resposta à redução do espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas, híbrido e sistema de manejo.

A redução do espaçamento entrelinhas aumenta o rendimento de massa seca da parte aérea até o estágio de espigamento, mas não afeta tal característica por ocasião da colheita. Da mesma forma, essa prática não altera o índice de colheita aparente, independente de densidade de plantas, híbrido e sistema de manejo.

O teor de proteína dos grãos não é alterado com a redução do espaçamento entrelinhas quando o rendimento de grãos é alto ($>8,0 \text{ t ha}^{-1}$), mas aumenta sob rendimento de grãos baixo ($2,0 \text{ t ha}^{-1}$).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indicação de arranjo de plantas em milho tem sido alterada bastante ao longo do tempo. No início, a manipulação do arranjo de plantas ocorreu, basicamente, através do aumento da densidade de plantas; posteriormente, pela redução do espaçamento entrelinhas e, mais recentemente, integrando essas duas estratégias. Isso foi possível devido às modificações de ordem genética, fisiológica, metabólica e anatômica que foram incorporadas à planta pelos programas de melhoramento, em conjunto com a adoção de mudanças no manejo cultural.

Mantida a densidade de plantas, a redução do espaçamento entrelinhas torna a distribuição espacial entre plantas mais uniforme. Assim, espera-se que aumente a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e diminua a competição intra-específica por luz, água e nutrientes. Dessa forma, devem ocorrer aumentos na taxa fotossintética líquida e no desenvolvimento de planta e, conseqüentemente, maiores rendimentos de massa seca e de grãos. Entretanto, no presente estudo constatou-se que esses processos dependem da porcentagem de radiação absorvida pelo dossel e das eficiências de sua utilização e conversão em massa vegetal o que, muitas vezes, resulta em respostas diferentes daquelas esperadas. Frente a essa inconsistência de resultados, evidencia-se que outros fatores, além dos contemplados nos estudos já realizados, sejam eles internos à planta ou relacionados ao ambiente de cultivo, afetam a resposta da cultura do milho à redução do espaçamento entrelinhas.

Nesse sentido, houve grandes esforços científicos na busca de respostas que explicassem a inconsistência dos efeitos da redução do espaçamento entrelinhas nos

rendimentos de massa seca da parte aérea e de grãos. Investigam-se características agronômicas de planta e de dossel, como componentes do rendimento de grãos, teor de proteína dos grãos, índice de área folhar (IAF), senescência folhar e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pelo dossel. Diversos grupos de pesquisa conduzem trabalhos que integram fatores que atuam no desenvolvimento da planta e que, possivelmente, afetem a resposta da cultura à redução do espaçamento entrelinhas. No presente estudo, investigou-se o efeito da redução do espaçamento entrelinhas em função de outros quatro fatores: estações de crescimento, densidades de plantas, híbridos com características de arquitetura de planta contrastantes e sistemas de manejo, para se obter ampla variação no rendimento de grãos (3,0 a 15,0 t ha⁻¹). O estudo dessa interação se justifica devido a cultura ser muito exigente em fertilidade do solo, quando outros fatores não limitam a obtenção de altos rendimentos de grãos e porque, em parte dos experimentos que avaliam o arranjo de plantas, os rendimentos de grãos obtidos são baixos ou médios, não ultrapassando 6,0 t ha⁻¹.

Entre as características de dossel avaliadas no presente estudo verificou-se que a obtenção de alto IAF, seja sob espaçamento entrelinhas reduzido (0,4 m) ou no tradicional (0,8 m), não foi garantia de aumento da RFA_{int} . Isso ocorre porque o maior IAF pode aumentar o sombreamento das folhas superiores do dossel sobre as inferiores, principalmente em híbridos que apresentam folhas decumbentes, como é o caso do híbrido Penta. As características IAF e RFA_{int} são influenciadas pela redução do espaçamento entrelinhas, mas dependem de densidade de plantas, tipo de planta do híbrido, sistema de manejo e estágio de desenvolvimento da planta.

Sob tetos de rendimentos de grãos superiores a 9,0 t ha⁻¹, o IAF e a RFA_{int} mostram-se superiores no maior espaçamento entrelinhas, enquanto a senescência folhar não varia com o espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e tipo de planta do híbrido. A redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 para 0,4 m incrementa a

RFA_{int} pelo dossel no híbrido de folhas decumbentes (Penta), independente de densidade de plantas. Nos dois espaçamentos entrelinhas, a RFA_{int} pelo dossel aumenta com a densidade de plantas, mas depende de híbrido e estágio de desenvolvimento da planta. Já, sob nível de rendimento de grãos muito alto (superior a 12,0 t ha⁻¹), a redução do espaçamento entrelinhas diminui a RFA_{int} no híbrido de folhas eretas (Flash) na menor densidade de plantas (6,5 pl m⁻²), e tende a aumentá-la em densidades maiores (8,0 pl m⁻²).

Nos três sistemas de manejo adotados no presente estudo, a senescência folhar não variou com o espaçamento entrelinhas, independente de densidade de plantas e híbrido, evidenciando que há efeito de outros fatores. Entretanto, verificou-se que essa característica inicia seu desenvolvimento já nos primeiros estádios fenológicos, prossegue concomitantemente com o desenvolvimento da planta e se intensifica durante o período de enchimento de grãos.

De modo geral, as três características de dossel avaliadas (IAF, senescência folhar e RFA_{int}) apresentaram comportamento distinto daquele verificado no rendimento de grãos nos três sistemas de manejo, resposta que, teoricamente, não era esperada.

Entre os três componentes do rendimento de grãos avaliados (números de grãos por espiga e por área e peso do grão), o número de grãos por área é o que apresenta comportamento similar ao rendimento de grãos em resposta à redução do espaçamento entrelinhas. A associação entre essas duas características agronômicas não depende de densidade de plantas, híbrido e sistema de manejo.

Na maioria das situações avaliadas, ou seja, em cinco dos seis experimentos conduzidos, a redução do espaçamento entrelinhas não altera o rendimento de massa seca da parte aérea na colheita, independente de densidade de plantas e híbrido. A redução do espaçamento entrelinhas não altera o índice de colheita aparente da cultura do milho, independente de densidade de plantas, híbrido e sistema de manejo.

O teor de proteína dos grãos não se modifica com a redução do espaçamento entrelinhas nos sistemas de manejo alto e muito alto, em que os rendimentos de grãos são elevados $8,0 \text{ t ha}^{-1}$, mas aumenta sob baixo rendimento ($2,0 \text{ t ha}^{-1}$).

Os incrementos nos rendimentos de grãos de milho, em decorrência da redução do espaçamento entrelinhas, foram de pequena magnitude (0 a 14%), dependeram da estação de crescimento e se manifestaram apenas quando o rendimento de grãos foi superior a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$. O efeito do espaçamento entrelinhas não dependeu de híbrido. Esses dados demonstram que a distribuição espacial mais uniforme entre plantas devido à redução do espaçamento entrelinhas, mantida a densidade de plantas, nem sempre otimiza o uso dos recursos do ambiente (luz, água e nutrientes), principalmente quando os rendimentos de grãos são inferiores a $8,0 \text{ t ha}^{-1}$. Ao contrário, a redução do espaçamento entrelinhas se mostra efetiva apenas quando o rendimento de grãos é superior a $10,0 \text{ t ha}^{-1}$, desde que outros fatores não sejam limitantes à cultura.

Com isso, poder-se-ia dizer que a redução do espaçamento entrelinhas de 0,8 a 0,9 m para valores entre 0,4 e 0,5 m não é considerada uma estratégia consistente de manejo a ser adotada pela maioria dos produtores de milho do Brasil. Isso se baseia no fato de que os tetos médios de rendimento de grãos obtidos ficam em torno de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$. Assim, o rendimento médio está muito abaixo do potencial genético da cultura e do teto de rendimento ($10,0 \text{ t ha}^{-1}$), em que os benefícios daquela prática podem ocorrer, em termos de rendimento de grãos. Com base nessas constatações, sugere-se que, antes do produtor promover dispêndios com aquisição de máquinas e implementos novos, como semeadoras e plataformas de colheita para tentar incrementar o rendimento médio da cultura, esses recursos sejam direcionados para melhorar o sistema de manejo da lavoura. Entre as melhorias, para se obter altos rendimentos de grãos, podem-se citar: uso de genótipos de alto potencial de rendimento de grãos, garantir adequado atendimento às necessidades hídricas e nutricionais da planta, adequação da época de semeadura e o manejo de plantas

daninhas, pragas e moléstias. Apenas quando atingir rendimentos de grãos elevados em milho, a redução do espaçamento entrelinhas pode se tornar uma estratégia de “ajuste fino”, podendo ou não proporcionar incrementos de alguma magnitude no rendimento.

Por fim, além dos efeitos diretos da redução do espaçamento entrelinhas no rendimento de grãos e outras características agrônômicas que foram avaliados no presente estudo, a literatura suporta que há diversas outras vantagens potenciais para sua utilização, as quais podem, possivelmente, serem verificadas em diferentes sistemas de manejo. Entre essas, podem-se citar: (i) diminuição do desenvolvimento e da infestação de plantas daninhas; (ii) viabilidade de se reduzir a dose de herbicidas, principalmente os pré-emergentes, diminuindo seus resíduos na superfície do solo e no lençol freático; (iii) aumento da habilidade competitiva de alguns genótipos de milho em suprimir o desenvolvimento de plantas invasoras; (iv) diminuição do risco de efeitos tóxicos provocados pela salinidade de adubos nas sementes, especialmente quando se utiliza cloreto de potássio como fonte de potássio, já que esse é distribuído em maior número de linhas numa lavoura; (v) maior eficiência na conservação do solo e da água, por antecipar o fechamento dos espaços entre as linhas de cultivo, diminuindo a ocorrência de escoamento superficial e as perdas de solo e de água por erosão e, (vi) aumento da eficiência de uso de equipamentos na propriedade, principalmente de semeadoras-adubadoras, por possibilitar o uso da mesma regulagem das entrelinhas para a semeadura das duas principais culturas de verão (milho e soja), sem necessidade de ajuste, o que demanda tempo para sua execução.

Visualizam-se alguns temas para dar continuidade a essa linha pesquisa:

- Estudo da evolução do acúmulo de massa seca da parte aérea em maior número de estádios de desenvolvimento da planta, para determinar a partir de que estágio iniciam-se as compensações entre ganhos de massa vegetal e perdas energéticas para manutenção das estruturas formadas. Isso se justifica porque os resultados dessa

característica, durante o desenvolvimento da planta, foram inconsistentes com os obtidos na avaliação realizada na colheita e com os de rendimento de grãos;

- Conduzir um estudo envolvendo o uso de épocas de semeadura, com variações na densidade de plantas e no espaçamento entrelinhas, buscando atingir tetos de rendimento de grãos diferenciados (6,0, 10,0 e 14,0 t ha⁻¹), já que pesquisas anteriores não verificaram interação desses fatores quando o rendimento foi próximo de 6,0 t ha⁻¹;

- Submeter híbridos comerciais desenvolvidos em diferentes épocas à redução do espaçamento entrelinhas, mantendo-se a densidade de plantas, para avaliar qual(is) característica(s) de planta e de dossel mais se associa(m) ao rendimento de grãos de milho;

- Conduzir estudos para avaliar as vantagens potenciais, como as relatadas pela literatura, quanto ao espaçamento entrelinhas reduzido, utilizando diferentes sistemas de manejo e híbridos com arquitetura de planta contrastantes;

- Investigar os efeitos da redução do espaçamento entrelinhas e do aumento da densidade de plantas na ocorrência de plantas de milho dominantes e dominadas, avaliando a partir de que estágio de desenvolvimento esta condição se estabelece e quais seus reflexos no rendimento de grãos;

- Estudar a importância da re-orientação das folhas de alguns híbridos de milho que melhoraram a distribuição azimutal de folhas em função da competição intra-específica que se estabelece entre indivíduos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.L.; MUNDSTOCK, C.M.; SANGOI, L. Evocação de afilhos pela qualidade da luz em plantas de trigo cultivadas em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v.12, p.25-36, 2001.

ARGENTA, G. et al. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.71-78, 2001a.

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001c. 112f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001b.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.1075-1084, 2001c.

ARGENTA, G. et al. Redução da dose de herbicida utilizada na cultura do milho através da adoção de menor espaçamento entre linhas. **Revista Plantio Direto**, Não-Me-Toque, v.58, p.66-69, 2000.

BALBINOT Jr., A.A.; FLECK, N.G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Planta Daninha**, v.23, Viçosa, p.415-421, 2005a.

BALBINOT, Jr., A.A.; FLECK, N.G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.245-252, 2005b.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.

BISOTTO, V. Algumas considerações sobre a cultura do milho. In: INDICAÇÕES técnicas para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO: Emater-RS : FecoAgro-RS, Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2001. 135p. (Boletim Técnico, 7).

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

BUGBEE, B.G.; SALISBURY, F.B. Exploring the limits of crop productivity. I. Photosynthetic efficiency of wheat in high irradiance environments. **Plant Physiology**, Rockville, v.88, p.869-878, 1988.

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, p.254-258, 1988.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.743-753, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra 2003/2004**. Sexto Levantamento de safra/agosto de 2004. Disponível em <http://www.conab.gov.br/download/safra20032004lev06.pdf>. Acesso em: 29 de dez. 2004.

DANGL, J.L.; DIETRICH, R.A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (Eds.). *Biochemistry and molecular biology of plants*. **American Society of plant physiologists**, Rockville, 2000. p.1044-1100.

DUVICK, D.N.; CASSMAN, K.G. Post-green revolution in yield potential of temperate maize in north-central United States. **Crop Science**, Madison, v.28, p.254-258, 1999.

EDMEADES, G.O.; DAYNARD, T.B. The development of plant-to-plant variability in maize at different planting densities. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v.59, p.561-576, 1979.

EDMEADES, G.O.; LAFITTE, H.R. Defoliation and plant density effects on maize selected for reduced plant height. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.850-857, 1993.

EIK, K.; HANWAY, J.J. Some factors affecting development and longevity of leaves of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.57, p.7-12, 1965.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.

EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1544-1551, 1999.

FLÉNET, F. et al. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.185-190, 1996.

FLESCH, R.D.; VIEIRA, L.C. Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no Oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.25-31, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT data 2005 - last updated February 2005**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/faostat/collections?Subset=agriculture>. Acesso em: 20 de jan. 2006.

FORCELLA, F., et al. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. **American Journal of Alternative Agriculture**, Arlington, v.7, p.161-167, 1992.

FORSTHOFER, E.L. **Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura**. 2004. 95f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FRANÇA, S. **Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e água na fotossíntese, crescimento e produção do milho, em diferentes sistemas de cultura**. 2003. 170f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.E.E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v.9, p.538-539, 1969.

FUNDAÇÃO RIO VERDE. **Resultados de pesquisa arroz, milho e soja – safra 2001/2**. Lucas do Rio Verde, 2002. 65p. (Boletim Técnico, 5).

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

GALLO, K.P.; DAUGHTRY, C.S.T.; WIEGAND, C.L. Errors in measuring absorbed radiation and computing crop radiation use efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, 1222-1228, 1993.

GIARDIN, PH.; TOLLENAAR, M. Effects of intra-specific interference on maize leaf azimuth. **Crop Science**, Madison, v.34, p.151-155, 1994.

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, p.40-46, 1998.

KARLEN, D.L.; CAMP, C.R. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.393-398, 1985.

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, p.1564-1569, 1994.

LINDQUIST, J.L.; MORTENSEN, D.A.; JOHNSON, B.E. Mechanisms of corn tolerance and velfetleaf suppressive ability. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.787-792, 1998.

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

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

MADONNI, G.A. et al. Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.70, p.1-13, 2001a.

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

MADONNI, G.A.; OTEGUI, M.A. Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.81, p.81-87, 1996.

MADONNI, G.A.; OTEGUI, M.A. Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.85, p.1-13, 2004.

MATZENAUER, R.; et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.85-92, 1995.

MATZENAUER, R.; MACHADO, F.A. Disponibilidade hídrica para a cultura do milho em anos de El Niño, La Niña e Neutros, nas regiões climáticas do Planalto Médio e Depressão Central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, p.67-74, 2002.

MELGES, E.; LOPES, N.F. ; OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.9, p.1073-1080, 1989.

MUNDSTOCK, C.M. **A evolução da genética e da tecnologia da cultura de milho no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul : Evangraf, 2004. 36p.

MUNDSTOCK, C.M. Milho: distribuição da distância entre linhas. **Lavoura arroeira**, Porto Alegre, n.299, p.28-29, 1977.

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F. da. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre : Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul : Evangraf, 2005. 51p.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R.; BENNETT, J.M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.338-343 1990.

MURPHY, S.D. et al. Effect of planting patterns and inter-row cultivation and competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. **Weed Science**, Lawrence, v.44, p.856-870, 1996.

NOÓDEN, L.D.; GUIAMÉT, J.J.; JOHN, I. Senescence mechanism. **Plant Physiology**, Rockville, v.101, p.746-753, 1997.

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

PEIXOTO, C.M. et al. Produtividade de híbridos de milho em função da densidade de plantas, em dois níveis de manejo da água e da adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.3, p.63-71, 1997.

PINAZZA, L.A. Perspectivas da cultura do milho e do sorgo no Brasil. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.1-10.

RAJCAN, I.; SWANTON, C.J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.71, p.139-150, 2001.

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO DO RS (50 e 33: 2005: Porto Alegre). **Indicações técnicas para cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul 2005/2006**. Porto Alegre: FEPAGRO : Emater-RS : ASCAR, 2005. 155p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 21p. (Special Report, 48). Disponível em: <http://maize.agron.iastate.edu/corntitle.html> Acesso em 19 jan. 2006.

RUSSEL, W.A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, Cambridge, v.46, n.1, p.245-298, 1991.

SANGOI, L. Arranjo de plantas e características agronômicas de genótipos de milho em dois níveis de fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.12-14, 1990.

SANGOI, L. et al. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v.61, p.101-110, 2002.

SANGOI, L. et al. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.861-869, 2001.

SANGOI, L. et al. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, p.1021-1029, 2003.

SANGOI, L. et al. Redução do espaçamento entrelinhas para cultivares de milho de ciclos contrastantes em duas épocas de semeadura. In: REUNIÃO ANUAL DO MILHO E SORGO, 42, 1997. Erechim, RS. **Anais...** Erechim : COTREL, Porto Alegre : EMATER : FEPAGRO, 1998. 382p. p.26-30.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.159-168, 2001.

SINCLAIR, T.R. Crop yield potential and fairy tales. In: BUXTON, D.R. et al. (Ed.). **International Crop Science I**. Madison: Crop Science Society of America, 1993. 895p. p.707-711.

SILVA, et al. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.585-592, 1999.

SILVA et al. **Importância do arranjo de plantas na definição da produtividade do milho**. Porto Alegre : Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul : Evangraf, 2006. 64p.

SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future genetic improvement of maize yields? In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. (Ed.). **Physiological basis for maize improvement**. Buenos Aires: Haworth Press, 2000. cap.1, p.1-14.

STEWART, D.W.; DWYER, L.M. Mathematical characterization of leaf shape and area of maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v.39, p.422-427, 1999.

STRIEDER et al. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2006. (Artigo submetido em 14/12/2005).

TEASDALE, J.R. Influence of corn (*Zea mays*) population and row spacing on corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) yield. **Weed Science**, Lawrence, v.46, p.447-453, 1998.

TEASDALE, J.R. Influence of narrow row/high population corn on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v.9, p.113-118, 1995.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.

TETHIO-KAGHO, F.P.; GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. I - Canopy development, light relationships, and vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.935-940, 1988.

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

TOLLENAAR, M. et al. Effect of crop density on weed interference in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.591-595, 1994.

TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A.; NISSANKA, S.P. Grain yield is reduced more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, p.239-246, 1997.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Agronomy Journal**, Madison, v.39, p.1597-1604, 1999.

TSAI, C.Y. et al. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays* L.) grain yield, nitrogen efficiency and grain quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Bognor Regis, v.58, p.1-8, 1992.

VALENTINUZ, O.R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v.44, p.827-834, 2004.

WESTGATE, M.E. et al. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation-use efficiency and grain yield. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.49, p.249-258, 1997.

6. APÊNDICES

Apêndice 1 – Resumo da análise de variância dos experimentos com sistemas de manejo médio, alto e muito alto, para as características avaliadas e relacionadas ao Capítulo I. Eldorado do Sul-RS, 2003/04 e 2004/05

| Causas de variação | GL | Quadrados médios | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Índice de área folhar | | | | | Senescência folhar | | | Radiação fotossinteticamente ativa interceptada | | | | | |
| | | V6 | V9 | V15 | R1 | R3 | V15 | R1 | R3 | V6 | V9 | V12 | V15 | R2 | |
| SISTEMA DE MANEJO MÉDIO – 2004/05 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | --- | 0,51327942* | 1,68477055 ^{ns} | 1,29433033* | 1,37605188 ^{ns} | 242,3635139 ^{ns} | 7,55499281 ^{ns} | 285,464653 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| Híbrido(H) | 1 | --- | 0,00004942 ^{ns} | 1,90264720* | 5,72765538* | 2,48906341* | 751,0842864 ^{ns} | 19,93893674 ^{ns} | 2483,804560 * | --- | --- | --- | --- | --- | |
| Densidade de plantas (D) | 1 | --- | 1,83986123* | 4,69756266* | 4,21590597 ^{ns} | 1,02743665 ^{ns} | 402,7835546 ^{ns} | 36,56236063 ^{ns} | 313,678003 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | --- | 0,03015418 ^{ns} | 0,13569616 ^{ns} | 0,06672414 ^{ns} | 0,56323410 ^{ns} | 234,1347809 ^{ns} | 14,08368754 ^{ns} | 504,036877 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| E x H | 1 | --- | 0,12880605 ^{ns} | 0,07585235 ^{ns} | 0,00640861 ^{ns} | 0,39092498 ^{ns} | 418,7956409 ^{ns} | 21,60439960 ^{ns} | 524,659254 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| E x D | 1 | --- | 0,22236444* | 0,53720672 ^{ns} | 1,99885411* | 1,76420922* | 275,7950823 ^{ns} | 0,83345977 ^{ns} | 433,010581 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| H x D | 1 | --- | 0,16368252 ^{ns} | 0,18927059 ^{ns} | 0,76275335 ^{ns} | 0,07213616 ^{ns} | 149,0988016 ^{ns} | 2,02623833 ^{ns} | 137,790427 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| E x H x D | 1 | --- | 0,12037551 ^{ns} | 0,45546010 ^{ns} | 0,18394024 ^{ns} | 0,03403503 ^{ns} | 525,5684269 ^{ns} | 3,29258822 ^{ns} | 182,031999 ^{ns} | --- | --- | --- | --- | --- | |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de variação (%) | | --- | 13,4 | 13,7 | 13,3 | 25,3 | 40,5 | 7,8 | 19,0 | --- | --- | --- | --- | --- | |
| SISTEMA DE MANEJO ALTO – 2004/05 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | | 0,05645297 ^{ns} | 0,83467221* | 2,65459288 * | 3,11045789 ^{ns} | 3,08982505 ^{ns} | 4,06324657 ^{ns} | 6,6139733 ^{ns} | 118,3099900 ^{ns} | 264,2293989* | 215,3965006 * | 346,2531776 * | 337,2726790 * | 729,733549 * |
| Híbrido(H) | 1 | | 0,70170361* | 3,46975509* | 8,69690233* | 10,79450723* | 0,04975043 ^{ns} | 56,10480712* | 133,488024* | 214,1201714 ^{ns} | 7,1659267 * | 44,7585026 * | 0,5593142 ^{ns} | 0,0042721 ^{ns} | 0,892810 ^{ns} |
| Densidade de plantas (D) | 1 | | 0,00016025 ^{ns} | 0,05862553 ^{ns} | 0,00411390 ^{ns} | 0,00146206 ^{ns} | 1,28525064 ^{ns} | 14,43467440* | 6,6229408 ^{ns} | 94,8235149 ^{ns} | 47,3981563 * | 210,5917814 * | 36,0107121 * | 13,2266510 * | 0,204144 ^{ns} |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | | 0,29626164* | 1,05066940* | 2,01650188* | 27,54708291* | 18,53148203* | 30,86385980* | 54,2528331* | 241,5050081 ^{ns} | 205,5904247 * | 99,7628066 * | 27,2847412 * | 5,3427337 * | 0,189738 ^{ns} |
| E x H | 1 | | 0,03845853 ^{ns} | 0,13115320 ^{ns} | 0,90555066 ^{ns} | 2,01628398 ^{ns} | 0,44259274 ^{ns} | 0,77141798 ^{ns} | 0,3681900 ^{ns} | 93,4823859 ^{ns} | 35,2836404 * | 80,1696287 * | 7,8063026 ^{ns} | 7,5341849 * | 0,024668 ^{ns} |
| E x D | 1 | | 0,01616494 ^{ns} | 0,21832573 ^{ns} | 1,51650188 ^{ns} | 2,53141518 ^{ns} | 0,00301608 ^{ns} | 1,46150018 ^{ns} | 0,0348501 ^{ns} | 103,2704040 ^{ns} | 14,2572169 * | 6,1010292 ^{ns} | 23,7876190 * | 0,5369417 * | 11,376174 * |
| H x D | 1 | | 0,00231801 ^{ns} | 0,42996298 ^{ns} | 2,19379386 * | 4,76571740* | 5,87949366* | 0,01832374 ^{ns} | 2,1329568 ^{ns} | 10,2703927 ^{ns} | 30,2720882 * | 0,0895636 ^{ns} | 5,0457812 ^{ns} | 0,2932517 ^{ns} | 4,358086 * |
| E x H x D | 1 | | 0,09316549 ^{ns} | 0,09411244 ^{ns} | 0,50590815 ^{ns} | 0,08493648 ^{ns} | 0,16827733 ^{ns} | 7,56063400 ^{ns} | 4,2631220 ^{ns} | 59,6317332 ^{ns} | 0,0334920 ^{ns} | 42,2509138 * | 114,4854438 * | 7,1584787 * | 0,002652 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de variação (%) | | 14,8 | 16,1 | 14,1 | 14,8 | 24,6 | 6,5 | 5,7 | 15,4 | 4,2 | 3,6 | 3,6 | 1,1 | 1,3 | |
| SISTEMA DE MANEJO MUITO ALTO – 2003/04 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | --- | 0,00592685 ^{ns} | 0,02521650 ^{ns} | 0,23653363 ^{ns} | 0,34856253 ^{ns} | 1005,541824 ^{ns} | 68988,7605 ^{ns} | 81292,529 ^{ns} | 4,30135004 * | 462,160441 * | 69,8079543 * | 1586,81579* | 188,2091242 * | |
| Híbrido(H) | 1 | --- | 0,08972551 * | 0,28857663 ^{ns} | 17,66603544 * | 13,00346526 * | 1017,286895 ^{ns} | 172689,7680 ^{ns} | 1539479,465* | 13,82024788 * | 8,9160806 * | 4,1758392 * | 0,787424 ^{ns} | 1,6158232 * | |
| Densidade de plantas (D) | 1 | --- | 0,24712416 * | 3,57201846 * | 8,76720668 * | 8,56295795* | 790,577907 ^{ns} | 4005,3488 ^{ns} | 26957,549 ^{ns} | 1,20771772 ^{ns} | 14,4902759 * | 0,3898514 ^{ns} | 0,066914 ^{ns} | 0,3412450 * | |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | --- | 0,00661021 ^{ns} | 0,33685224 ^{ns} | 0,01170342 ^{ns} | 0,10044553 ^{ns} | 159,556782 ^{ns} | 50273,0341 ^{ns} | 90470,350 ^{ns} | 37,42820970 * | 10,2885610 * | 0,0188300 ^{ns} | 0,869523 ^{ns} | 0,0578871 ^{ns} | |
| E x H | 1 | --- | 0,00059632 ^{ns} | 0,03586270 ^{ns} | 0,11764652 ^{ns} | 0,06486870 ^{ns} | 916,401563 ^{ns} | 3275,8442 ^{ns} | 29,963 ^{ns} | 84,90878296 * | 8,5595180 * | 0,0791775 ^{ns} | 0,249461 ^{ns} | 1,1626743 * | |
| E x D | 1 | --- | 0,00615640 ^{ns} | 0,34356162 * | 0,03649144 ^{ns} | 0,03195865 ^{ns} | 179,290782 ^{ns} | 392,8405 ^{ns} | 61698,380 ^{ns} | 10,34959766 * | 10,3699863 * | 1,3038662 ^{ns} | 6,545296 * | 0,0001560 ^{ns} | |
| H x D | 1 | --- | 0,00428889 ^{ns} | 0,04428793 ^{ns} | 0,78334873 * | 0,67951444 ^{ns} | 382,226688 ^{ns} | 44047,3460 ^{ns} | 59768,506 ^{ns} | 57,85054705 * | 6,3798383 * | 4,2000403 * | 2,066033 ^{ns} | 1,2971065 * | |
| E x H x D | 1 | --- | 0,01061270 ^{ns} | 0,24821015 ^{ns} | 0,32268590 ^{ns} | 0,33431846 ^{ns} | 352,882820 ^{ns} | 120738,2085 ^{ns} | 19903,866 ^{ns} | 7,16951557* | 0,8107771 ^{ns} | 6,6289459 * | 28,153622 * | 4,0083453 * | |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de variação (%) | | --- | 13,9 | 11,3 | 8,1 | 8,8 | 22,5 | 35,2 | 26,7 | 3,7 | 3,6 | 4,0 | 1,9 | 0,3 | |

⁽¹⁾ Determinação não realizada nesse estágio de desenvolvimento e/ou estação de crescimento; *Significativo pelo teste F(P<0,05); ^{ns} Não significativo pelo teste F(p<0,05).

Apêndice 2 - Resumo da análise de variância dos experimentos com sistemas de manejo médio, alto e muito alto, realizados na estação de crescimento 2003/04, para as características avaliadas e relacionadas ao Capítulo II. Eldorado do Sul-RS

| Causas de variação | GL | Quadrados médios | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | Rendimentos de massa seca nos estádios | | | Rendimento de grãos | Nº espigas m ⁻² | Nº grãos m ⁻² | Nº espigas pl ⁻¹ | Peso do grão | Índice de colheita aparente | Teor de proteína dos grãos |
| | | V11 | R1 | Colheita | | | | | | | |
| SISTEMA DE MANEJO MÉDIO | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | 633691,30 ^{ns} | 780210,03 ^{ns} | 573278,036 ^{ns} | 0,65670938 ^{ns} | 0,63730366 ^{ns} | 164652,8610 ^{ns} | 0,00763155 ^{ns} | 277,891638 ^{ns} | 0,00099906 ^{ns} | 3,37309339 ^{ns} |
| Híbrido(H) | 1 | 1851,93 ^{ns} | 4419,29 ^{ns} | 30512,003 ^{ns} | 0,57410420 ^{ns} | 0,40745673 ^{ns} | 434420,3804* | 0,01125511 ^{ns} | 1843,383301* | 0,00663299* | 2,47940441 ^{ns} |
| Densidade de plantas (D) | 1 | 357540,82 ^{ns} | 874567,70 ^{ns} | 5542359,821* | 0,83221983 ^{ns} | 5,91788763* | 370039,7962* | 0,00136556 ^{ns} | 956,976563* | 0,00133337* | 11,71956493* |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | 45330076,22* | 45292239,63* | 5042599,427* | 0,02515762 ^{ns} | 3,84063375* | 98954,8028 ^{ns} | 0,02757270* | 1599,587501* | 0,00046403 ^{ns} | 21,13193048* |
| E x H | 1 | 209779,91 ^{ns} | 548945,25 ^{ns} | 429904,444 ^{ns} | 1,56647700 ^{ns} | 0,70588186 ^{ns} | 120886,4128 ^{ns} | 0,00681658 ^{ns} | 61,065063 ^{ns} | 0,00046843 ^{ns} | 0,07588648 ^{ns} |
| E x D | 1 | 1290019,53* | 3434649,55* | 122248,190 ^{ns} | 0,70215374 ^{ns} | 0,72048595 ^{ns} | 130566,0085 ^{ns} | 0,00205623 ^{ns} | 71,625488 ^{ns} | 0,00001993 ^{ns} | 10,98423280* |
| H x D | 1 | 480889,31 ^{ns} | 20639,80 ^{ns} | 718256,045 ^{ns} | 0,07630382 ^{ns} | 0,45650654 ^{ns} | 48369,5187 ^{ns} | 0,00107246 ^{ns} | 109,945913 ^{ns} | 0,00000896 ^{ns} | 1,37570728 ^{ns} |
| E x H x D | 1 | 1027707,52 ^{ns} | 70895,98 ^{ns} | 16914,425 ^{ns} | 0,07283237 ^{ns} | 0,15102739 ^{ns} | 5675,8516 ^{ns} | 0,00016768 ^{ns} | 5,383301 ^{ns} | 0,00055413 ^{ns} | 2,70157079 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de variação (%) | | 18,4 | 14,3 | 10,7 | 11,3 | 9,2 | 10,4 | 6,7 | 3,5 | 3,9 | 14,9 |
| SISTEMA DE MANEJO ALTO | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | 696585,43 ^{ns} | 144239,40 ^{ns} | 986313,33 ^{ns} | 0,53621067 ^{ns} | 0,13604055 ^{ns} | 5516,859 ^{ns} | 0,00167633 ^{ns} | 170,224603 ^{ns} | 0,00012352 ^{ns} | 1,87155776 ^{ns} |
| Híbrido(H) | 1 | 2017790,16* | 60326,25 ^{ns} | 282423,10 ^{ns} | 0,23450796 ^{ns} | 0,05991621 ^{ns} | 50256,539 ^{ns} | 0,00458129 ^{ns} | 15,366582 ^{ns} | 0,01079871* | 3,0860946 ^{ns} |
| Densidade de plantas (D) | 1 | 165641,64 ^{ns} | 5318419,46* | 18050660,60* | 1,39163234 ^{ns} | 9,29559927* | 905961,612* | 0,00090129 ^{ns} | 1941,034395* | 0,00158294* | 33,58775427* |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | 49354791,31* | 63772419,73* | 3508766,06* | 9,13799154* | 8,38929691* | 1590207,440* | 0,00248708 ^{ns} | 428,183532* | 0,00005134 ^{ns} | 3,85661938 ^{ns} |
| E x H | 1 | 458248,14 ^{ns} | 679946,71 ^{ns} | 285720,75 ^{ns} | 1,05232576 ^{ns} | 0,63553589 ^{ns} | 54340,787 ^{ns} | 0,00001476 ^{ns} | 82,738032 ^{ns} | 0,00021269 ^{ns} | 24,39849913* |
| E x D | 1 | 246042,48 ^{ns} | 356519,45 ^{ns} | 21,53 ^{ns} | 0,76725061 ^{ns} | 0,14151135 ^{ns} | 611,137 ^{ns} | 0,00378369 ^{ns} | 331,821001 ^{ns} | 0,00030733 ^{ns} | 0,35637566 ^{ns} |
| H x D | 1 | 136435,44 ^{ns} | 299340,18 ^{ns} | 147662,16 ^{ns} | 0,06839579 ^{ns} | 0,09152016 ^{ns} | 25748,571 ^{ns} | 0,00036671 ^{ns} | 381,052520 ^{ns} | 0,00000053 ^{ns} | 6,61168213 ^{ns} |
| E x H x D | 1 | 443742,82 ^{ns} | 1177231,22 ^{ns} | 592348,10 ^{ns} | 0,00121795 ^{ns} | 0,03106308 ^{ns} | 9562,484 ^{ns} | 0,00336784 ^{ns} | 105,978601 ^{ns} | 0,00000735 ^{ns} | 3,16045571 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de variação (%) | | 15,2 | 11,9 | 7,6 | 8,8 | 10,2 | 9,2 | 4,8 | 3,1 | 3,5 | 21,8 |
| SISTEMA DE MANEJO MUITO ALTO | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | 1343686,3 ^{ns} | 820599,2 ^{ns} | 1555079,01 ^{ns} | 0,71098089 ^{ns} | 0,10610349 ^{ns} | 54141,975 ^{ns} | 0,00025377 ^{ns} | 72,390956 ^{ns} | 0,00057179 ^{ns} | 5,15872979 ^{ns} |
| Híbrido(H) | 1 | 10337746,6* | 1380054,2 ^{ns} | 335,18 ^{ns} | 0,00007934 ^{ns} | 0,11105653 ^{ns} | 3247,436 ^{ns} | 0,00058678 ^{ns} | 23,290313 ^{ns} | 0,00035463 ^{ns} | 4,90131301 ^{ns} |
| Densidade de plantas (D) | 1 | 10567784,8* | 297014,2 ^{ns} | 20619727,81* | 10,56842501* | 12,74524065* | 2406999,278* | 0,00147821* | 1592,172450* | 0,00174303 ^{ns} | 0,72968283 ^{ns} |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | 108792773,7* | 131848976,5* | 72277,62 ^{ns} | 2,34405753* | 0,35501411 ^{ns} | 233835,591* | 0,00040265 ^{ns} | 3,631513 ^{ns} | 0,00024873 ^{ns} | 1,28107268 ^{ns} |
| E x H | 1 | 582356,6 ^{ns} | 2477464,1 ^{ns} | 183124,04 ^{ns} | 0,15843886 ^{ns} | 0,08575098 ^{ns} | 57359,247 ^{ns} | 0,00003667 ^{ns} | 65,837812 ^{ns} | 0,00052091 ^{ns} | 1,10989557 ^{ns} |
| E x D | 1 | 619349,7 ^{ns} | 67287,9 ^{ns} | 456265,15 ^{ns} | 0,20172870 ^{ns} | 0,13393412 ^{ns} | 282,062 ^{ns} | 0,00016451 ^{ns} | 96,883200 ^{ns} | 0,00003116 ^{ns} | 0,14214632 ^{ns} |
| H x D | 1 | 10541940,5* | 315430,5 ^{ns} | 623707,05 ^{ns} | 0,28705735 ^{ns} | 0,00225751 ^{ns} | 16500,103 ^{ns} | 0,00011156 ^{ns} | 7,353612 ^{ns} | 0,00499262* | 1,57482852 ^{ns} |
| E x H x D | 1 | 44392,7 ^{ns} | 1768907,8 ^{ns} | 53386,54 ^{ns} | 0,19050752 ^{ns} | 0,00396549 ^{ns} | 18465,718 ^{ns} | 0,00001799 ^{ns} | 0,296450 ^{ns} | 0,00023259 ^{ns} | 1,41515920 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | |
| Coefficiente de variação (%) | | 18,0 | 15,2 | 10,3 | 5,0 | 4,5 | 5,3 | 1,7 | 2,1 | 4,4 | 16,0 |

*Significativo pelo teste F(P<0,05); ^{ns} Não significativo pelo teste F(p<0,05).

Apêndice 3 – Resumo da análise de variância dos experimentos com sistemas de manejo médio, alto e muito alto, realizados na estação de crescimento 2004/05, para as características avaliadas e relacionadas ao Capítulo II. Eldorado do Sul-RS

| Causas de variação | GL | Quadrados médios | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | | Rendimentos de massa seca nos estádios | | | Rendimento de grãos | Nº espigas m ⁻² | Nº grãos m ⁻² | Nº espigas pl ⁻¹ | Peso do grão | Índice de colheita aparente | Teor de proteína dos grãos |
| | | V11 | R1 | Colheita | | | | | | | |
| SISTEMA DE MANEJO MÉDIO | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | --- | 995759,856 ^{ns} | 1231285,83 ^{ns} | 736935,44 ^{ns} | 0,65698274 ^{ns} | 101210,521 ^{ns} | 0,02019078 ^{ns} | 0,00039813 ^{ns} | 0,00603427 ^{ns} | 1,94925973 ^{ns} |
| Híbrido(H) | 1 | --- | 60339,038 ^{ns} | 2569538,60 ^{ns} | 14167484,49* | 10,03289117* | 2071954,045* | 0,41286970* | 0,00242594* | 0,06325531* | 0,1374880 ^{ns} |
| Densidade de plantas (D) | 1 | --- | 6895180,382* | 16236169,95 ^{ns} | 28379,36 ^{ns} | 1,49594506 ^{ns} | 1552,071 ^{ns} | 0,03311826 ^{ns} | 0,00021798 ^{ns} | 0,00540636 ^{ns} | 20,08192907* |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | --- | 115891,032 ^{ns} | 944,97 ^{ns} | 535307,81 ^{ns} | 1,30207065 ^{ns} | 59416,138 ^{ns} | 0,00540574 ^{ns} | 0,00000278 ^{ns} | 0,00383391 ^{ns} | 3,47014485 ^{ns} |
| E x H | 1 | --- | 742691,010 ^{ns} | 47896,74 ^{ns} | 293843,88 ^{ns} | 0,02618730 ^{ns} | 17730,950 ^{ns} | 0,00821020 ^{ns} | 0,00010380 ^{ns} | 0,00019992 ^{ns} | 10,80382301* |
| E x D | 1 | --- | 67827,049 ^{ns} | 15594199,71 ^{ns} | 333267,93 ^{ns} | 0,53466247 ^{ns} | 70749,844 ^{ns} | 0,00385242 ^{ns} | 0,00004781 ^{ns} | 0,00038657 ^{ns} | 2,74973049 ^{ns} |
| H x D | 1 | --- | 1929163,584 ^{ns} | 377174,11 ^{ns} | 41475,57 ^{ns} | 1,87804338 ^{ns} | 928,957 ^{ns} | 0,00195668 ^{ns} | 0,00012491 ^{ns} | 0,00093649 ^{ns} | 10,31896773* |
| E x H x D | 1 | --- | 2872474,922 ^{ns} | 3984627,68 ^{ns} | 59412,57 ^{ns} | 0,63172807 ^{ns} | 37669,690 ^{ns} | 0,00062165 ^{ns} | 0,00093247 ^{ns} | 0,00465532 ^{ns} | 8,42212139 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de variação (%) | | --- | 19,2 | 22,8 | 34,0 | 19,2 | 31,4 | 14,8 | 9,5 | 11,8 | 13,6 |
| SISTEMA DE MANEJO ALTO | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | --- | 9142674,87* | 25637250,69 ^{ns} | 1188589,663 ^{ns} | 0,13045156 ^{ns} | 297935,1356* | 0,00058962 ^{ns} | 0,00378471 ^{ns} | 0,00117940 ^{ns} | 2,78899761 ^{ns} |
| Híbrido(H) | 1 | --- | 6805743,95 ^{ns} | 1772698,79 ^{ns} | 1963762,104* | 0,09394339 ^{ns} | 599376,1550* | 0,00153924 ^{ns} | 0,00731087 ^{ns} | 0,00242273 ^{ns} | 0,27317809 ^{ns} |
| Densidade de plantas (D) | 1 | --- | 16344903,13* | 30167070,04 ^{ns} | 346083,226 ^{ns} | 19,28550328* | 691030,4878* | 0,00260184* | 0,01542404* | 0,00370859 ^{ns} | 36,12589383* |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | --- | 35127914,26* | 1130786,40 ^{ns} | 666887,487 ^{ns} | 0,24006977 ^{ns} | 55827,2820 ^{ns} | 0,00396697* | 0,00203869 ^{ns} | 0,00121985 ^{ns} | 0,28854964 ^{ns} |
| E x H | 1 | --- | 327038,28 ^{ns} | 327542,77 ^{ns} | 88509,661 ^{ns} | 0,04860350 ^{ns} | 90107,0459 ^{ns} | 0,00129086 ^{ns} | 0,00059151 ^{ns} | 0,00105586 ^{ns} | 0,10030900 ^{ns} |
| E x D | 1 | --- | 25780687,70* | 293514,03 ^{ns} | 287917,153 ^{ns} | 0,33470804* | 30924,3499 ^{ns} | 0,00001517 ^{ns} | 0,00219198 ^{ns} | 0,00015262 ^{ns} | 0,04832637 ^{ns} |
| H x D | 1 | --- | 4088012,70 ^{ns} | 606663,50 ^{ns} | 3839652,809* | 0,03239017 ^{ns} | 92977,681 ^{ns} | 0,00025787 ^{ns} | 0,00233214 ^{ns} | 0,00011397 ^{ns} | 1,59384597 ^{ns} |
| E x H x D | 1 | --- | 3403,13 ^{ns} | 2605943,60 ^{ns} | 537922,914 ^{ns} | 0,00005315 ^{ns} | 232286,5633 ^{ns} | 0,00004592 ^{ns} | 0,00131504 ^{ns} | 0,00019746 ^{ns} | 0,08605828 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de variação (%) | | --- | 13,6 | 17,8 | 6,2 | 4,2 | 7,3 | 2,4 | 14,4 | 5,4 | 15,6 |
| SISTEMA DE MANEJO MUITO ALTO | | | | | | | | | | | |
| Blocos | 3 | --- | 2900814,11 ^{ns} | 77359904,3* | 2327498,89 ^{ns} | 0,14793576 ^{ns} | 272203,144 ^{ns} | 0,00005712 ^{ns} | 0,00091041 ^{ns} | 0,00362517 ^{ns} | 0,75749127 ^{ns} |
| Híbrido(H) | 1 | --- | 18606906,30* | 442252,5 ^{ns} | 10391061,16 ^{ns} | 0,78853906* | 3181343,613* | 0,00007530 ^{ns} | 0,00409242* | 0,01140362* | 19,89365986* |
| Densidade de plantas (D) | 1 | --- | 42680137,94* | 276050833,1* | 1565088,45 ^{ns} | 26,15759435* | 1097334,902* | 0,01129828* | 0,00282487* | 0,00059098 ^{ns} | 6,39333858* |
| Espaçamento entrelinhas (E) | 1 | --- | 7297393,80 ^{ns} | 116219972,1* | 12442912,24* | 0,28424760 ^{ns} | 897711,717 ^{ns} | 0,00215045 ^{ns} | 0,00003356 ^{ns} | 0,00188444 ^{ns} | 0,79419547 ^{ns} |
| E x H | 1 | --- | 9786164,50* | 3967480,4 ^{ns} | 1187035,20 ^{ns} | 0,23796972 ^{ns} | 12904,862 ^{ns} | 0,00295610 ^{ns} | 0,00066931 ^{ns} | 0,00100784 ^{ns} | 0,45526567 ^{ns} |
| E x D | 1 | --- | 336456,30 ^{ns} | 1106263,0 ^{ns} | 18664488,97* | 0,43312557 ^{ns} | 145684,306 ^{ns} | 0,00320628 ^{ns} | 0,00012596 ^{ns} | 0,00276893 ^{ns} | 0,00711078 ^{ns} |
| H x D | 1 | --- | 734699,27 ^{ns} | 2654683,2 ^{ns} | 65758,25 ^{ns} | 0,00005688 ^{ns} | 3274,805 ^{ns} | 0,00004223 ^{ns} | 0,00006694 ^{ns} | 0,00104616 ^{ns} | 2,14643778 ^{ns} |
| E x H x D | 1 | --- | 884865,67 ^{ns} | 3198157,6 ^{ns} | 7023640,80 ^{ns} | 0,02544721 ^{ns} | 155227,392 ^{ns} | 0,00053970 ^{ns} | 0,00005792 ^{ns} | 0,00079797 ^{ns} | 0,07768281 ^{ns} |
| Resíduo | 21 | | | | | | | | | | |
| Total | 31 | | | | | | | | | | |
| Coeficiente de variação (%) | | --- | 11,5 | 15,8 | 16,7 | 5,2 | 14,2 | 4,5 | 7,5 | 7,4 | 11,3 |

⁽¹⁾ Determinação não realizada nesse estádio de desenvolvimento; *Significativo pelo teste F(P<0,05); ^{ns} Não significativo pelo teste F(p<0,05).

7. VITAE

Mércio Luiz Strieder, filho de Hilário e Maria Dolores Strieder, nasceu em 03 de fevereiro de 1978, no município de Itapiranga, Santa Catarina. Realizou seus estudos de ensino básico no Colégio Estadual Padre Balduino Rambo, em Tunápolis-SC. Criado no meio rural, no município de Tunápolis-SC, desde sua infância sempre demonstrou interesse pela atividade agropecuária. Assim, aos 14 anos, iniciou seus estudos nessa área no Colégio Agrícola São José, em Itapiranga-SC, onde concluiu o curso de Técnico em Agropecuária no ano de 1996.

Após três anos de atividades profissionais junto à Granja Strieder, de propriedade da família, em Tunápolis-SC, em 1999 ingressou na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) onde, no ano de 2004, graduou-se Engenheiro Agrônomo. Durante o curso de graduação, desenvolveu atividades como estudante de iniciação científica, sendo bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), junto ao Departamento de Plantas de Lavoura. Essas atividades foram desenvolvidas durante o período de julho de 1999 a fevereiro de 2004.

Logo após o término do curso de Agronomia, iniciou o curso de mestrado junto ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na UFRGS, na área de concentração Fisiologia e Manejo de Plantas Cultivadas, como bolsista do CNPq, dando continuidade a diversos trabalhos com a cultura do milho, com a qual já vinha trabalhando. Durante o curso de mestrado, assim como no período de iniciação científica, as atividades foram desenvolvidas sob orientação do Professor Paulo Regis Ferreira da Silva.