

Características de dossel e rendimento de milho em diferentes espaçamentos e sistemas de manejo

Mércio Luiz Strieder⁽¹⁾, Paulo Regis Ferreira da Silva⁽¹⁾, Lisandro Rambo⁽²⁾, Homero Bergamaschi⁽¹⁾, Genei Antonio Dalmago⁽³⁾, Paulo César Endrigo⁽¹⁾ e Douglas Batista Jandrey⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Caixa Postal 15.100, CEP 90970-100 Porto Alegre, RS. E-mail: domercio@gmail.com, paulo.silva@ufrgs.br, homerobe@ufrgs.br, endrigopc@yahoo.com.br, douglas.jandrey@terra.com.br
⁽²⁾Syngenta Seeds Ltda., Caixa Postal 585, CEP 38400-974 Uberlândia, MG. E-mail: lisandro.rambo@syngenta.com ⁽³⁾Embrapa Trigo, BR 285, Km 294, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: dalmago@cnpt.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da redução do espaçamento no índice de área foliar, na senescência foliar, na radiação fotossinteticamente ativa interceptada e no rendimento de grãos de dois híbridos de milho em três sistemas de manejo. Três experimentos em delineamento em blocos ao acaso, em fatorial 2x2x2 foram conduzidos em campo em Eldorado do Sul, RS. Em cada experimento, os tratamentos constaram de espaçamentos de 0,4 e 0,8 m; híbrido de folha ereta e de folha decumbente; e duas densidades (5 e 6,6 plantas m⁻², 6,2 e 8,3 plantas m⁻² e 6,5 e 8 plantas m⁻², respectivamente, nos sistemas de manejo médio, alto e muito alto). Níveis de adubação e disponibilidade hídrica variaram com o sistema de manejo. O índice de área foliar e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada variam com o espaçamento, mas dependem de estágio fenológico, densidade e arquitetura foliar e sistema de manejo. A senescência foliar não variou de acordo com o espaçamento, independentemente de sistema de manejo, densidade e híbrido. Menores espaçamentos aumentaram o rendimento apenas no sistema de manejo muito alto. As características de dossel não seguiram o comportamento do rendimento de grãos.

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

Canopy traits and corn yield under different row spacings and management systems

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of narrow row spacing on leaf area index, leaf senescence, interception of photosynthetically active radiation and on grain yield of two corn hybrids grown in three management systems. Three experiments in randomized block design, in 2x2x2 factorial array, were carried out in Eldorado do Sul, RS, Brazil. In each experiment, treatments consisted of 0.4 and 0.8 m row spacing; erect and decumbent leaves hybrids; and two plant densities (5 and 6.6 plants m⁻²; 6.2 and 8.3 plants m⁻²; and 6.5 and 8 plants m⁻², for medium, high and very high management levels, respectively). Levels of fertilizer and water availability varied according to the management system. Leaf area index and interception of photosynthetically active radiation change with row spacing, but depended on the phenological stages, plant density, leaf architecture and management system. Leaf senescence was not affected by row spacing, regardless of management systems, plant density and hybrid. Narrow row spacing increased grain yield only in the very high management system. Canopy traits did not follow the grain yield performance.

Index terms: *Zea mays*, plant density, hybrids, leaf area index, irrigation, fertilizer levels.

Introdução

A manipulação do arranjo de plantas, pela alteração no espaçamento entre linhas, densidade de plantas ou distribuição na linha, é uma das práticas de manejo mais importantes para otimizar o rendimento de grãos em milho (Silva et al., 2006), pois afeta a radiação

fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}), um dos principais determinantes da produtividade (Ottman & Welch, 1989) quando outros fatores são favoráveis. O aumento de RFA_{int} com melhor distribuição de plantas na área está relacionado ao maior índice de área foliar (IAF) (Flénet et al., 1996; Maddonni & Otegui, 1996), pois aumenta a atividade fotossintética e a produção de

matéria seca por planta (Sangoi et al., 2001). Entretanto, eventuais benefícios no rendimento dependem da melhor distribuição da radiação solar no dossel e da sua eficiência de uso e de conversão em biomassa (Argenta et al., 2001).

A redução do espaçamento e o aumento da densidade aumentam RFA_{int} e alteram a estrutura do dossel quanto ao tamanho, forma e orientação de folhas, influenciando o IAF, o número e a área individual da folha, o ângulo de inserção, a distribuição foliar no dossel, a taxa de senescência e a relação RFA_{int} e IAF (Tethio-Kagho & Gardner, 1988; Flénet et al., 1996). Além disso, o arranjo de plantas influencia a qualidade de luz no dossel, sobretudo no extrato inferior. Com disposição mais uniforme de plantas na área, há maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na do vermelho extremo (VE) (Kasperbauer & Karlen, 1994; Almeida et al., 2000). Em densidades superiores a 6 plantas m^{-2} , as plantas de milho recebem mais luz VE refletida, o que aumenta a relação VE/V e altera a habilidade competitiva destas com as plantas do entorno. Assim, há modificações na arquitetura foliar e no desenvolvimento da planta, com maior alongação de entrenós (colmos mais compridos, porém de menor diâmetro), dominância apical e altura de inserção de espiga (Almeida et al., 2000), folhas mais compridas e finas e maior abscisão radical (Kasperbauer & Karlen, 1994).

O IAF tem forte relação com a RFA_{int} e varia com o genótipo, densidade e condições edafoclimáticas (Tollenaar et al., 1994; Maddonni & Otegui, 1996). O incremento na densidade, embora aumente IAF e RFA_{int} (Silva et al., 2006), diminui a assimilação líquida de CO_2 e acelera a senescência e o sombreamento foliar (Tethio-Kagho & Gardner, 1988), sobretudo no extrato inferior do dossel.

Os genótipos de milho possuem arquitetura foliar distinta, devido a diferenças em estatura, número de folhas, IAF, ângulo de inserção e distribuição azimutal de folhas no colmo (Maddonni & Otegui, 1996). Alguns genótipos modificam a distribuição azimutal de folhas sob altas densidades ou sob espaçamentos reduzidos. Na densidade de 10 plantas m^{-2} , folhas do extrato superior são mais perpendiculares à linha de semeadura do que na de 4 plantas m^{-2} (Girardin & Tollenaar, 1994). Mantendo a densidade, estes autores verificaram também folhas mais perpendiculares à linha de semeadura no maior espaçamento (0,76 m) em relação ao menor (0,5 m), mas ao contrário da densidade, o

espaçamento entre linhas geralmente tem pouco efeito no IAF. Assim, Maddonni et al. (2001) classificam os genótipos de milho em “plásticos”, com habilidade de modificar a orientação foliar, e “rígidos”, quando não apresentam essa habilidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar efeitos da redução do espaçamento entre linhas no IAF, na senescência foliar, na RFA_{int} e no rendimento de grãos de dois híbridos de milho com arquitetura de planta com folha ereta e decumbente, em duas densidades e em três sistemas de manejo.

Material e Métodos

Três experimentos, um no ano agrícola 2003/2004 e dois em 2004/2005, foram conduzidos na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS (30°5'S; 51°39'W; 42 m de altitude), na região ecoclimática da Depressão Central do Rio Grande do Sul. O clima da região é subtropical úmido de verão quente, com temperatura média de 19,2°C e precipitações anuais de 1.446 mm, sendo 426 mm concentrados entre novembro e fevereiro, período no qual transcorre toda a fase reprodutiva do milho semeado em meados de outubro. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico, conduzido em semeadura direta desde 1990, na rotação soja e milho no verão. Os atributos físico-químicos do solo na camada de 0–20 cm de profundidade, na média dos dois anos, foram: densidade, 1.465 $g\ dm^{-3}$; argila, 526 $g\ kg^{-1}$; pH, 5,2; P (Mehlich I), 8,2 $mg\ dm^{-3}$; K (Mehlich I), 158 $mg\ dm^{-3}$; MO, 35 $g\ kg^{-1}$ e CTC, 10,8 $cmol_c\ dm^{-3}$.

Os sistemas de manejo diferiram quanto à densidade de plantas, adubação de semeadura e de cobertura, e suplementação hídrica. Em cada sistema de manejo, foram testados dois espaçamentos entre linhas (0,4 e 0,8 m), dois híbridos (Flash – folhas eretas, e Penta – folhas decumbentes) e duas densidades de plantas, sendo 5 e 6,6; 6,2 e 8,3 e 6,8 e 8 plantas m^{-2} , respectivamente, nos sistemas de manejo médio, alto e muito alto. Cada unidade experimental apresentou área útil de 9,6 m^2 . Em cada experimento, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em fatorial $2 \times 2 \times 2$, com quatro repetições.

Os genótipos Flash e Penta são híbridos simples, de ciclos superprecoce e precoce, respectivamente. Na semeadura, foram aplicados 10–60–40 ($kg\ ha^{-1}$),

20–120–95 (kg ha⁻¹) e 40–185–130 (kg ha⁻¹) de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, nos sistemas médio, alto e muito alto. Os níveis de adubação e densidades usadas nos sistemas médio e alto (2004/2005) basearam-se nas indicações de pesquisa para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Reunião..., 2005), enquanto no sistema de manejo muito alto (2003/2004), consideraram-se resultados experimentais obtidos no mesmo local (Forsthofer et al., 2006). Adotou-se a aveia-preta (*Avena strigosa*) como cobertura de solo invernal, cujos rendimentos de massa seca foram de 4,7 e 5,2 t ha⁻¹, respectivamente, nos anos 2003/2004 e 2004/2005. No estágio de grão leitoso, ela foi dessecada com glyphosate (540 g ha⁻¹ de i.a.) e acamada com rolo-faca.

O milho foi implantado em semeadura direta em 21/10/2003 e em 13/10/2004. A adubação de semeadura foi feita na linha. A dose e a época de aplicação de N em cobertura (nitrato de amônio – 32% de N) variaram de acordo com o sistema de manejo. No muito alto, aplicaram-se 45, 65 e 75 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, nos estádios de três (V₃) e nove (V₉) folhas expandidas e de emborrachamento das plantas, conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993). No manejo alto, aplicaram-se 50 e 70 kg ha⁻¹ de N nos estádios V₄ e V₁₀ e, no manejo médio, 60 kg ha⁻¹ de N em V₅. Nos manejos alto e muito alto, realizou-se irrigação, estimando-se a necessidade de reposição de água com uso de três tensiômetros instalados a 0,2, 0,3, e 0,4 m de profundidade. Realizou-se irrigação suplementar por aspersão (vazão de 8 mm por hora) quando o potencial da água no solo era inferior a -0,04 MPa. Nos três experimentos, controlaram-se plantas daninhas e insetos-praga de modo a não interferirem no desenvolvimento da cultura.

Nos três experimentos, determinou-se o IAF nos estádios V₉, V₁₅, R₁ e R₃ e o rendimento de grãos. Nos sistemas de manejo médio e alto, também se avaliou a senescência foliar, em três estádios e, nos sistemas de manejo alto e muito alto, a RFA_{int}, em cinco estádios. Na primeira avaliação, mediram-se todas as folhas, enquanto nas posteriores, apenas as expandidas em relação à avaliação anterior. Em cada estágio, foram computadas apenas as folhas fotossinteticamente ativas (verdes). A área foliar foi determinada conforme Francis et al. (1969), e, por se tratar de um método não destrutivo, permite mensurar folhas da mesma planta durante o ciclo. A fim de facilitar as medições, em cada estágio avaliado identificou-se a última folha expandida,

permitindo que, na seqüencial, fossem obtidas apenas as medidas de folhas expandidas a partir desta. A senescência foliar foi estimada pela razão do número de folhas senescentes nos estádios V₁₅, R₁ e R₃ pelo total de folhas da planta.

A RFA_{int} foi avaliada nos estádios V₆, V₉, V₁₂, V₁₅ e R₂. No sistema de manejo muito alto (2003/2004), a RFA incidente (RFA_{inc}) foi medida por um sensor *quantum* instalado 1 m acima das plantas. No manejo alto (2004/2005), usaram-se dados de radiação global, multiplicados por 0,42, por serem equivalentes à radiação medida pelo sensor. A RFA transmitida (RFA_t) foi medida 5 cm acima do solo, com três conjuntos de sensores (barras) por unidade experimental, cada um com cinco células fotovoltaicas. As barras foram ligadas a um multiplexador de canais conectado a um *datalogger*, com unidade externa armazenadora de dados. As leituras foram realizadas automaticamente a cada 30 s e seus valores armazenados automaticamente na memória do *datalogger* a cada 15 min. A RFA_{int} pelo dossel foi calculada pela equação: RFA_{int} = RFA_{inc} - RFA_t.

Em razão da grande variação de adubação, de irrigação e na densidade de plantas entre os três sistemas de manejo, a análise conjunta dos dados ficou prejudicada. Assim, os dados obtidos em cada sistema de manejo foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade e, quando houve significância estatística, a comparação de médias feita pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. Em razão dos objetivos do estudo, são apresentados apenas os efeitos simples do espaçamento entre linhas ou suas interações com densidade ou com híbrido.

Resultados e Discussão

Sob o sistema de manejo médio, nos estádios V₉, R₁ e R₃, o IAF variou com a interação espaçamento e densidade, ao passo que em V₁₅ não houve efeito de espaçamento (Tabelas 1 e 2). A redução do espaçamento aumentou IAF no estágio V₉ somente na menor densidade (5 plantas m⁻²) e o reduziu em R₁ e R₃ na maior densidade (6,6 plantas m⁻²). O incremento da densidade de 5 para 6,6 plantas m⁻² aumentou IAF em V₉ nos dois espaçamentos e, em R₁ e R₃, apenas no espaçamento de 0,8 m (Tabela 2). Diferente do esperado nesse sistema de manejo, a senescência foliar em V₁₅, R₁ e R₃ não variou com o espaçamento, independentemente de densidade e híbrido (Tabela 1), sendo os valores de 35, 48, 81%, respectivamente. Da mesma forma, o

rendimento de grãos foi muito baixo e não variou com o espaçamento, independentemente de densidade e híbrido (Tabelas 1 e 3).

Sob o sistema de manejo alto, nos quatro estádios em que foi avaliado, o IAF foi maior no espaçamento de 0,8 m em relação ao de 0,4 m (Tabelas 1 e 3), diferindo do esperado, sobretudo na maior densidade. Os aumentos de IAF no espaçamento de 0,8 m variaram de 14 (V₉) a 43% (R₃), obtendo-se IAF de 8 em R₁, que é muito alto e superior ao IAF de 3 a 4 que, segundo Girardin & Tollenaar (1994), maximiza o desempenho do milho. A redução do espaçamento aumentou a senescência foliar em V₁₅ (7%) e R₁ (8%) e a manteve em R₃, cuja senescência foi de 57%, na média dos três fatores dos tratamentos.

No estágio V₆, a resposta da RFA_{int} à redução do espaçamento entre linhas dependeu das interações com híbrido e ainda com densidade, ao passo que em R₂ dependem da interação com densidade (Tabelas 1 e 4). Independentemente do híbrido em V₆ e da densidade em V₆ e R₂, a redução do espaçamento aumentou RFA_{int}. No menor espaçamento, as folhas decumbentes (Penta) apresentaram maior RFA_{int} que as folhas eretas (Flash) no estágio V₆, assim como na maior densidade (8,3 plantas m⁻²) em V₆ e R₂. No estágio V₆, no espaçamento de 0,8 m, o híbrido Penta em menor densidade teve menor RFA_{int} que o Flash em maior densidade, enquanto em R₂ e no maior espaçamento a densidade não afetou essa característica.

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) nos três sistemas de manejo aplicados na cultura do milho em duas estações de crescimento.

Fontes de variação	GL	Índice de área foliar				Senescência foliar			Radiação fotossinteticamente ativa interceptada					Rendimento de grãos
		V ₉	V ₁₅	R ₁	R ₃	V ₁₅	R ₁	R ₃	V ₆	V ₉	V ₁₂	V ₁₅	R ₂	
Manejo médio – 2004/2005														
Blocos	3	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	-(1)	-	-	-	-	ns
Híbrido (H)	1	ns	*	*	*	ns	ns	*	-	-	-	-	-	*
Densidade de plantas (D)	1	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	ns
Espaçamento entre linhas (E)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	ns
E x H	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	ns
E x D	1	*	ns	*	*	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	ns
H x D	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	ns
E x H x D	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	ns
Total	31													
Coefficiente de variação (%)		13	14	13	25	40	8	19	-	-	-	-	-	34
Manejo alto – 2004/2005														
Blocos	3	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns
Híbrido (H)	1	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns	ns	ns	*
Densidade de plantas (D)	1	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns
Espaçamento entre linhas (E)	1	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	ns	ns
E x H	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns
E x D	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	ns
H x D	1	ns	*	*	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	*
E x H x D	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns
Total	31													
Coefficiente de variação (%)		16	14	15	25	6	6	15	4	4	4	1	1	6
Manejo muito alto – 2003/2004														
Blocos	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns
Híbrido (H)	1	*	ns	*	*	ns	ns	*	*	*	*	ns	*	ns
Densidade de plantas (D)	1	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*	*
Espaçamento entre linhas (E)	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	*
E x H	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	*	ns
E x D	1	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	*	ns	ns
H x D	1	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns
E x H x D	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*	ns
Total	31													
Coefficiente de variação (%)		14	11	8	9	22	35	27	4	4	4	2	1	5

(1) Determinação não realizada. ns Não-significativo. *Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Nos estádios V₉, V₁₂ e V₁₅, RFA_{int} dependeu da interação espaçamento, híbrido e densidade (Tabelas 1 e 5). Na menor densidade do híbrido de folhas eretas, a redução do espaçamento não afetou RFA_{int} em V₉ e V₁₂, mas a diminuiu em V₁₅. Na maior densidade, a redução do espaçamento aumentou RFA_{int} em V₉ e V₁₂ e a manteve em V₁₅. Por sua vez, no híbrido de folhas decumbentes, independentemente de densidade, a redução do espaçamento aumentou RFA_{int} em V₉, V₁₂ e V₁₅, embora não-significativo na maior densidade em V₁₂. Nos dois espaçamentos, independentemente do tipo

Tabela 2. Índice de área foliar nos sistemas de manejo médio, em três estádios fenológicos, e muito alto, em um estádio, em função da interação de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas, na média de dois híbridos de milho⁽¹⁾.

Sistemas de manejo	Estádios fenológicos ⁽²⁾	Densidades (plantas m ⁻²)	Espaçamentos entre linhas (m)	
			0,4	0,8
Médio (2004/2005)	V ₉	5,0	1,6Ba	1,3Bb
		6,6	1,9Aa	2,0Aa
	R ₁	5,0	4,2Aa	3,7Ba
		6,6	4,4Ab	5,0Aa
	R ₃	5,0	1,1Aa	0,8Ba
		6,6	0,9Ab	1,8Aa
Muito alto (2003/2004)	V ₁₅	6,5	2,7Ba	2,7Ba
		8,0	3,6Aa	3,1Ab

⁽¹⁾Em cada estádio, médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993).

Tabela 3. Índice de área foliar, em quatro estádios fenológicos, e senescência foliar, em dois estádios, no sistema de manejo alto e rendimento de grãos de milho em três sistemas de manejo, em função de espaçamentos entre linhas, na média de dois híbridos e de duas densidades de plantas⁽¹⁾.

Estádios fenológicos ⁽²⁾	Espaçamentos entre linhas (m)	
	0,4	0,8
Índice de área foliar		
V ₉	2,9b	3,3a
V ₁₅	5,5b	6,6a
R ₁	6,1b	8,0a
R ₃	3,5b	5,0a
Senescência foliar (%)		
V ₁₅	30,6a	28,6b
R ₁	36,0a	33,3b
Rendimento de grãos (t ha ⁻¹)		
Manejo médio (2004/2005)	2,3a	2,1a
Manejo alto (2004/2005)	9,1a	8,8a
Manejo muito alto (2003/2004)	14,3a	13,7b

⁽¹⁾Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993).

de planta, RFA_{int} em V₉, V₁₂ e V₁₅ foi maior na densidade de 8,3 que na de 6,2 plantas m⁻², embora não-significativo no híbrido de folhas eretas no maior espaçamento em V₁₂ e, no de folhas decumbentes, no menor espaçamento em V₁₅.

Embora o rendimento de grãos tenha sido superior ao verificado no médio manejo, essa característica não variou com o espaçamento (Tabelas 1 e 3). Apesar disso, em ambos os sistemas de manejo, a radiação solar global foi maior que a da normal climática (1969/1999), sobretudo do início à metade do período reprodutivo (Figura 1), fato que pode explicar parte dos efeitos do espaçamento nas características de dossel avaliadas.

Sob as condições do sistema de manejo muito alto, em V₉, R₁ e R₃, o IAF não variou com o espaçamento (Tabela 1), sendo obtidos valores de 0,6, 3,0 e 5,9, respectivamente, na média de dois espaçamentos e duas densidades. No estádio V₁₅, a redução do espaçamento incrementou IAF em 16% na densidade de 8,0 plantas m⁻² (Tabela 2). O incremento na densidade de plantas aumentou IAF em 33% no espaçamento de 0,4 m e em 15% no de 0,8 m.

RFA_{int} nos estádios V₆, V₁₂, V₁₅ e R₂ variou com interação espaçamento, híbrido e densidade (Tabelas 1 e 5). Na densidade de 6,5 plantas m⁻² do híbrido de folhas eretas, a redução do espaçamento aumentou RFA_{int} no estádio V₆ e a diminuiu em V₁₂, V₁₅ e R₂. Na densidade 8,0 plantas m⁻² sob espaçamento de 0,4 m, esse híbrido

Tabela 4. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (mol m⁻² dia⁻¹) pelo dossel de milho nos sistemas de manejo alto e muito alto em função da interação de espaçamentos entre linhas e híbridos, na média de duas densidades de plantas, e da interação de espaçamentos e densidades, na média de dois híbridos⁽¹⁾.

Sistemas de manejo e estação de crescimento	Estádios fenológicos ⁽²⁾	Arquitetura/densidades (planta m ⁻²)	Espaçamentos entre linhas (m)	
			0,4	0,8
Alto – 2004/2005	V ₆	Ereta	21,3Ba	17,9Ab
		Decumbente	24,8Aa	16,5Bb
Muito alto – 2003/2004	V ₉	Ereta	25,6Ba	25,5Aa
		Decumbente	28,0Aa	25,5Ab
Alto – 2004/2005	V ₆	6,2	22,4Ba	15,0Bb
		8,3	23,7Aa	19,4Ab
	R ₂	6,2	40,5Ba	39,0Ab
		8,3	41,5Aa	39,5Ab
Muito alto – 2003/2004	V ₉	6,5	26,7Aa	24,1Bb
		8,0	26,9Aa	26,9Aa

⁽¹⁾Em cada sistema de manejo e estádio fenológico, médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993).

teve menor RFA_{int} em V_6 e maior em V_{12} , V_{15} e R_2 , embora não-significativo em R_2 . Por sua vez, no menor espaçamento, o híbrido de folhas decumbentes na menor densidade teve maior RFA_{int} em V_6 e R_2 , sem haver efeito em V_{12} e V_{15} . Na maior densidade, a redução do espaçamento aumentou RFA_{int} em V_6 e a diminuiu em V_{12} , V_{15} e R_2 , embora significativo apenas em V_{15} .

Os efeitos do aumento da densidade na RFA_{int} dependeram do espaçamento, híbrido e estágio fenológico (Tabelas 1 e 5). No híbrido de folhas eretas e no menor espaçamento, a alteração da densidade de 6,5 para 8 plantas m^{-2} incrementou RFA_{int} nos quatro estádios, embora significativo apenas em V_{15} , enquanto no maior espaçamento, essa alteração incrementou RFA_{int} em V_6 e a reduziu em V_{12} , V_{15} e R_2 . No híbrido de folhas decumbentes, no espaçamento de 0,4 m, o aumento da densidade diminuiu RFA_{int} em V_6 , V_{12} , V_{15} e R_2 , embora significativo apenas em V_6 , enquanto no de 0,8 m houve incremento na RFA_{int} em V_{12} , V_{15} e R_2 e redução em V_6 .

No estágio V_9 , a resposta da RFA_{int} à redução do espaçamento dependeu da interação com densidade e da com híbrido (Tabelas 1 e 4). A redução do espaçamento incrementou (9%) RFA_{int} no híbrido de folhas decumbentes. Entre híbridos, RFA_{int} pelo de folhas decumbentes foi superior (9%) à RFA_{int} pelo de folhas eretas no menor espaçamento (Tabela 4). Quanto à redução do espaçamento, incrementou (11%) RFA_{int} na menor densidade, enquanto o aumento da densidade a incrementou (12%) no maior espaçamento. Diferentemente dos outros dois sistemas de manejo, o

rendimento de grãos foi alto e variou com o espaçamento (Tabelas 1 e 3), sendo 5% maior no espaçamento de 0,4 m. Nesse ano agrícola (2003/2004), durante todo o período reprodutivo, verificou-se maior radiação solar global em relação à normal climática (Figura 1), justificando os maiores valores de interceptação de radiação solar nesse sistema de manejo.

A luz, a água e nutrientes podem ser ou se tornar limitantes durante o ciclo, dependendo do espaçamento, densidade e sistema de condução da lavoura. Em estádios fenológicos avançados, quando IAF é maior, a qualidade e a competição entre plantas por luz alteram características do dossel, sobretudo com espaçamentos amplos e altas densidades, que tornam a distribuição de plantas na área menos favorável. No sistema de manejo médio, com restrições ao desenvolvimento, esperava-se que a melhor distribuição de plantas na área aumentasse o IAF e reduzisse a senescência foliar, devido à maior competição intra-específica pelos menores suprimentos de água e nutrientes. Entretanto, os resultados evidenciam que a distribuição mais uniforme de plantas na área não é garantia de melhor desempenho, pois limitações nutricionais e hídricas também afetam o seu desenvolvimento. Assim, no sistema de manejo médio, a redução do espaçamento não teve grande influência nas características de dossel, sendo mais determinantes as restrições hídricas e nutricionais.

No manejo alto, com condições propícias ao desenvolvimento das plantas, esperava-se maior IAF no menor espaçamento. Ao contrário do esperado e

Tabela 5. Radiação fotossinteticamente ativa ($mol\ m^{-2}\ dia^{-1}$) interceptada pelo dossel de milho nos sistemas de manejo alto, em três estádios fenológicos, e muito alto, em quatro estádios, em função da interação de espaçamentos entre linhas, densidades de plantas e híbridos⁽¹⁾.

Sistemas de manejo	Estádios fenológicos ⁽²⁾	Densidades (plantas m^{-2})	Ereta		Decumbente	
			0,4 m	0,8 m	0,4 m	0,8 m
Alto (2004/2005)	V_9	6,2	27,9Ba	29,1Ba	37,1Ba	25,7Bb
		8,3	35,6Aa	33,5Ab	39,2Aa	35,1Ab
	V_{12}	6,2	38,7Ba	40,1Aa	40,0Ba	35,2Bb
		8,3	44,5Aa	41,1Ab	44,8Aa	43,1Aa
	V_{15}	6,2	26,4Bb	27,3Ba	28,7Aa	25,4Bb
		8,3	28,9Aa	28,2Aa	28,8Aa	27,5Ab
Muito alto (2003/2004)	V_6	6,5	19,1Aa	18,0Bb	26,4Aa	20,0Ab
		8,0	19,4Bb	23,1Aa	22,7Ba	16,6Bb
	V_{12}	6,5	22,6Bb	24,3Aa	23,8Aa	23,1Ba
		8,0	23,0Aa	21,7Bb	23,7Aa	24,3Aa
	V_{15}	6,5	38,7Bb	42,5Aa	40,9Aa	39,9Ba
		8,0	41,2Aa	38,6Bb	40,2Ab	41,5Aa
	R_2	6,5	36,7Bb	38,1Aa	38,0Aa	36,9Bb
		8,0	36,9Aa	36,6Ba	37,5Aa	37,9Aa

⁽¹⁾Em cada sistema de manejo, estágio e híbrido, médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS, a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al. (1993).

independentemente de densidade e estágio, obteve-se maior IAF no espaçamento 0,8 m, onde há distribuição menos favorável de plantas na área e maior competição intra-específica pelos recursos do ambiente. Maddonni et al. (2001b) alcançaram resultados similares com dois genótipos de folhas eretas nos espaçamentos de 0,35 e 0,7 m, fato que atribuíram à maior largura de folhas expandidas acima da oitava. Kasperbauer & Karlen (1994) ainda observaram alterações na dimensão, estrutura e desenvolvimento foliares, devido a mudanças na razão vermelho/vermelho extremo no interior do dossel, o que pode afetar o IAF e o padrão de senescência foliar em espaçamentos menores. Segundo esses autores, as plantas percebem alterações na qualidade de luz, mesmo sob IAF menor que 1. Assim, a distinção do tipo de luz ocorre desde o início do desenvolvimento e a luz é promotora de respostas morfogênicas antes mesmo da interferência de uma planta sobre outra ou do início da competição por recursos do ambiente.

A senescência foliar é um processo normal no ciclo de plantas, sendo a fase final de desenvolvimento de todos seus órgãos (Dangl et al., 2000). Entretanto, ela não é um processo de degeneração passivo e desregulado, pois há alterações ordenadas na estrutura celular, no metabolismo e na expressão gênica (Lim et al., 2007). Segundo esses autores, a principal mudança é a desestruturação de cloroplastos, seguida da troca da assimilação de carbono pelo catabolismo das clorofilas,

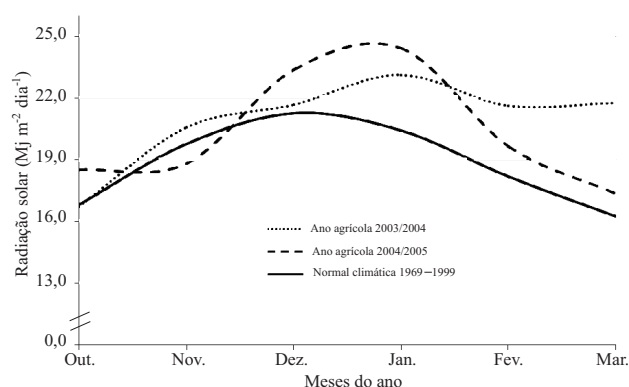


Figura 1. Radiação solar global mensal nos anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005 e normal climática (1969–1999) em Eldorado do Sul, RS. Fonte: Bergamaschi et al. (2003).

proteínas, lipídios de membrana e do RNA. Neste trabalho, a senescência foliar iniciou-se no estágio V₇, independentemente de espaçamento, densidade e híbrido. Segundo Borrás et al. (2003) e Valentinuz & Tollenaar (2004), ela ocorre durante todo desenvolvimento da planta e tem início precoce, sendo a taxa de progressão estimulada por limitações hídricas, nutricionais e de manejo da lavoura, como a distribuição desuniforme de plantas na área, que ocorreram especialmente no sistema de manejo médio.

A senescência foliar foi mais intensa no período de enchimento de grãos do que no vegetativo e maior no sistema de manejo com mais limitações à planta. Devido às precipitações pluviárias escassas, ocorreu elevada deficiência hídrica no sistema de manejo médio, principalmente durante a formação e o enchimento de grãos, acelerando a senescência e reduzindo o ciclo e o rendimento de grãos, ao contrário do manejo alto, que recebeu 11 irrigações suplementares. Nesses dois sistemas, a elevada senescência em R₃ ajuda a explicar a acentuada queda de IAF entre R₁ e R₃ (Tabelas 2 e 3) e está relacionada ao início do enchimento de grãos (Valentinuz & Tollenaar, 2004; Lim et al., 2007). Na avaliação de híbridos de diferentes épocas de lançamento comercial, Valentinuz & Tollenaar (2004) verificaram que, na fase do florescimento à metade do enchimento de grãos, a taxa de senescência é menor em relação à fase da segunda metade do enchimento à maturação. Segundo os autores, na segunda fase há alta translocação de fotoassimilados das folhas e dos colmos aos grãos, enquanto na primeira ocorre basicamente a definição do número de grãos fixados e a formação de suas estruturas teciduais.

Esperava-se que o maior IAF no maior espaçamento e a maior senescência no menor espaçamento aumentassem RFA_{int}, pois para Flénet et al. (1996) e Maddonni & Otegui (1996), incrementos de RFA_{int} relacionam-se a IAF maiores. Embora os resultados obtidos neste trabalho possam parecer contraditórios, esses resultados corroboram com a literatura, pois menores espaçamentos otimizam a interceptação da radiação, devido à melhor distribuição espacial de plantas na área e ocupação dos espaços entre plantas pelas folhas. Especula-se que maior RFA_{int} no espaçamento 0,4 m, análoga aos valores de IAF, relaciona-se à interceptação por órgãos pouco ativos na fotossíntese (senescência maior em 0,4 m).

Alguns genótipos de milho exploram melhor os recursos ambientais mudando a distribuição azimutal de folhas, pois as redirecionam a espaços pouco ou ainda não ocupados pelas folhas de plantas vizinhas, aumentando o número de folhas perpendiculares à linha de cultivo e, possivelmente, RFA_{int} (Maddonni et al., 2001b). Segundo os autores, a reorientação foliar ocorre sob distribuição desfavorável de plantas na área, como em espaçamentos amplos e altas densidades. Entretanto, Girardin & Tollenaar (1994) alertam que tal estratégia pode servir apenas para ocupar melhor o espaço entre linhas ou diminuir a interferência entre folhas, tendo pequeno efeito fenotípico na planta.

No sistema de manejo alto, o aumento da densidade incrementou RFA_{int} em todos os estádios, corroborando dados de Tollenaar et al. (1994), Maddonni & Otegui (1996) e Silva et al. (2006) de que a densidade tem grande efeito no IAF. Entretanto, a hipótese de que as características de dossel têm relação direta com o rendimento de grãos se confirmou apenas no sistema de manejo muito alto. A não variação do rendimento com o espaçamento entre linhas no manejo alto é atribuída à compensação dos ganhos de matéria seca e o gasto de energia para manter estas novas estruturas. Assim, altos IAFs não garantem maiores RFA_{int} e rendimento, pois parte da luz é interceptada por folhas senescentes, pendão, colmo e brácteas da espiga, estruturas pouco ativas à fotossíntese (Tethio-Kagho & Gardner, 1988). Além disso, altos IAFs sombreiam mais o extrato inferior do dossel em híbridos de folhas decumbentes, tornando-o dreno ao invés de fonte de energia, afetando o rendimento de grãos.

Conclusões

1. Maiores índices de área foliar (IAF) em milho, obtidos com alteração do espaçamento entre linhas, podem não alterar a quantidade de radiação solar interceptada (RFA_{int}) devido ao maior sombreamento potencial do extrato inferior do dossel.

2. IAF e a RFA_{int} variam com espaçamento entre linhas, mas seus efeitos dependem de densidade, tipo de planta, sistema de manejo e estágio fenológico.

3. Em sistemas de manejo com baixos rendimentos de grãos, a senescência foliar não varia com o espaçamento entre linhas, independentemente de densidade e híbrido.

4. Em sistemas de alto rendimento, menores espaçamentos reduzem o IAF e aumentam a senescência foliar, independentemente de densidade e de arquitetura de planta; a RFA_{int} aumenta com a

densidade, mas independe de espaçamento, híbrido e estágio fenológico.

5. O IAF, a senescência foliar e a RFA_{int} pelo dossel não seguem o comportamento do rendimento de grãos, mesmo em níveis contrastantes de rendimento de grãos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelas bolsas concedidas; à Syngenta Seeds Ltda., pelo apoio financeiro.

Referências

- 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**, v.12, p.25-36, 2000.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v.31, p.1075-1084, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. da. **Clima da estação experimental da UFRGS: (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78p.
- BORRÁS, L.; MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, v.82, p.13-26, 2003.
- DANGL, J.L.; DIETRICH, R.A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. (Ed.). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p.1044-1100.
- FLÉNET, F.; KINIRY, J.R.; BOARD, J.E.; WESTGATE, M.E.; REICOSKY, D.C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, v.88, p.185-190, 1996.
- FORSTHOFER, E.L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L.; MINETTO, T.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SUHRE, E.; SILVA, A.A. Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.399-407, 2006.
- FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, v.9, p.537-539, 1969.
- GIRARDIN, P.H.; TOLLENAAR, M. Effects of intra-specific interference on maize leaf azimuth. **Crop Science**, v.34, p.151-155, 1994.
- KASPERBAUER, M.J.; KARLEN, D.L. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome regulated photosynthate allocation in corn seedlings. **Crop Science**, v.34, p.1564-1569, 1994.
- LIM, P.O.K.; KIM, H.J.; NAM, H.G. Leaf senescence. **Annual Review of Plant Biology**, v.58, p.115-136, 2007.

- MADDONNI, G.A.; CHELLE, M.; DROUET, J.L.; ANDRIEU, B. Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements. **Field Crops Research**, v.70, p.1-13, 2001.
- MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, v.48, p.81-87, 1996.
- OTTOMAN, M.J.; WELCH, L.F. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. **Agronomy Journal**, v.81, p.167-174, 1989.
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE PESQUISA DE MILHO, 50.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE PESQUISA DE SORGO DO RS, 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: State University of Science and Technology, 1993. 21p. (Special Report, 48).
- SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v.31, p.159-168, 2001.
- SILVA, P.R.F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M.L. **Importância do arranjo de plantas na definição da produtividade do milho**. Porto Alegre: UFRGS; Evangraf, 2006. 65p.
- TETHIO-KAGHO, F.; GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. I - Canopy development, light relationships, and vegetative growth. **Agronomy Journal**, v.80, p.935-940, 1988.
- TOLLENAAR, M.; DIBO, A.A.; AGUILERA, A.; WEISE, S.F.; SWANTON, C.J. Effect of crop density on weed interference in maize. **Agronomy Journal**, v.86, p.591-595, 1994.
- VALENTINUZ, O.R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, v.44, p.827-834, 2004.

Recebido em 4 de outubro de 2007 e aprovado em 20 de fevereiro de 2008