

**“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Curso de Pós Graduação em Agronomia – Sistemas de Produção**

**DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO EM DIFERENTES
ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS**

CLAUDINEI KAPPES

Engenheiro Agrônomo

Ilha Solteira – São Paulo – Brasil

Março/2010

DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO EM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE PLANTAS

CLAUDINEI KAPPES

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. João Antonio da Costa Andrade

Co-orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP, Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

Ilha Solteira – São Paulo – Brasil

Março/2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

- | | |
|------|--|
| K17d | <p>Kappes, Claudinei.
Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas / Claudinei Kappes. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2010.
127 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2010.</p> <p>Orientador: João Antonio da Costa Andrade
Co-orientador: Orivaldo Arf
Bibliografia: p. 107-123</p> <p>1. Milho. 2. Milho – Espaçamento. 3. Densidade populacional.
4. Desempenho agrônômico.</p> |
|------|--|



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

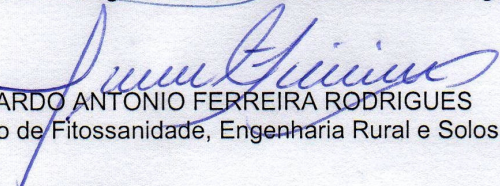
TÍTULO Desempenho de Híbridos de Milho em Diferentes Arranjos Espaciais de Plantas

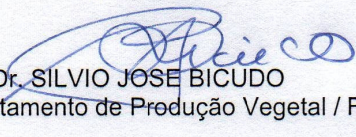
AUTOR. CLAUDINEI KAPPES

ORIENTADOR. Prof Dr JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Prof Dr JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof Dr RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof Dr SILVIO JOSE BICUDO
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

Data da realização: 12 de março de 2010.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CLAUDINEI KAPPES – Filho de Nelson Roque Kappes e Celiria Maria Kappes, nasceu em 15 de maio de 1984 na cidade de Sinop, Estado de Mato Grosso (MT), Brasil. Cresceu desde o primeiro dia de vida na zona rural do município de Santa Carmem – MT e cursou o ensino fundamental e médio no referido local. Em agosto de 2007 obteve o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Alta Floresta – MT. Foi responsável técnico da Empresa Matogrossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER-MT) entre 2007 e 2008, escritório local de Santa Carmem – MT. Em março de 2009 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia como aluno regular, vinculado ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEIS/UNESP), concluindo o curso em março de 2010.

Dedico,

*Aos meus pais **Nelson** e **Celiria**, que me deram não somente a vida,
mas a minha educação.*

*Obrigado meus pais, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis da
minha vida, pelo exemplo de humildade, pelo carinho, dedicação, confiança,
paciência e acima de tudo, o amor que vocês me deram em todas as fases de
minha vida.*

Por isso, devo muito à vocês pela pessoa que sou hoje.

Minha gratidão, amo vocês!

Ofereço,

*Aos meus irmãos **Vanderlei** e **Volnei**, às minhas irmãs **Elisângela** e **Lizete**, aos meus avós paternos **Aloysio** (in memorian) e **Josefina** (in memorian), aos meus avós maternos **Arnoldo** (in memorian) e **Delphina**, aos meus tios(as), aos meus sobrinhos(as) e primos(as) que, apesar da distância, sempre estiveram do meu lado e trabalharam incansavelmente, incentivando para a realização de mais esta conquista em minha vida profissional e científica.*

E ainda,

*... à todas as pessoas
que trabalham pelo progresso
da agricultura brasileira!*

Agradecimentos

À Deus primeiramente, pela vida, por sempre me iluminar e me guiar e por ter me privilegiado e proporcionado a realização deste importante curso.

Aos meus pais pela dedicação, apoio e compreensão que me fortalecem a cada dia.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (SP), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FEIS/UNESP, pela oportunidade concedida para realização deste curso, permitindo a realização de um sonho pessoal, a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Aos professores Dr. João Antonio da Costa Andrade e Dr. Orivaldo Arf, um agradecimento especial pelo exemplo de pessoa, pelo incentivo e interesse demonstrado como orientadores deste trabalho.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da FEIS/UNESP, pela amizade, dedicação e contribuição a minha formação acadêmica.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da FEIS/UNESP, pelo exemplo de simplicidade e amizade e pelos esforços perante a realização deste trabalho.

Aos bibliotecários da FEIS/UNESP, pela dedicação e atenção concedida.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação da FEIS/UNESP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida.

Aos estagiários do curso de Agronomia e Zootecnia da FEIS/UNESP: Alex, Danielle, Jales, Rodolfo, Rafaella, Ingrid e demais envolvidos, pelo fundamental auxílio na execução do trabalho em campo.

À todos os amigos(as) de Pós-Graduação, pela amizade e agradável convivência, respeito e contribuição que ofereceram ao meu crescimento como ser humano e prazer das vivências divididas nesse período oportuno.

Aos colegas de república: André, Carlos Augusto, Enzo, Guilherme, João Paulo, Humberto, Lincoln e Marcelo pelo apoio, exemplos de companheirismo e pelos momentos de descontração proporcionados.

À todos meus familiares e amigos, pelo carinho, afeto e cumplicidade passados ao longo do meu desenvolvimento e pela torcida e apoio na realização deste curso.

Aos eternos colegas de Graduação e componentes da “família Zea mays” (III turma de Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus de Alta Floresta – MT), pela amizade e companheirismo convivido.

Enfim, desejo expressar os mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, neste momento, imerecidamente não foram lembrados e aqui não mencionados, de uma forma ou de outra, sabem que contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

Ilha Solteira, São Paulo,
março de 2010.
O Autor.

Poema do Milho – “Trecho”
(Cora Coralina)

.....

E o milho realizava o milagre genético de nascer:

Germina. Vence os inimigos,

Aponta aos milagres.

- Seis grãos na cova.

- Quatro na regra, dois de quebra,

Um canudinho enrolado.

Amarelo-pálido,

frágil, dourado, se levanta.

Cria sustância.

Passa a verde.

Liberta-se. Enraíza,

Abre folhas espaldeiradas.

Encorpa. Encana. Disciplina,

Com os poderes de Deus.

Jesus e São João

desceram de noite na roça,

botaram a bênção no milho,

E veio com eles

uma chuva maneira, criadeira, fininha,

uma chuva velhinha,

de cabelos brancos,

abençoando

a infância do milho.

.....

*“O solo não é uma herança que
recebemos de nossos pais, mas sim,
um patrimônio que tomamos emprestado
de nossos filhos” (L. Brown) .*

RESUMO

Dentre os fatores que interferem no desempenho da cultura do milho está o arranjo espacial de plantas, que por sua vez, interage com a competição intraespecífica por fatores do meio. Além disso, as modificações introduzidas nos genótipos mais recentes tem tornado necessário reavaliar as recomendações do arranjo de plantas em milho. A hipótese desse trabalho é de que o melhor arranjo de plantas diminua os efeitos da competição intraespecífica, com consequente aumento do rendimento. Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo verificar o melhor arranjo de plantas para os híbridos de milho XB 6010, XB 6012, XB 7253, XB 9003 e AG 9010 nos espaçamentos de 45 e 90 cm entre as linhas e nas populações de 50.000, 60.000, 70.000, 80.000 e 90.000 plantas ha⁻¹. O experimento foi conduzido na safra 2009, em Selvíria – MS, com os espaçamentos dispostos em faixas e as combinações híbrido x população em esquema fatorial 5 x 5 dentro de cada bloco e espaçamento. Foram mensurados caracteres morfológicos de plantas e de espiga e componentes de produção. Os efeitos de híbrido e espaçamento foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e de população pela análise de regressão. Os híbridos se diferenciaram em todos os caracteres mensurados, atribuindo-se esse fato às características intrínsecas de cada genótipo. A redução de 90 para 45 cm não influenciou a maioria dos caracteres, sendo que apenas altura de planta, diâmetro de colmo, massa de mil grãos e rendimento de grãos apresentaram variações, sendo a utilização do espaçamento reduzido vantajosa. O incremento da população influenciou negativamente a maioria dos caracteres e componentes de produção. O rendimento de grãos foi influenciado pelos arranjos espaciais, ocorrendo respostas diferenciadas dos híbridos. Os melhores arranjos foram: AG 9010 – 90.000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 45 cm; XB 7253 – 70.000 plantas ha⁻¹ nos dois espaçamentos; e XB 6010, XB 6012 e XB 9003 – sem resposta significativa aos arranjos, podendo ser recomendado 50.000 plantas ha⁻¹ nos dois espaçamentos.

Palavras-chave: *Zea mays* (L.). Espaçamento. Densidade populacional. Desempenho agrônomo.

ABSTRACT

Among the factors that interfere in the corn crop is the spatial arrangement of plants, which in turn interacts with the intraspecific competition for factors of the environment. Moreover, the changes to the most recent genotypes has become necessary to reassess the recommendations of the arrangement of plants in corn. The hypothesis of this study is that the best arrangement of plants decreases the effects of intraspecific competition, with consequent increases in yield. Therefore this study aimed to determine the best arrangement of plants for the hybrids XB 6010, XB 6012, XB 7253, XB 9003 and AG 9010 in spacing of 45 and 90 cm between lines and populations of 50,000, 60,000, 70,000, 80,000 and 90,000 plants ha⁻¹. The experiment was conducted on crop year of 2009 in Selvíria – MS, and the spacing were arranged in bands and the combinations of hybrids by populations in a factorial scheme 5 x 5 in each block, and spacing. Were measured morphological characters of plants, ear and yield components. The effects of hybrids and spacing were compared by Tukey test ($p < 0.05$) and population by regression analysis. The hybrids differed in all characters measured, attributing this fact to the intrinsic characteristics of each genotype. The reduction from 90 to 45 cm did not affect most characters, with only plant height, stem diameter, weight of one thousand grains and grain yield showed variations, with the use of the reduced spacing advantageous. The increase of the population affected negatively most of the characters and yield components. The yield was influenced by the spatial arrangement, occurring different responses by hybrids. The best arrangements are: AG 9010 - 90,000 plants ha⁻¹ with spacing of 45 cm, XB 7253 - 70,000 plants ha⁻¹ in the two spacing; and XB 6010, XB 6012 and XB 9003 - without significant response to such arrangements, can be recommended 50,000 plants ha⁻¹ in the two spacing.

Keywords: *Zea mays* (L.). Spacing. Populational density. Agronomic performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fluxograma teórico e simplificado sobre os efeitos do espaçamento entre as linhas de milho na competitividade da cultura com plantas daninhas e no rendimento de grãos	29
Figura 2.	Capacidade competitiva de plantas de milho na linha de semeadura devido à redução do espaçamento entre as linhas (A: 40 cm; B: 80 cm), para a mesma densidade populacional	31
Figura 3.	Capacidade competitiva de plantas de milho por luz devido ao melhor arranjo espacial para uma mesma densidade populacional (A: 40 cm; B: 80 cm)	32
Figura 4.	Variação teórica da produção por unidade de planta (g planta^{-1}) e por unidade de área (kg ha^{-1}) em função da densidade populacional	36
Figura 5.	Esquematização da parcela experimental no espaçamento de 45 cm entre as linhas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).....	50
Figura 6.	Esquematização da parcela experimental no espaçamento de 90 cm entre as linhas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).....	51
Figura 7.	Umidade relativa do ar média e precipitação pluvial, por decêndio, registrados durante a condução do experimento. Selvíria – MS, Brasil (2009)	54
Figura 8.	Temperatura mínima, máxima e média do ar e velocidade do vento, por decêndio, registrados durante a condução do experimento. Selvíria – MS, Brasil (2009)	55
Figura 9.	Florescimento feminino de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	68
Figura 10.	Graus-dia acumulados pelos híbridos de milho no período emergência-florescimento feminino. Selvíria – MS, Brasil (2009)	69

Figura 11. Acamamento de planta em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	71
Figura 12. Quebramento de planta em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	73
Figura 13. Altura de inserção de espiga em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	78
Figura 14. Diâmetro de colmo em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	80
Figura 15. Comprimento de espiga em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	84
Figura 16. Diâmetro de espiga de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	87
Figura 17. Diâmetro de sabugo em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	88
Figura 18. Comprimento de grão de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	90
Figura 19. Número de fileiras de grãos por espiga de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	92
Figura 20. Prolificidade em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	93
Figura 21. Massa de mil grãos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	95
Figura 22. Rendimento de grãos de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	101

Figura 23. Vista geral da área experimental com os sulcos de semeadura previamente abertos e distribuição do fertilizante (esquerda) e detalhe do mecanismo sulcador de hastes (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009)	125
Figura 24. Semeadura manual dos híbridos (esquerda) e detalhe da matraca utilizada (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).....	125
Figura 25. Parcela experimental com linhas de semeadura no espaçamento de 45 cm (esquerda) e no espaçamento de 90 cm entre as linhas (direita), aos 13 dias após a semeadura. Selvíria – MS, Brasil (2009)	125
Figura 26. Detalhe da linha de semeadura com a presença de duas plantas por cova aos 8 dias após a semeadura (esquerda) e detalhe do desbaste de plantas aos 27 dias após a semeadura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).....	126
Figura 27. Vista geral da área experimental na ocasião da adubação nitrogenada aos 20 dias após a semeadura (esquerda) e plantas no florescimento pleno aos 60 dias após a semeadura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).....	126
Figura 28. Vista geral da área experimental sendo irrigada por aspersão por sistema do tipo pivô central, aos 43 dias após a semeadura. Selvíria – MS, Brasil (2009).....	126
Figura 29. Colheita manual do milho aos 130 dias após a semeadura (esquerda) e acondicionamento das espigas sobre bancadas, em local sombreado e ventilado (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009) ...	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Análise química do solo da área experimental na camada de 0 a 0,2 m. Selvíria – MS, Brasil (2009)	47
Tabela 2.	Descrição sucinta dos tratamentos estudados no experimento. Selvíria – MS, Brasil (2009)	48
Tabela 3.	Principais características agronômicas dos híbridos de milho utilizados no estudo. Selvíria – MS, Brasil (2009)	49
Tabela 4.	Número de plantas de milho por metro e distância equidistante entre plantas na linha de semeadura após o desbaste para os diferentes arranjos espaciais. Selvíria – MS, Brasil (2009).....	52
Tabela 5.	Esquema da análise de variância (teste F). Selvíria – MS, Brasil (2009)	61
Tabela 6.	Valores médios de florescimento feminino (FF), acamamento (AC) e quebramento de planta (QB) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	65
Tabela 7.	Valores médios de altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AE) e diâmetro de colmo (DC) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	66
Tabela 8.	Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para florescimento feminino (dias) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).....	67
Tabela 9.	Desdobramento da interação entre espaçamento e população de plantas para altura de planta (cm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).....	75
Tabela 10.	Valores médios de comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), diâmetro de sabugo (DS), comprimento de grão (CG) e número de fileiras de grãos por espiga (FG) em função de	

arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	82
Tabela 11. Valores médios de prolificidade, massa de mil grãos (M1000) e rendimento de grãos (RG) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	83
Tabela 12. Desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento para comprimento de espiga (mm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	85
Tabela 13. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para diâmetro de espiga (mm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	86
Tabela 14. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para comprimento de grão (mm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	89
Tabela 15. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para número de fileiras de grãos por espiga na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	91
Tabela 16. Desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento para massa de mil grãos (g) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	97
Tabela 17. Desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento para rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	99
Tabela 18. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009)	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DO MILHO.....	21
2.2	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO	24
2.3	ESPAÇAMENTO ENTRE AS LINHAS DE MILHO	26
2.4	DENSIDADE POPULACIONAL	33
2.5	INTERAÇÃO ENTRE ESPAÇAMENTO, DENSIDADE POPULACIONAL E GENÓTIPO.....	38
2.6	HÍBRIDOS E ARQUITETURA DE PLANTAS DE MILHO	42
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1	ÁREA EXPERIMENTAL	46
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	46
3.3	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	47
3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS DE MILHO.....	48
3.5	PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	50
3.6	IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	51
3.6.1	Tratos culturais	52
3.7	CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DADOS CLIMÁTICOS.....	54
3.8	AVALIAÇÕES FITOTÉCNICAS	55
3.8.1	Caracteres morfológicos de plantas	55
3.8.1.1	<i>Florescimento feminino</i>	<i>55</i>
3.8.1.2	<i>Acamamento e quebramento de planta</i>	<i>56</i>
3.8.1.3	<i>Altura de planta.....</i>	<i>57</i>
3.8.1.4	<i>Altura de inserção de espiga.....</i>	<i>57</i>
3.8.1.5	<i>Diâmetro de colmo</i>	<i>57</i>
3.8.2	Caracteres de espiga e componentes de produção	58
3.8.2.1	<i>Comprimento de espiga.....</i>	<i>58</i>
3.8.2.2	<i>Diâmetro de espiga.....</i>	<i>58</i>

3.8.2.3	<i>Diâmetro de sabugo.....</i>	58
3.8.2.4	<i>Comprimento de grão</i>	59
3.8.2.5	<i>Número de fileiras de grãos por espiga</i>	59
3.8.2.6	<i>Prolificidade</i>	59
3.8.2.7	<i>Massa de mil grãos.....</i>	59
3.8.2.8	<i>Rendimento de grãos.....</i>	60
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO EXPERIMENTAL	62
4.2	CARACTERES MORFOLÓGICOS DE PLANTAS.....	64
4.2.1	Florescimento feminino.....	67
4.2.2	Acamamento e quebramento de planta	70
4.2.3	Altura de planta.....	73
4.2.4	Altura de inserção de espiga	76
4.2.5	Diâmetro de colmo.....	78
4.3	CARACTERES DE ESPIGA E COMPONENTES DE PRODUÇÃO	81
4.3.1	Comprimento de espiga	84
4.3.2	Diâmetro de espiga.....	85
4.3.3	Diâmetro de sabugo	87
4.3.4	Comprimento de grão.....	88
4.3.5	Número de fileiras de grãos por espiga.....	90
4.3.6	Prolificidade	92
4.3.7	Massa de mil grãos.....	94
4.3.8	Rendimento de grãos	98
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
5	CONCLUSÕES.....	106
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE A – FOTOS DO EXPERIMENTO	124

1 INTRODUÇÃO

O milho representa um dos principais e mais tradicionais cereais cultivados em todo o Brasil, ocupando de maneira crescente posições significativas quanto ao valor da produção agropecuária, especialmente nos sistemas de produção mais aprimorados baseados na semeadura direta e na rotação de culturas. Com o crescente aumento do consumo mundial de milho, tanto para consumo humano quanto animal e atualmente para atender a demanda energética, existe uma pressão cada vez maior para o aumento do rendimento de grãos desse cereal. Contudo, o rendimento de grãos do milho é complexo e depende da interação entre fatores genéticos, ambientais, particularmente da radiação solar (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001) e de manejo. No Brasil, o rendimento médio do milho é muito baixo, em decorrência de fatores ligados à fertilidade do solo, arranjo espacial de plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), uso de genótipos e práticas de manejo inadequadas (SANGOI et al., 2006).

A manipulação do arranjo espacial de plantas (forma como as plantas estão distribuídas na área) pela alteração no espaçamento e na densidade de plantas na linha tem sido apontada como uma das práticas de manejo mais importantes para maximizar o rendimento de grãos do milho, pela otimização do uso de fatores de produção como água, luz e nutrientes (ARGENTA et al., 2001; DEMÉTRIO, 2008). Não há uma recomendação singular de densidade de semeadura ideal para todas as condições, pois a densidade ótima varia dependendo de fatores ambientais, da região e época de semeadura, sistema de cultivo, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, escolha do genótipo (NOVAIS, 1970; PEREIRA, 1991), entre outros. Recentemente, estudos objetivando a determinação do melhor arranjo espacial de plantas, nessa cultura, têm sido discutidos com maior frequência, decorrente das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais e do surgimento de novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura (PEREIRA FILHO; OLIVEIRA; CRUZ, 1998), utilizando-se híbridos com elevado potencial produtivo (ALMEIDA et al., 2000; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999). Especificamente para o milho, sob condições de densidade excessiva de plantas, pode ocorrer defasagem entre pendoamento e espigamento, resultando em menor

polinização (RODRIGUES; GUADAGNIN; PORTO, 2009) e reduzindo o número de grãos por espiga. Teoricamente o melhor arranjo de plantas é aquele que proporciona uma distribuição mais uniforme das plantas na linha de semeadura, possibilitando melhor utilização da luz, água e nutrientes (RIZZARDI; BOLLER; DALLOGLIO, 1994).

A obtenção de novos híbridos, cada vez mais produtivos, gera a necessidade de avaliá-los em grande amplitude de condições edafoclimáticas (CARDOSO et al., 2003), demandando por práticas de manejo mais adequadas para maximizarem o seu potencial produtivo. Normalmente, a determinação do melhor arranjo espacial de plantas é feita após a obtenção de novos híbridos que, por motivos de praticidade, ainda não foram submetidos a avaliações mais detalhadas nesse aspecto. Em contrapartida, informações para quantificar o efeito do aumento da população de plantas sobre a cultura são essenciais e ao mesmo tempo escassas no Brasil (MOLIN, 2000; SANGOI; GRACIETTI; BIANCHETTI, 2002). A despeito da carência de informações, alguns agricultores têm adotado, com sucesso, populações de plantas de até 72.000 plantas ha⁻¹ e espaçamento de 40 cm entre as linhas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

Em virtude das modificações introduzidas nos genótipos de milho mais recentes, tais como menor altura de planta e de inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo pendramento-espigamento, plantas com folhas de angulação mais ereta e elevado potencial produtivo, torna-se necessário reavaliar as recomendações de práticas de manejo para esta cultura (ARGENTA et al., 2001), dentre elas, o melhor arranjo espacial de plantas.

Diante do exposto, propôs-se o presente estudo com o objetivo de verificar o melhor arranjo espacial de plantas para cinco híbridos de milho em dois espaçamentos entre as linhas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DO MILHO

A cultura do milho é uma das mais importantes no mundo em função de seu rendimento de grãos, composição química e valor nutritivo (FANCELLI; DOURADO NETO, 1996), sendo utilizado na alimentação animal na forma in natura (forragem conservada para o período de seca e fabricação de farelos). Fornece também produtos para a alimentação humana (amido, farinha, óleo, etc.) e matérias-primas para a agroindústria, principalmente devido à quantidade de reservas acumuladas nos grãos e produção de etanol (DEMÉTRIO, 2008).

A importância econômica da cultura é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, sendo que o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (cerca de 70% no mundo). Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a este fim, enquanto que no Brasil, varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

O milho é uma das plantas mais eficientes na conversão de energia radiante em fitomassa, visto que uma semente de 260 mg pode resultar, em um período de 140 dias, em até 250 g de grãos por planta (FANCELLI, 2000). Isto é importante para o Brasil, que está situado em uma região tropical, fato que facilita o aproveitamento da luz solar. Outro ponto relevante é aproveitar o grande potencial que a espécie tem para a alimentação, já que uma parcela representativa da população brasileira ainda vive em condições de desnutrição.

O mercado mundial de milho é abastecido basicamente por três países: os Estados Unidos, a Argentina e o Brasil (USDA, 2010). A principal vantagem dos Estados Unidos e da Argentina, em relação ao Brasil, é de terem uma logística favorável, que no caso dos Estados Unidos pode ser decorrente das excelentes estruturas de transporte e da Argentina pela proximidade dos portos. O Brasil participa deste mercado, porém, a instabilidade cambial e a deficiências da estrutura

de transporte até os portos têm prejudicado o País na presença mais constante no comércio internacional de milho.

No Brasil, o milho destaca-se pela grande quantidade produzida, sendo superado apenas pela soja (SOUZA; BRAGA, 2004). Na safra 2008/2009, a produção mundial de milho foi de 791,3 milhões de toneladas. O Brasil produziu 51 milhões de toneladas do grão nesta safra (milho total: primeira e segunda safra), sendo o terceiro maior produtor mundial, depois dos Estados Unidos (primeiro lugar) e China (segundo lugar) (USDA, 2010). A produção em torno de 51 milhões de toneladas foi devido, sobretudo, ao bom rendimento de grãos na segunda safra no Estado de Mato Grosso e diminuiu o impacto causado pelas quebras de safra nos Estados da região Sul do Brasil (principalmente o Paraná e Mato Grosso do Sul), e a não confirmação da expectativa de exportação, onde era esperado inicialmente um montante em torno de 9 milhões de toneladas (CONAB, 2009). Considerando a produção total nacional de 51 milhões de toneladas do grão obtida em 14,1 milhões de hectares na safra de 2008/2009, o Estado do Paraná liderou o ranking nacional com 11,1 milhões de toneladas, seguido de Mato grosso (8,1 milhões de toneladas), de Minas Gerais (6,4 milhões de toneladas) e de Goiás (4,9 milhões de toneladas).

O milho é cultivado em praticamente todo o território brasileiro, sendo que somente na última safra (2008/2009), 88% da produção total se concentrou nas regiões Sul (36%), Centro Oeste (31%) e Sudeste (21%) (CONAB, 2010). Segundo Matoso et al. (2006), dado ao baixo preço de mercado do milho, os custos de transporte afetam muito a remuneração da produção obtida, principalmente em regiões distantes dos pontos de consumo, reduzindo o interesse no deslocamento da produção a maiores distâncias ou em condições que a logística de transporte é desfavorável.

A produção de milho no Brasil tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de semeadura. A semeadura de verão ou primeira safra é realizada na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto na Região Sul até os meses de outubro a novembro no Sudeste e no Centro Oeste do País. A segunda safra, também chamada de safrinha, é caracterizada pela semeadura entre os meses de janeiro e fevereiro (março e mais adiante em sistemas irrigados, com rendimentos semelhantes à primeira época), após a colheita da safra normal (quase sempre depois da soja precoce), visando o aproveitamento das chuvas remanescentes antes do período da seca, com predomínio na região

Centro Oeste e nos Estados do Paraná e São Paulo. Essa modalidade de cultivo tem adquirido importância nos últimos anos em consequência das poucas alternativas econômicas viáveis para a safra de outono/inverno, constituindo-se em instrumento fundamental para o complemento no abastecimento do milho no País (SHIOGA; OLIVEIRA; GERAGE, 2004).

Apesar de apresentar um potencial produtivo menor que a do milho semeado na primeira safra (DUARTE, 2004), nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a produção na safrinha é a principal. No ano agrícola de 2008/2009, a área brasileira cultivada com milho de segunda safra atingiu 4,9 milhões de hectares, sendo que somente Mato Grosso cultivou 1,5 milhões de hectares neste ano e obteve um rendimento médio de grãos em torno dos 5.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

A cultura do milho tem apresentado importantes mudanças tecnológicas, com aumentos significativos no rendimento de grãos (RAIJ et al., 1996). Nos últimos 20 anos, a área brasileira cultivada com milho praticamente se manteve estagnada e os ganhos de produção se devem ao aumento do rendimento de grãos, com destaque para a região do Cerrado (SOUZA; BRAGA, 2004). Conforme o quinto levantamento de intenção de plantio de grãos, realizado em fevereiro de 2010, a estimativa para a safra 2009/2010 (milho total), é que sejam produzidas em torno de 50,3 milhões de toneladas em 12,9 milhões de hectares, obtendo rendimento médio de 3.984 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010), representando pequena redução na área cultivada em relação à safra anterior.

Em contraste com a produção total, que é a terceira do mundo e representa 6% da oferta mundial, o rendimento de grãos médio nacional é muito baixo quando comparado aos rendimentos superiores a 15.000 kg ha⁻¹ obtidos por Argenta et al. (2003), Forsthofer (2004) e por Sangoi et al. (2003) em trabalhos de pesquisa conduzidos nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina ou aos rendimentos de 10.000 a 12.000 kg ha⁻¹ registrados em lavouras comerciais conduzidas sob alto nível de manejo, no Estado do Paraná. Carvalho (2007) cita que algumas lavouras brasileiras chegam a ultrapassar o rendimento médio de grãos obtido pelos Estados Unidos na safra 2005, que foi de 9.947 kg ha⁻¹.

O rendimento médio de grãos do milho nacional não reflete o bom nível tecnológico já alcançado por boa parte dos agricultores brasileiros voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes

regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos, finalidades (DEMÉTRIO, 2008) e nível tecnológico. De modo geral, o baixo rendimento de grãos das lavouras de milho no Brasil ocorre em função de uma densidade inadequada de plantas por unidade de área, fatores ligados à fertilidade do solo e ao arranjo espacial de plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Para Sangoi et al. (2006), são decorrentes do uso de genótipos e práticas de manejo inadequadas.

2.2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

A planta de milho é anual, normalmente robusta, estando classificada como monocotiledônea, pertencente à divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, subclasse *Commelinidae*, ordem *Poales*, família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Andropogonea*, gênero *Zea*, sendo o nome científico da espécie *Zea mays* (L.).

Mundialmente, o milho é cultivado entre as latitudes 58° Norte e 40° Sul, distribuído nas mais diversas altitudes, encontrando-se desde localidades situadas abaixo do nível do mar até regiões com mais de 2.500 m de altitude (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Porém, para se desenvolver, o milho necessita de calor e umidade adequada, uma vez que é uma cultura de origem tropical. Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais como as variações na disponibilidade térmica e de radiação solar, exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho. A temperatura do ar é o elemento meteorológico que melhor explica a duração dos períodos de desenvolvimento desta cultura, havendo relação linear entre a duração destes períodos e o desenvolvimento da planta (LOZADA; ANGELOCCI, 1999).

O ciclo da cultura varia entre 100 e 180 dias, em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio) e pode apresentar variações com a temperatura, conforme ressaltado por Rezende et al. (2004). Quando as temperaturas médias durante o período de crescimento são superiores a 20 °C, o ciclo dos genótipos precoces varia de 80 a 110 dias, enquanto que o ciclo dos genótipos médios variam de 110 a 140 dias para atingir a fase de maturidade fisiológica. Quando as temperaturas médias são inferiores a 20 °C, o ciclo aumenta

de 10 a 20 dias para cada 0,5 °C de diminuição de temperatura, dependendo do híbrido, ressaltando que a 15 °C o ciclo da cultura do milho varia de 200 a 300 dias.

De acordo com Salisbury e Ross (1992), citado por Demétrio (2008), o milho, por ser uma planta de metabolismo C4, apresenta características fisiológicas favoráveis de acordo com a eficiência da conversão do gás carbônico da atmosfera em compostos orgânicos como o carboidrato. Isso ocorre porque no processo fotossintético destas plantas o CO₂ é continuamente concentrado nas células da bainha vascular das folhas (fonte) sendo redistribuído para locais onde serão estocados ou metabolizados (dreno). Esta relação fonte-dreno pode ser alterada pelas condições de solo, clima, estágio fisiológico e nível de estresse da cultura.

Ao redor do período da antese, geralmente a produção de fotoassimilados do milho é maior que aquela demandada pelos órgãos reprodutivos (DUNCAN, 1975), sendo o seu excesso armazenado como reserva, principalmente nos colmos e bainhas. Posteriormente, durante o período de crescimento intenso dos grãos, se a produção de fotoassimilados for insuficiente para atender a demanda dos grãos, as reservas podem ser remobilizadas e utilizadas como fonte suplementar (MACHADO et al., 1982; TOLLENAAR, 1977). Desta forma, para Ruget (1993) e Tollenaar (1977), o colmo é uma importante estrutura de armazenamento temporário de açúcares nas primeiras semanas após a fertilização dos grãos, quando a capacidade fotossintética da planta é máxima e a demanda da espiga por fotoassimilados é pequena. Pode-se então dizer que o eficiente transporte de materiais produzidos e acumulados nas folhas, em direção aos grãos em formação, é de grande importância para garantir alto rendimento de grãos. No entanto, havendo um dreno forte, é possível alcançar rendimentos satisfatórios mesmo com efeito da competição intra e interespecífica das plantas, causadas pelo aumento da densidade populacional e diminuição do espaçamento entre as linhas, mediante a redistribuição de assimilados acumulados em outros órgãos da planta.

Neste contexto, Rajcan e Tollenaar (1999) acreditam que os colmos são estruturas modeladoras de grande importância para a definição do rendimento dos grãos quando a planta passa por qualquer tipo de estresse na fase reprodutiva. Isto significa dizer que o colmo pode atuar como órgão equilibrador da limitação de fonte, promovendo a remobilização dos carboidratos de reserva armazenados até o início do enchimento dos grãos.

O rendimento de grãos do milho é complexo e depende de fatores genéticos, ambientais e de manejo. Dessa forma, o potencial produtivo do milho pode ser melhor explorado pela adoção e implementação criteriosa de aspectos técnicos como: (i) escolha de genótipo melhor adaptado às condições de cultivo; (ii) época de semeadura preferencial para a região; (iii) emprego de espaçamento e densidade de semeadura que proporcionem populações de plantas compatíveis com a tecnologia empregada; (iv) controle eficiente de plantas daninhas; e (v) manejo adequado do solo (PALHARES, 2003).

2.3 ESPAÇAMENTO ENTRE AS LINHAS DE MILHO

Para minimizar a competitividade de plantas de milho na linha de semeadura, tem se utilizado a redução do espaçamento entre as linhas, o que permite melhor arranjo espacial de plantas, aumentando a eficiência na interceptação da luz (FLÉNET et al., 1996), decorrente do aumento da produção fotossintética líquida (BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1988), especialmente em altas densidades populacionais (ALVAREZ; VON PINHO; BORGES, 2006; SANGOI; SILVA, 2005; SHIOGA, 2005). A utilização de espaçamentos reduzidos e o aumento da população de plantas em híbridos de milho de menor porte proporcionam aumento do número de espigas colhidas, e consequentemente, do rendimento de grãos (MEROTTO JÚNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997).

A adoção do espaçamento reduzido e da maior densidade de plantas na cultura do milho já vêm sendo estudado há muito tempo, porém apenas recentemente vem sendo utilizada de forma mais ampla pelos agricultores. Resultados de ensaios conduzidos nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil relatam ganhos de rendimento de grãos de até 14% com a adoção desta prática (VILARINHO, 2005). No Brasil, sistemas agrícolas irrigados que utilizam alto investimento têm registrado resultados satisfatórios em rendimento de grãos de milho pela adoção de espaçamentos de 60 a 70 cm entre as linhas e maiores populações de plantas por unidade de área. Murphy et al. (1996) consideram a

utilização do espaçamento reduzido como importante prática cultural na determinação do rendimento de grãos do milho.

Tradicionalmente, o espaçamento adotado pela maioria dos agricultores brasileiros de milho concentra-se entre 80 e 90 cm entre as linhas, devido principalmente, à inadequação das colhedoras em sistemas que adotam espaçamentos inferiores a 80 cm (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Mas atualmente, a redução no espaçamento e o aumento da densidade de plantas é uma realidade na cultura do milho no Brasil, encontrando-se no mercado plataformas adaptáveis às colhedoras, que realizam a colheita em espaçamentos de até 45 cm entre as linhas (CRUZ et al., 2007).

O interesse em cultivar milho utilizando espaçamentos de 40 a 60 cm entre as linhas tem crescido nos últimos dez anos nas diferentes regiões produtoras do Brasil, principalmente pelos agricultores que utilizam populações superiores a 50.000 plantas ha^{-1} e alcançaram rendimentos de grãos superiores a 7.000 kg ha^{-1} (PEREIRA, 2006). O desenvolvimento de híbridos mais tolerantes a altas densidades populacionais, o maior número de herbicidas disponíveis para o controle seletivo de plantas invasoras e a maior agilidade da indústria de máquinas agrícolas no desenvolvimento de equipamentos adaptados ao cultivo do milho com linhas mais próximas, tem aumentado a adoção desta prática cultural (BERNARDON, 2005).

A redução do espaçamento entre as linhas propicia distribuição mais uniforme entre as plantas por área de cultivo. De acordo com Palhares (2003), isso reduz a competição pelos recursos do ambiente, otimizando a sua utilização. O arranjo espacial mais favorável de plantas por área devido à aproximação das linhas estimula as taxas de crescimento da cultura no início de seu ciclo, incrementa a interceptação da luz incidente no dossel e aumenta a eficiência de seu uso. O desenvolvimento antecipado da cultura, além de aumentar o rendimento de grãos e tornar a cultura mais resistente a possíveis estresses ambientais e ataques de pragas e doenças que possam acontecer no futuro (NUMMER FILHO; HENTSCHKE, 2006), aumenta a competitividade com as plantas daninhas (PAES; ZITO, 2006; TEASDALE, 1995), reduzindo a dependência de uso de herbicidas (PAES; ZITO, 2006).

O espaçamento reduzido proporciona maior operacionalidade aos agricultores que trabalham com soja, milho e feijão, pois as semeadoras não

necessitam de serem alteradas na mudança de cultivo. Essa vantagem torna-se importante para agricultores que possuem apenas uma semeadora e necessitam semear milho, soja e feijão em curto período de tempo. Tem-se também, uma melhor distribuição das sementes no sulco de semeadura, devido à menor velocidade de trabalho dos sistemas distribuidores de sementes e distribuição de fertilizantes em maior quantidade de metros por hectare, o que melhora o aproveitamento dos nutrientes e reduz a possibilidade de efeitos salinos fitotóxicos às sementes (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2005a). Maior eficiência das plantas na absorção de água e nutrientes e melhor qualidade de semeadura também são outras vantagens obtidas com a adoção de menores espaçamentos entre as linhas de milho (DUPONT; PIONEER, 2003).

Devido a maior velocidade de sombreamento do solo, observada em semeaduras com espaçamento reduzido (EMYGDIO; TEIXEIRA, 2008), especula-se que haja menores perdas de água por evaporação. Outro ponto importante é que alguns agricultores relatam que, ao reduzirem o espaçamento, ocorre redução na altura das plantas de milho e, conseqüentemente, diminuição de acamamento e quebramento de colmos. Todavia, os dados de pesquisas conseguidos na região Sul do Brasil indicam que as mudanças de espaçamentos entre as linhas não interferem na altura de planta (ARGENTA et al., 2001; BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2005b; SANGOI et al., 2001) e sobre a altura de inserção da primeira espiga (ARGENTA et al., 2001). Nesse sentido, a redução do espaçamento pode diminuir o acamamento e a quebra de colmos, mas devido a outros motivos, como por exemplo, maior sustentação da planta por raízes e/ou maior diâmetro de colmo.

Num trabalho conduzido por Vazquez e Silva (2002), onde foi avaliado o desempenho do híbrido simples AG 9010 (híbrido moderno de ciclo superprecoce) sob quatro espaçamentos (46; 71; 82 e 93 cm entre as linhas) em população de 72.000 plantas ha^{-1} , não foram observadas diferenças em relação à altura de inserção de espigas, enquanto que, sob o espaçamento de 46 cm, a altura da planta foi significativamente maior em relação ao espaçamento de 71 cm. O rendimento de grãos médio no espaçamento de 46 cm foi estatisticamente superior àquele obtido no espaçamento de 82 cm entre as linhas (19,4% de aumento).

Conforme Balbinot Júnior e Fleck (2004), a competição pode ocorrer entre plantas da mesma espécie, caracterizando a competição intraespecífica, ou entre diferentes espécies, gerando a competição interespecífica. Mudança no

espaçamento entre as linhas de milho altera, principalmente, a competição intraespecífica e, por consequência, outros efeitos são observados na cultura (Figura 1). Observa-se que a melhor distribuição de folhas e raízes, decorrente da adoção de espaçamento reduzido, confere ao milho maior capacidade de interceptação de radiação solar e aproveitamento de água e nutrientes, ocupando o espaço mais rapidamente, o que diminui a disponibilidade de recursos ao crescimento e desenvolvimento das plantas concorrentes. Desse modo, em algumas situações, mesmo que a redução do espaçamento não resulte em aumento no rendimento de grãos, sua adoção pode justificar-se pelo aumento na competitividade da cultura com plantas daninhas devido a maior quantidade de radiação solar que o milho intercepta (TEASDALE, 1995).

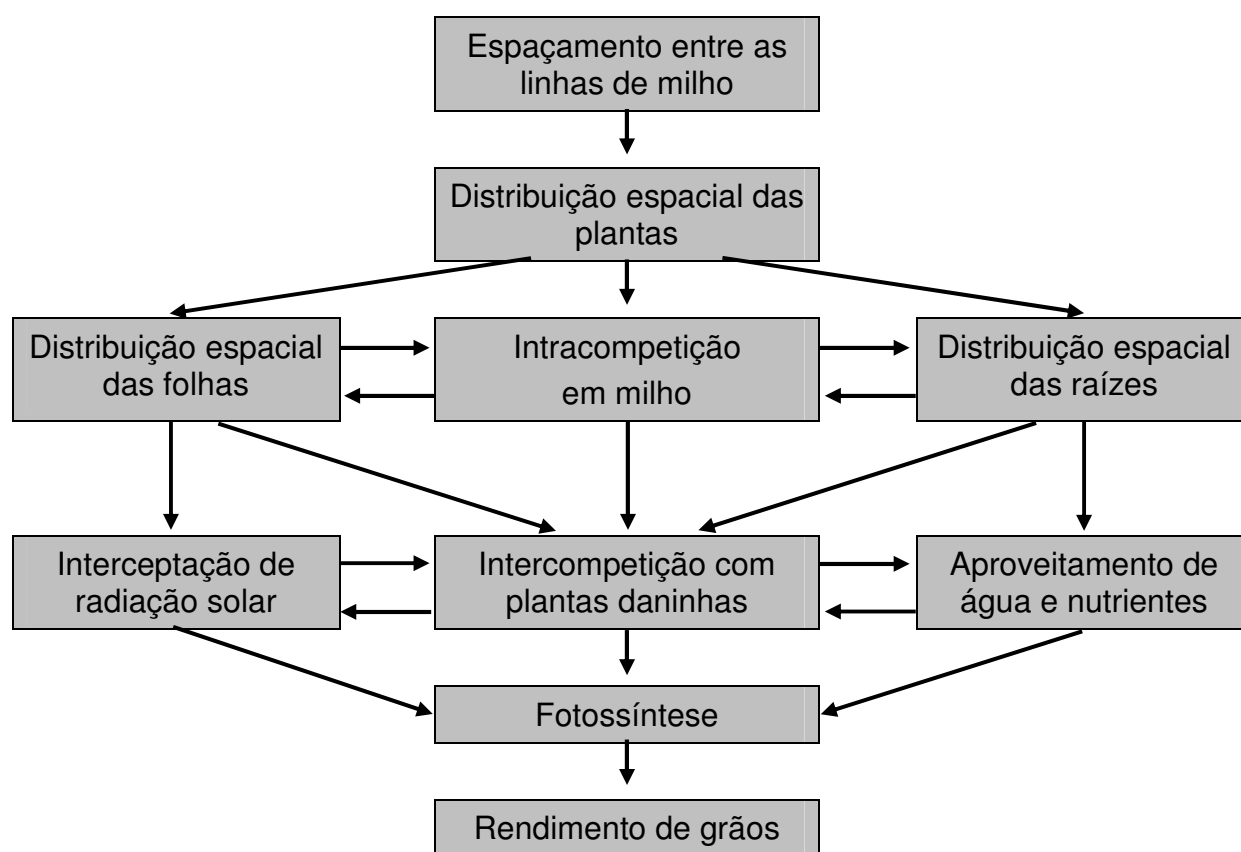


Figura 1. Fluxograma teórico e simplificado sobre os efeitos do espaçamento entre as linhas de milho na competitividade da cultura com plantas daninhas e no rendimento de grãos.

Fonte: Balbinot Júnior e Fleck (2004).

Em adição, plantas de milho submetidas à deficiência de nitrogênio e semeadas em espaçamento de 35 cm entre as linhas apresentaram rendimento de

grãos 47% superior ao observado em espaçamento de 70 cm (BARBIERI et al., 2000). No entanto, sob condição de suplementação de nitrogênio, a diferença em rendimento de grãos foi de 10% em favor do menor espaçamento. Esses dados indicam que, em situações em que os recursos do ambiente (água, radiação solar e nutrientes) são escassos, a redução do espaçamento exerce efeitos mais pronunciados sobre o rendimento de grãos da cultura do que em situações em que o suprimento de recursos seja adequado.

De acordo com Balbinot Júnior e Fleck (2005a), diversos trabalhos têm mostrado uma tendência de maiores rendimentos de grãos com a adoção de menores espaçamentos entre as linhas, principalmente com milho de ciclo superprecoce e de porte baixo. No entanto, a existência de alguns resultados contraditórios na literatura podem ser atribuídos a diversos fatores, entre os quais, o nível de rendimento obtido, o tipo de híbrido, a densidade de plantas, as características climáticas da região e o nível de fertilidade do solo.

Segundo Palhares (2003) e Silva et al. (2006), a redução do espaçamento também apresenta algumas limitações, sendo por isso, necessário serem avaliados tanto os aspectos agrônômicos como os econômicos. Uma das maiores dificuldades para sua implantação se refere aos ajustes necessários na aplicação de tratos 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 entre 70 e 90 cm entre as linhas. Desta forma, a redução do espaçamento entre as linhas gera a necessidade de aquisição de máquinas e de equipamentos novos ou de adaptação das existentes.

Genótipos que apresentam ciclo superprecoce e baixa estatura respondem mais intensamente à redução do espaçamento entre as linhas, enquanto genótipos de ciclo normal e elevada altura apresentam menor resposta, provavelmente porque mesmo em espaçamentos maiores, esse tipo de planta ocupa rapidamente os espaços entre as linhas de milho (ARGENTA et al., 2001; ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; FLESCH; VIEIRA, 2004). Teoricamente, o aumento do rendimento de grãos, decorrente da redução do espaçamento, seria mais evidente em elevadas populações de plantas, já que em espaçamentos e populações elevadas (alta concentração de plantas na linha), a competição intraespecífica seria maior. Contudo, Argenta et al. (2001) avaliando a resposta dos híbridos simples de milho Cargill 901 (ciclo superprecoce) e Braskalb XL 214 (ciclo precoce) em populações de

50.000 e 65.000 plantas ha^{-1} , à redução do espaçamento (40; 60; 80 e 100 cm entre as linhas) em Eldorado do Sul – RS durante o ano agrícola de 1998/1999, verificaram na densidade de 50.000 plantas ha^{-1} , aumento linear no rendimento de grãos dos dois híbridos à medida que se reduziu o espaçamento, enquanto que com 65.000 plantas ha^{-1} , esse efeito não ocorreu. Assim, os dados ainda são insuficientes para uma conclusão definitiva acerca da relação do espaçamento entre as linhas e o rendimento do milho.

Independentemente do espaçamento utilizado, existe uma competição intraespecífica entre as raízes por nutrientes e água no solo. Quando se reduz o espaçamento, a competição entre as plantas de milho na linha de semeadura também é reduzida (Figuras 2A e 2B). Observa-se melhor distribuição espacial de plantas no espaçamento reduzido (40 cm entre as linhas) (NUMMER FILHO; HENTSCHEKE, 2006).



Figura 2. Capacidade competitiva de plantas de milho na linha de semeadura devido à redução do espaçamento entre as linhas (A: 40 cm; B: 80 cm), para a mesma densidade populacional.

Fonte: Nummer Filho e Hentschke (2006).

Nummer Filho e Hentschke (2006) ressaltam que o maior benefício alcançado com o espaçamento reduzido é o aumento da interceptação da luz no início do desenvolvimento da cultura devido ao melhor arranjo espacial das plantas na área. Ou seja, para uma mesma população, a redução do espaçamento melhora a distribuição de plantas na mesma área, facilitando a penetração da luz. No espaçamento de 80 cm entre as linhas, ocorre o sombreamento das plantas na mesma linha enquanto que grande quantidade de luz é perdida, uma vez que atinge

o solo e não as plantas. Já no espaçamento reduzido (40 cm entre as linhas), a luz atinge um maior número de plantas e não ocorre o sombreamento entre plantas da mesma linha de semeadura (Figuras 3A e 3B). Neste sentido, a utilização de espaçamento reduzido constitui-se numa prática de manejo de plantas daninhas na cultura do milho. Além disso, em condições de reduzida luminosidade e precipitação pluvial e deficiência de nutrientes, as plantas cultivadas em espaçamentos reduzidos podem apresentar maior aproveitamento dos recursos limitados.

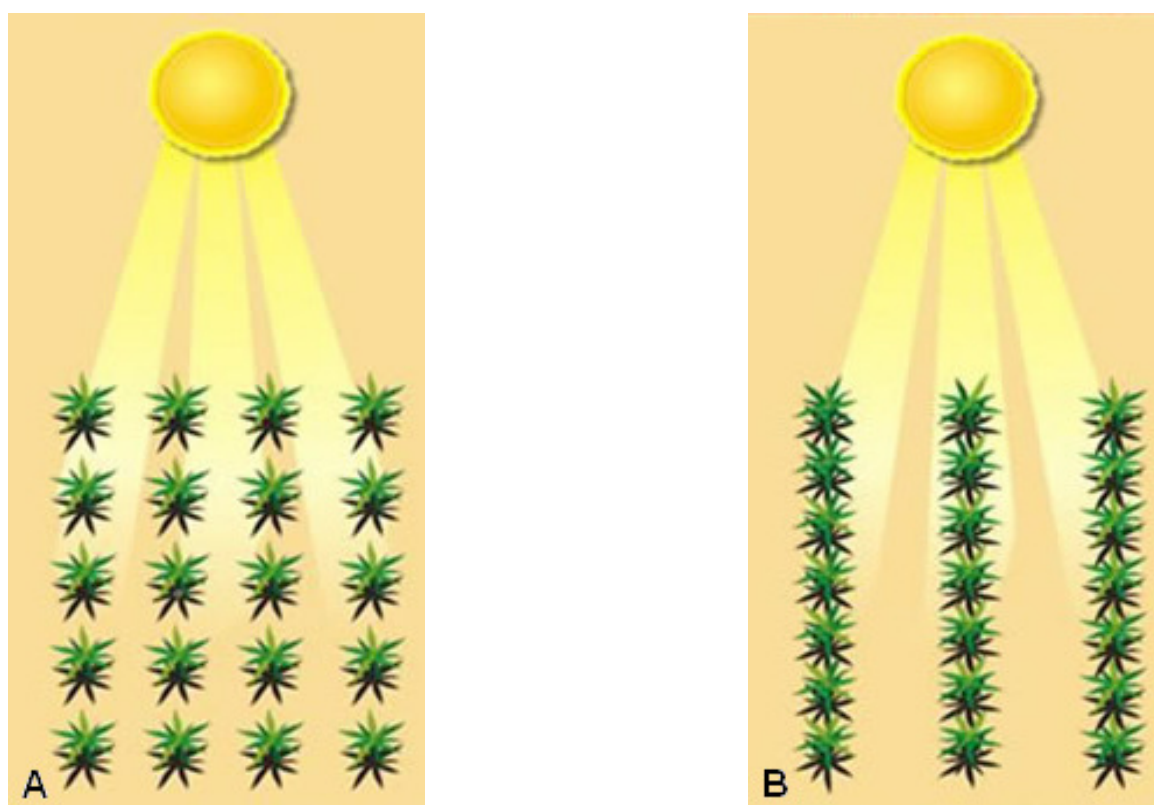


Figura 3. Capacidade competitiva de plantas de milho por luz devido ao melhor arranjo espacial para uma mesma densidade populacional (A: 40 cm; B: 80 cm).

Fonte: Nummer Filho e Hentschke (2006).

Considerando a arquitetura dos híbridos modernos, que possuem menor altura de plantas e de inserção das espigas, maior ou menor angulação de folhas, maior potencial produtivo, menor número de folhas, folhas mais eretas e menor área foliar, minimizando a competição por luz, a redução do espaçamento pode ser uma prática adequada (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001), além de permitir a utilização de uma maior população de plantas. De acordo com Fornasieri Filho (2007), a partir de 1970, os melhoristas passaram a se preocupar com estudos sobre arquitetura da

planta, baseados na premissa de que as plantas de menor porte, com folhas eretófilas, permitiriam uma semeadura mais adensada, com maior capacidade fotossintética e, assim, maior rendimento de grãos.

2.4 DENSIDADE POPULACIONAL

Basicamente, o arranjo espacial de plantas (forma como as plantas estão distribuídas na área) pode ser manipulado pelas alterações na densidade, no espaçamento entre as linhas e na distribuição de plantas na linha (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI et al., 2001), sendo que o manejo da densidade populacional é a que tem maior efeito no rendimento de grãos do milho, já que pequenas alterações na população implicam modificações relativamente grandes no rendimento final da cultura (SILVA et al., 2006).

O estande afeta a arquitetura das plantas, altera o crescimento e o desenvolvimento e influencia na produção de fotoassimilados (ALMEIDA; SANGOI, 1996). Isto ocorre porque o milho não possui mecanismos eficientes de compensação de espaços, pois seu perfilhamento é escasso e pouco efetivo, sua capacidade de expansão foliar é limitada, bem como a sua prolificidade (ANDRADE et al., 1999) e estrutura floral monoica (SILVA et al., 2006). Emygdio e Teixeira (2008) ressaltam que o número de grãos por espiga e o peso do grão, não têm plasticidade suficiente para compensar possíveis reduções no número de plantas e, conseqüentemente, de espigas por área, provocadas por estandes inadequados de plantas. As características de perfilhamento pobre e ausência de ramificação fazem da planta de milho, a poácea mais sensível à variação da densidade de semeadura (SANGOI; SILVA, 2005). Portanto, a escolha adequada do arranjo de plantas pode favorecer a interceptação da radiação solar recebida pela cultura.

Para Johnson, Hoverstad e Greenwald (1998), a elevação do rendimento de grãos, proporcionada pelo melhor arranjo populacional, é atribuída à melhor eficiência na interceptação de radiação solar e ao decréscimo da competição entre plantas por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais equidistante das plantas. De maneira condizente, Laüer (1994) e Sangoi (2001) mencionam que

plantas espaçadas de forma equidistante na linha de semeadura competem minimamente pelos fatores de produção. A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa exerce grande influência no rendimento de grãos da cultura do milho (MADDONNI; OTEGUI; CIRILO, 2001) e o rendimento de uma comunidade pode ser incrementada maximizando sua eficiência fotossintética (MARCHÃO; BRASIL; XIMENES, 2006). Após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente aos grãos. Quando o aparato fotossintético não produz carboidratos em quantidade suficiente para a manutenção de todos os drenos leva os tecidos da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando estas regiões (TOLLENAAR; McCULLOUGH; DWYER, 1994).

A escolha adequada do arranjo espacial melhora a interceptação da radiação solar incidente pela comunidade de plantas de milho (SILVA et al., 2002), bem como o aumento da densidade populacional, normalmente acima de 60.000 plantas ha⁻¹ (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001). No entanto, a alta densidade populacional causa diversas alterações fisiológicas e morfológicas no milho, com respostas bem diferentes para cada genótipo. Densidades muito elevadas podem reduzir a atividade fotossintética da cultura e a eficiência da conversão de fotoassimilados em produção de grãos, proporcionando uma série de consequências negativas para o desempenho agrônomo da cultura. Primeiramente, a diferenciação da espiga é retardada em relação à diferenciação do pendão. Espigas diferenciadas tardiamente apresentam uma taxa reduzida de crescimento, transformando poucos primórdios de espiguetas em flores funcionais durante o florescimento (SANGOI, 2001). Segundo Pereira (2006), em consequência disso, há um aumento de esterilidade feminina e redução do número de grãos por espiga e do rendimento de grãos. Para Fornasieri Filho (1992), além de o adensamento excessivo aumentar a esterilidade feminina de plantas, há uma maior competição intraespecífica, o que estimula a dominância apical da planta, aumentando o número de plantas sem espiga. Espigas menores, plantas com maior altura e colmos mais finos são resultantes da utilização de alta densidade de plantas (PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002a) e juntamente com a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo e o solo (ARGENTA et al., 2001), contribuem para o aumento do acamamento (FORNASIERI FILHO, 1992). Apesar de ocorrerem ganhos de rendimento de grãos com o aumento da população de plantas, normalmente os componentes da produção massa de mil grãos, número de

grãos por espiga e número de espigas por planta são afetados negativamente (PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), independente do ciclo do híbrido (FLESCHE; VIEIRA, 2004).

Por outro lado, a utilização de baixa densidade de plantas reduz a interceptação da radiação solar por área, favorecendo a produção de grãos por planta (produção individual por planta é máxima), mas reduzindo o rendimento de grãos por área (SANGOI, 2001). Além disso, a prolificidade torna-se mais elevada (PATERNIANI, 1978), as espigas são grandes e os colmos são fortes, o que dificulta a colheita mecanizada. Pode haver excesso de atividade da fonte em relação à demanda, principalmente no início do enchimento dos grãos quando a força de dreno da espiga ainda é pequena.

Alguns trabalhos mostram que densidades mais elevadas só devem ser recomendadas sob condições de alta precipitação pluvial ou sob irrigação e com alto nível de manejo (SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), pois com maior densidade aumenta-se o índice de área foliar e, conseqüentemente, o consumo de água. Enquanto isso, a utilização de populações menores é recomendada em locais sujeitos ao déficit hídrico.

Dourado Neto, Fancelli e Lopes (2001) salientam que o rendimento de grãos por unidade de área aumenta linearmente como o aumento da população de plantas (fase A), até um ponto denominado “crítico”, o qual varia entre 30.000 e 90.000 plantas ha^{-1} , devido à produção de grãos por unidade de planta permanecer constante. Nessa faixa de população não há competição intraespecífica. Em populações abaixo desse ponto crítico, a produção de grãos por unidade de planta permanece constante, pois não ocorre competição intraespecífica por água, luz e nutrientes. Acima da população crítica, devido à competição intraespecífica, a produção por planta decresce e o rendimento de grãos por área apresenta comportamento quadrático (fase B), até chegar a um outro ponto, que é denominado ponto de máxima produção por área. Desta forma, a população correspondente a esse ponto é a população ideal para a combinação genótipo-ambiente (água, fertilidade, entre outros fatores). Em populações além desse ponto de máxima, a perda de produção individual é superior ao ganho com aumento de plantas por área, proporcionando dessa forma, queda do rendimento de grãos por hectare (fase C). O comportamento descrito pode ser observado na Figura 4.

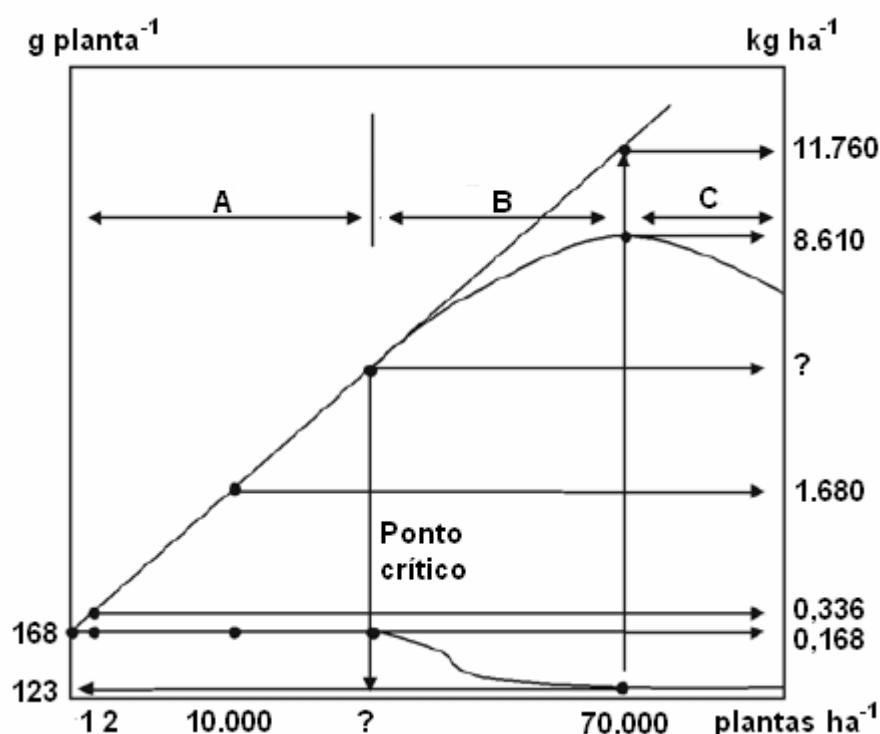


Figura 4. Variação teórica da produção por unidade de planta (g planta^{-1}) e por unidade de área (kg ha^{-1}) em função da densidade populacional.

Fonte: Dourado Neto, Fancelli e Lopes (2001).

O incremento na população de plantas por área, além de promover maior competição intraespecífica pelos recursos do ambiente, reduzindo a área foliar por planta e aumentando o sombreamento na comunidade (SANGOI; SALVADOR, 1998), estimula a elongação celular decorrente da menor oxidação das auxinas. Ambas as características podem, dependendo da magnitude da população, reduzir a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, alterando a taxa e duração do período de enchimento dos grãos (RUGET, 1993). O efeito do incremento na população sobre a distribuição e acúmulo de matéria seca nos grãos pode diferir em função da exigência calórica do genótipo para florescer. Híbridos superprecoces, por produzirem uma quantidade de fitomassa menor, são considerados mais tolerantes ao adensamento do que os híbridos tardios (ALMEIDA; SANGOI, 1996; SANGOI, 2001). Esta afirmação tem sido feita com base no rendimento final da cultura, havendo poucos registros de trabalhos que avaliem os efeitos da variação na população sobre a taxa e acúmulo de matéria seca na planta de híbridos contrastantes em ciclo, durante todo o período de enchimento dos grãos.

Existem trabalhos na literatura afirmando que o incremento da densidade de plantas reduz a disponibilidade de fotoassimilados para a fase de enchimento dos grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000). Com o aumento da população de plantas, há redução no tamanho de espigas, diminuindo também seu índice por planta. Entretanto há compensação na produção, pelo aumento do número de plantas por área.

Sendo o milho muito sensível às variações na densidade de plantas (SANGOI; SILVA, 2005), para cada sistema de produção existe uma população de plantas que maximiza o rendimento de grãos. A densidade ótima de semeadura para a cultura do milho depende da interação entre o ambiente e o genótipo. O sistema de produção adotado engloba as condições ambientais para o desenvolvimento e crescimento da cultura (níveis de radiação e temperatura, nutrientes, água e manejo fitossanitário). O genótipo, por sua vez, deve expressar suas características morfológicas e fisiológicas no ambiente para maximizar o rendimento de grãos.

A população ideal na cultura do milho, para a obtenção de tetos produtivos, varia de 30.000 a 90.000 plantas ha^{-1} (SANGOI et al., 2001), dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, genótipo, época de semeadura e espaçamento entre as linhas. De maneira geral, a densidade populacional ótima para um determinado híbrido corresponde ao menor número de plantas por unidade de área que induz o maior rendimento de grãos. Portanto, esses fatores devem ser trabalhados em conjunto (NOVAIS, 1970), possibilitando melhor utilização da luz, água e nutrientes (RIZZARDI; BOLLER; DALLOGLIO, 1994). Assim, o rendimento de grãos tende a aumentar com a elevação da densidade populacional, até atingir o considerado ponto ótimo, a partir do qual decresce, conforme destacaram Dourado Neto, Fancelli e Lopes (2001). Em populações menores ocorre certa compensação pelo aumento no número de espigas devido à prolificidade do material e/ou variação no tamanho da espiga, o que pode minimizar a diferença do rendimento de grãos.

Em trabalhos desenvolvidos na região Sul do Brasil, para determinar a população ótima de plantas em híbridos de milho com elevado potencial produtivo (ALMEIDA et al., 2000; MUNDSTOCK, 1977; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), os máximos rendimentos de grãos foram obtidos com populações iguais ou superiores a 80.000 plantas ha^{-1} . Estes resultados evidenciam que a recomendação de até 70.000 plantas ha^{-1} pode ser ampliada em ambientes favoráveis para elevar o

rendimento de grãos, desde que se usem híbridos tolerantes ao acamamento (ALMEIDA et al., 2000).

O melhor arranjo espacial de plantas na área pode contribuir para a correta exploração do ambiente e do genótipo (AMARAL FILHO, 2002). Ao definir o melhor arranjo de plantas, a escolha do genótipo também deve ser considerada. Híbridos tardios, de porte alto, que produzem muita massa, geralmente não se beneficiam de menores espaçamentos. Pelo grande desenvolvimento vegetativo, logo no início do ciclo, podem sombrear o espaço entre as linhas. Já os híbridos de ciclo menor, com pouco desenvolvimento de massa, tardam a fechar os espaços entre as linhas e, muitas vezes, nem conseguem sombrear toda a área. No entanto, a arquitetura foliar pode permitir benefícios na redução do espaçamento e aumento da população de plantas, independente do híbrido a ser utilizado.

2.5 INTERAÇÃO ENTRE ESPAÇAMENTO, DENSIDADE POPULACIONAL E GENÓTIPO

Com o surgimento de novos genótipos e técnicas de manejo para a cultura do milho, numerosos estudos têm sido realizados para a determinação do melhor espaçamento e densidade de semeadura. Os resultados encontrados variam em função do tipo e fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, luminosidade, genótipo, adubações e manejo utilizado (PEREIRA FILHO; OLIVEIRA; CRUZ, 1998). Todavia, Sangoi, Gracietti e Bianchetti (2002) consideram essenciais e ao mesmo tempo escassos no Brasil, trabalhos que visam quantificar o efeito do aumento da população de plantas sobre o desempenho de híbridos de milho, assim como identificar características morfológicas, fisiológicas e fenológicas que contribuam para tal. Da mesma forma, Molin (2000) salienta que a quantidade atual de pesquisa disponível não permite o estabelecimento da frequência de sucesso no uso de redução do espaçamento, visando incremento de rendimento de grãos. Para Argenta et al. (2001), justifica-se reavaliar as recomendações de espaçamentos e densidades de semeadura para a cultura de milho, em virtude das modificações introduzidas nos genótipos mais recentes, tais como menor altura de planta e de

inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo pendoamento-espigamento, angulação mais ereta de folhas e elevado potencial produtivo.

Paulo e Andrade (2003) avaliando o rendimento de grãos e outras características agrônômicas do híbrido AG 9010 submetido aos espaçamentos de 45 e 90 cm entre as linhas e as populações de 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha^{-1} , no Estado de São Paulo, não obtiveram resultados significativos na interação entre espaçamento e densidade de plantas. No entanto, o rendimento de grãos aumentou linearmente com o aumento da população de plantas, no intervalo considerado, em ambos os espaçamentos testados.

Quando se pensa em diminuir o espaçamento entre as linhas e/ou aumentar a densidade de plantas por área, a escolha do híbrido deve ser criteriosa (MUNDSTOCK, 1977). A resposta dos genótipos à redução de espaçamento entre as linhas é variável, diante da imprevisibilidade das condições ambientais ao longo das safras (diferentes condições de temperatura, qualidade da luz, disponibilidade de água e nutrientes) à qual as plantas são expostas, interferindo diretamente na eficiência de conversão da radiação.

Buscando verificar o comportamento de genótipos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades de semeadura, Resende, Von Pinho e Brito (2002) avaliaram dez genótipos de milho em três espaçamentos (45; 70 e 90 cm entre as linhas), combinados com três populações (55.000; 70.000 e 90.000 plantas ha^{-1}). Os resultados indicaram que o espaçamento de 70 cm entre as linhas proporcionou rendimento de grãos 17% superior ao espaçamento de 90 cm e 33% superior ao espaçamento de 45 cm. Porém, este último espaçamento, combinado com 70.000 plantas ha^{-1} , proporcionou rendimento médio de 4,8% superior àquele obtido na combinação com 55.000 plantas ha^{-1} . Nos espaçamentos de 70 e 90 cm, as diferenças foram respectivamente de 5,9 e 3,9% entre as duas populações mencionadas, podendo-se atribuí-las aos diferentes níveis de competição intraespecífica estabelecidos para cada arranjo de plantas. Pode-se considerar que, naquelas condições, a redução do espaçamento permitiu o aumento da população final, induzindo incremento de rendimento de grãos. Diferenças significativas entre os genótipos também foram observadas, indicando adaptabilidade variável em função das características fenotípicas, dos espaçamentos e das densidades utilizadas. A população que proporcionou maior rendimento de grãos foi a de 70.000

plantas ha^{-1} , seguida pela de 90.000 plantas ha^{-1} , independentemente do espaçamento utilizado.

O trabalho conduzido por Sangoi, Gracietti e Bianchetti (2002) no Estado de Santa Catarina teve por objetivo analisar o efeito de populações de plantas sobre o rendimento de grãos e características agronômicas de híbridos de milho, sendo que dois deles (AG 12 e AG 303, híbridos duplos das décadas de 70 e 80) reconhecidamente apresentam arquitetura de folhas normais ou abertas, porte médio a alto, com grande número e comprimento de folhas. O terceiro híbrido (DKB 929, híbrido simples da década de 90), apresenta características modernas com folhas mais curtas, eretas e em menor número, porte baixo e pendões com menor número de ramos. Todos os híbridos foram submetidos ao mesmo espaçamento e às populações de 25.000, 50.000, 75.000 e 100.000 plantas ha^{-1} . Observou-se que a resposta do rendimento de grãos ao incremento da população foi quadrática para todos os híbridos testados. Os híbridos antigos AG 12 e AG 303 foram mais produtivos do que o híbrido contemporâneo DKB 929 na menor população de plantas testada no trabalho. Por outro lado, o híbrido moderno foi mais exigente em população de plantas, requerendo 85.000 plantas ha^{-1} para maximizar o rendimento de grãos, enquanto que as populações ótimas para os híbridos lançados nas décadas de 70 e 80 foram de 71.000 e 70.000 plantas ha^{-1} , respectivamente. Mais de 5% das plantas dos híbridos AG 12 e AG 303 não produziram espigas na população de 100.000 plantas ha^{-1} , enquanto que, na mesma condição, todas as plantas do híbrido DKB 929 produziram espigas.

No Estado de Santa Catarina, Sangoi, Schmitt e Zanin (2007) desenvolveram um trabalho com o objetivo de determinar o efeito do incremento na população de plantas sobre a área foliar durante o enchimento de grãos e o rendimento de grãos dos híbridos de milho AG 303 (híbrido antigo, pouco adaptado a altas densidades) e Speed (híbrido contemporâneo, adaptado a altas densidades). Cada híbrido foi avaliado em cinco populações, equivalentes a 25.000, 50.000, 75.000, 100.000 e 125.000 plantas ha^{-1} . Verificaram que o rendimento dos dois híbridos aumentou quadraticamente com o aumento da população e a área foliar reduziu à medida que se elevou a população, em ambos os híbridos. Concluíram que o híbrido Speed foi mais exigente em população de plantas para otimizar o rendimento e apresentou senescência foliar mais lenta durante a fase de enchimento de grãos.

Palhares (2003) conduziu um experimento no Estado de São Paulo com o objetivo de avaliar o efeito de espaçamentos (40 e 80 cm entre as linhas) e de populações (30.000; 60.000 e 90.000 plantas ha^{-1}) sobre o rendimento de grãos de três genótipos de milho com arquiteturas foliares distintas: DKB 911 (ereta), AG 7575 (semi-ereta) e AG 1051 (aberta). Concluiu que em alta população (90.000 plantas ha^{-1}), a redução de 80 para 40 cm entre as linhas teve efeito positivo no rendimento de grãos do genótipo de arquitetura foliar aberta, devido a otimização de interceptação da luz. Até 60.000 plantas ha^{-1} , independente do genótipo, o rendimento foi estritamente crescente com o aumento da população. Com o aumento de 60.000 para 90.000 plantas ha^{-1} : (a) o genótipo de arquitetura foliar ereta apresentou incremento de rendimento de grãos; (b) o genótipo de arquitetura foliar semi-ereta apresentou tendência a estabilizar o rendimento de grãos; e (c) o genótipo de arquitetura foliar aberta apresentou tendência a estabilizar (sob espaçamento reduzido – 40 cm) ou reduzir (sob espaçamento de 80 cm) o rendimento de grãos.

Também no Estado de São Paulo, Demétrio (2008) desenvolveu um experimento com o objetivo de avaliar a influência de espaçamentos (45; 60 e 80 cm entre as linhas) e de populações (30.000; 50.000; 70.000 e 90.000 plantas ha^{-1}), em dois híbridos simples de milho semiprecoce (P30K73 e P30F80), quanto ao desempenho agrônomo da cultura. Concluiu que o rendimento de grãos aumentou com a redução do espaçamento e que o melhor arranjo espacial, para os híbridos 30K73 e 30F80, foi de 40 cm entre as linhas e de 75.000 e 80.000 plantas ha^{-1} de densidade populacional, respectivamente.

Cesaro (2009) avaliou o potencial produtivo do milho híbrido superprecoces AGN-30A06 em espaçamentos de 45, 60 e 80 cm entre as linhas e em populações de 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha^{-1} , submetido a diferentes manejos de adubação (fertilizante 9-33-12 na semeadura, nitrato de amônio na semeadura e em cobertura). Ao término da pesquisa, verificou que tanto a adubação quanto o espaçamento e a população de plantas proporcionaram significativas variações no rendimento de grãos, sendo que a utilização do espaçamento de 45 cm entre as linhas promoveu aumento do rendimento de grãos via incremento na densidade de plantas e o maior rendimento do híbrido foi observado quando utilizada a população de 80.000 plantas ha^{-1} .

2.6 HÍBRIDOS E ARQUITETURA DE PLANTAS DE MILHO

A arquitetura foliar é a característica morfológica que mais influencia a resposta do genótipo à densidade de plantas. Em uma planta de milho, a arquitetura foliar é representada pela interação do número de folhas, ângulo foliar, área foliar e distribuição ao longo do colmo. A importância da arquitetura foliar está relacionada com a maximização da interceptação da radiação solar pelo dossel, passo essencial para a maximização do rendimento de grãos (SANGOI et al., 2002b). A presença de menor número de folhas, de folhas mais eretas e de menor área foliar reduz o nível de interferência de uma planta sobre a outra, proporcionando benefícios ao rendimento de grãos com a utilização de maior número de plantas por área (TOLLENAAR; AGUILERA; NISSANKA, 1997).

Duvick e Cassman (1999) atribuíram o grande avanço em rendimento de grãos nas lavouras dos Estados Unidos à utilização de híbridos modernos que, segundo os autores, permitiram maior uso de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas, avanços no manejo da cultura e principalmente aumento da população de plantas. Assim, estes híbridos normalmente requerem maior densidade de plantas para a maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais indivíduos por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar. Isso comprova que as alterações no arranjo de plantas em milho surgiram frente a uma necessidade imposta pelas modificações de ordem genética, fisiológica, bioquímica e anatômica incorporadas pelos programas de melhoramento nas últimas décadas, (TOLLENAAR; AGUILERA; NISSANKA, 1997; TOLLENAAR; WU, 1999).

Recentemente, os diferentes arranjos espaciais de plantas têm sido discutidos com frequência, pela maior ou menor adaptação da cultura ao ambiente, decorrente das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais (geralmente com menor altura de plantas e de inserção das espigas, maior ou menor angulação de folhas e maior potencial produtivo, principalmente), como forma de maximizar o rendimento de grãos pela otimização do uso de fatores de produção, bem como maior uniformidade das raízes e redução da temperatura do solo (DEMÉTRIO, 2008).

Segundo Palhares (2003), a adaptabilidade observada entre diferentes genótipos de milho sob diversos arranjos espaciais de plantas e espaçamentos, certamente está associada à sua arquitetura foliar. O conceito atual de um genótipo moderno prevê a existência de um grande número de folhas com lâminas eretas e estreitas acima da espiga, pois estas são responsáveis por cerca de 50 a 80% da matéria seca acumulada nos grãos (FORNASIERI FILHO, 2007). Porém, Magalhães e Paiva (1997) ressaltam que, apesar da melhor interceptação de luz nesses genótipos modernos, muitos deles podem apresentar a limitação para a produção de grãos relacionada diretamente com sua habilidade em mobilizar e armazenar produtos fotossintetizados nos grãos e não na capacidade de produzir metabólitos (relação fonte/dreno), referindo-se ao modo de partição de fotoassimilados. Significa dizer que os sítios de atração e utilização de metabólitos (drenos), ao invés dos sítios de produção (fontes), são os reais agentes limitantes da taxa de produção de matéria seca. Especificamente nesses genótipos, a redução do ângulo foliar poderá não estar associada à elevação da produção, demonstrando a necessidade de maiores estudos sobre o assunto.

As plantas de milho seguem um mesmo padrão de desenvolvimento, porém, o intervalo de tempo específico entre os estádios e o número total de folhas desenvolvidas pode variar entre híbridos, anos agrícolas, datas de semeadura e locais diferentes (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Segundo Queiroz, Dias e Mantovani (2000), as características das culturas variam no espaço e no tempo. Os autores acreditam que para produzir grãos de milho de boa qualidade, várias recomendações técnicas devem ser atendidas, como, por exemplo, a adequada seleção de híbridos, manejo da cultura, água na quantidade necessária, umidade adequada para colheita, entre outros. Todos esses procedimentos e muitos outros são importantes para uma maior produção de grãos de milho, obtida com um menor custo possível.

A estrutura do dossel vegetal determina o microambiente ao redor das folhas, densidade de fluxo radiante, temperatura do ar, temperatura do solo, pressão de vapor do ar, temperatura da folha, calor armazenado no solo, velocidade do vento, interceptação da precipitação e duração de folha verde (NOBEL, 1991; NORMAN; CAMPBELL, 1989; ROSS, 1981). Então, a estrutura do dossel tem uma grande influência na troca de massa e energia entre a planta e o ambiente. Estrutura de dossel refere-se ao conteúdo e organização do material da planta acima do solo,

incluindo o tamanho, formato e orientação de órgão da planta, como folha, colmos, ramos, flores e frutos (NORMAN; CAMPBELL, 1989).

A maioria dos genótipos precoces cultivados no Brasil apresenta porte baixo, menor número de folhas e folhas mais eretas. Assim, estes híbridos normalmente requerem maiores densidades para a maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais plantas por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar. A produção das plantas, apresentando essas características, resulta em redução relativa dos custos de produção e manutenção por planta, como por exemplo, água e nutrientes (LOOMIS; CONNOR, 1992). O menor conteúdo de fitomassa por planta permite ter mais indivíduos por área, que a seu turno aumenta o índice de área foliar, que por sua vez, favorece uma interceptação mais efetiva da luz (TOLLENAAR, 1992).

Com o aumento da interceptação da radiação solar é obtido um aumento da produção de fitomassa seca pela comunidade (SINCLAIR, 1998). A mudança da arquitetura foliar também permitiu aos híbridos modernos manter maiores taxas fotossintéticas de folhas, em alta densidade, em relação aos híbridos clássicos (DWYER; TOLLENAAR; STEWART, 1991). Além disso, promove um aumento no uso eficiente da radiação solar durante o período de enchimento de grãos, que futuramente contribuirá para a produção de mais grãos por planta e maiores rendimentos de grãos por área (TOLLENAAR, 1992).

Em trabalho desenvolvido no Estado de São Paulo, Milani, Osuna e Churata (1999) avaliaram 300 progênies de meios irmãos com arquitetura “braquítica” em três populações (55.000; 62.500 e 71.000 plantas ha⁻¹). Este se mostrou adaptado às condições de adensamento, demonstrado pelo aumento de rendimento com a elevação do número de plantas por área.

Em 1973, o genótipo Piranão, que possui o alelo braquítico (br₂), foi comparado com dois genótipos de porte alto e foi considerado um material promissor para semeadura mais densa. Porém verificou-se a necessidade de melhorar a sua arquitetura, visando uma melhor utilização da energia luminosa (LEITE, 1973). Contudo, Pereira Filho (1977), avaliou o genótipo Piranão em Minas Gerais, nos espaçamentos de 50, 75 e 100 cm entre as linhas e verificou, para o caráter rendimento de grãos, resposta linear à redução do espaçamento.

Por outro lado, Kunz (2005) não encontrou relação entre característica genética (híbrido simples, duplo, triplo ou variedade) ou fenotípica (arquitetura de

planta) dos genótipos com o aumento de rendimento em função de uma melhor distribuição espacial de plantas, contrariando os resultados de Flesch e Vieira (2004). Segundo o autor, a diferenciação genética e arquitetura de plantas não são indicativos de resposta direta dos genótipos a alteração do espaçamento entre as linhas, por exemplo. Em contrapartida, o referido autor constatou que a redução do espaçamento aumentou significativamente o comprimento e a largura média das folhas, sendo que a área foliar por planta aumentou no espaçamento reduzido apenas para um dos quatro híbridos avaliados.

Tendo em vista os aspectos anteriormente mencionados, fica evidente que a resposta ao arranjo de plantas envolve a interação de vários fatores, mas principalmente o genótipo. Portanto, a cada híbrido obtido se faz necessário estudos mais detalhados para verificar o melhor arranjo espacial de plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na safra 2009 na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP), localizada no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul, situada a aproximadamente 20° 20' de latitude Sul e 51° 24' de longitude Oeste de Greenwich, com altitude de 350 m. O relevo é caracterizado como moderadamente plano e ondulado.

A área experimental (Figura 23) é cultivada em sistema plantio direto há mais de cinco anos e irrigada por aspersão por sistema do tipo pivô central fixo. No período de inverno de 2008, a área foi cultivada com feijão, permanecendo em pousio no verão seguinte.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo predominante da área, conforme a nova denominação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), é classificado como Latossolo Vermelho distrófico álico e de textura argilosa, o qual foi originalmente ocupado por vegetação de Cerrado e vem sendo explorado por culturas anuais há mais de 26 anos.

Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo da área na camada de 0 a 0,2 m, para análise conforme metodologia descrita por Rajj et al. (1996), cujas características químicas constam na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental na camada de 0 a 0,2 m. Selvíria – MS, Brasil (2009)⁽¹⁾.

Macronutrientes e resultados complementares											
pH	P ⁽²⁾	S ⁽³⁾	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	MO
CaCl ₂	– mg dm ⁻³ –		mmol _c dm ⁻³							%	g dm ⁻³
5,4	15	1	3,4	24	15	0	25	42,4	67,4	63	28

Micronutrientes				
B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg dm ⁻³				
0,25	2,9	22	26,6	0,6

⁽¹⁾ Método de análise do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS/FEIS/UNESP); ⁽²⁾ Método da Resina; ⁽³⁾ SO₄⁻².

Legenda: pH – pH em cloreto de cálcio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de trocar cátions a pH 7,0; V – saturação por bases; MO – matéria orgânica.

3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram estabelecidos cinquenta tratamentos com quatro repetições, os quais resultaram da combinação dos fatores híbridos de milho, espaçamentos e populações de plantas (Tabela 2). Os híbridos utilizados foram os seguintes: XB 6010, XB 6012, XB 7253, XB 9003 e AG 9010⁽¹⁾. Os espaçamentos adotados foram 45 e 90 cm entre as linhas. As populações planejadas foram 50.000, 60.000, 70.000, 80.000 e 90.000 plantas ha⁻¹, mas, devido ao ajuste pelo tamanho das parcelas e a presença de plantas “dominadas” e mortas, os valores observados na população final foram de 47.870, 56.018, 65.278, 72.932 e 81.358 plantas ha⁻¹.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema misto de faixas e fatorial. Os espaçamentos entre as linhas foram locados em sistema de faixas e as combinações híbridos x populações de plantas foram locadas em esquema fatorial 5 x 5 dentro de cada bloco e espaçamento.

⁽¹⁾ Nomes de produtos comerciais e sua utilização no experimento não caracterizam recomendação ou preferência do autor.

Tabela 2. Descrição sucinta dos tratamentos estudados no experimento. Selvíria – MS, Brasil (2009).

T	H	E	P	T	H	E	P
01	XB 6010	45	50.000	26	XB 7253	90	50.000
02	XB 6010	45	60.000	27	XB 7253	90	60.000
03	XB 6010	45	70.000	28	XB 7253	90	70.000
04	XB 6010	45	80.000	29	XB 7253	90	80.000
05	XB 6010	45	90.000	30	XB 7253	90	90.000
06	XB 6010	90	50.000	31	XB 9003	45	50.000
07	XB 6010	90	60.000	32	XB 9003	45	60.000
08	XB 6010	90	70.000	33	XB 9003	45	70.000
09	XB 6010	90	80.000	34	XB 9003	45	80.000
10	XB 6010	90	90.000	35	XB 9003	45	90.000
11	XB 6012	45	50.000	36	XB 9003	90	50.000
12	XB 6012	45	60.000	37	XB 9003	90	60.000
13	XB 6012	45	70.000	38	XB 9003	90	70.000
14	XB 6012	45	80.000	39	XB 9003	90	80.000
15	XB 6012	45	90.000	40	XB 9003	90	90.000
16	XB 6012	90	50.000	41	AG 9010	45	50.000
17	XB 6012	90	60.000	42	AG 9010	45	60.000
18	XB 6012	90	70.000	43	AG 9010	45	70.000
19	XB 6012	90	80.000	44	AG 9010	45	80.000
20	XB 6012	90	90.000	45	AG 9010	45	90.000
21	XB 7253	45	50.000	46	AG 9010	90	50.000
22	XB 7253	45	60.000	47	AG 9010	90	60.000
23	XB 7253	45	70.000	48	AG 9010	90	70.000
24	XB 7253	45	80.000	49	AG 9010	90	80.000
25	XB 7253	45	90.000	50	AG 9010	90	90.000

Legenda: T – tratamento; H – híbrido de milho; E – espaçamento entre as linhas (cm); P – população (plantas ha⁻¹).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS DE MILHO

A fim de que os resultados tenham representatividade para as lavouras comerciais, optou-se por híbridos de finalidade granífera recomendados para o

cultivo na região, cujas características agrônômicas e reações as principais doenças, de acordo com as empresas produtoras das sementes e com Cruz e Pereira Filho (2009), estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Principais características agrônômicas dos híbridos de milho utilizados no estudo. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Característica	Híbrido				
	XB 6010⁽¹⁾	XB 6012	XB 7253	XB 9003	AG 9010
Tipo	simples	simples	triplo	simples	simples
Ciclo	SP	P	P	SP	SP
Graus-dia ⁽²⁾	SI	SI	845	810	770
Stay green	SI	acentuado	bom	bom	excelente
Arquitetura foliar	SI	semi ereta	semi ereta	semi ereta	ereta
Altura de espiga (m)	1,15	1,15 a 1,3	1,0 a 1,3	0,8 a 1,1	1,0
Altura de planta (m)	2,1	2,0 a 2,25	2,2 a 2,3	1,8 a 1,95	2,0
Formato da espiga	cônica	cônica	cônica	cônica	SI
Debulha	boa	ótima	boa	boa	SI
Textura do grão	duro	semi duro	duro	duro	duro
Cor do grão	alaranjado	alaranjado	laranja	laranja	alaranjado
Diâmetro do sabugo	SI	médio	fino	fino	SI
Prolificidade	SI	excelente	regular	regular	SI
Resistência ao acamamento	média	média a alta	alta	alta	alta
Época de semeadura	C/N/S	C/N/S	C/N/T/S	C/N/S	C/N/S
Tecnologia	média a alta	média a alta	média a alta	média a alta	alta
População ⁽³⁾	50 a 55 / 45 a 50	50 a 55 / 40 a 45	50 a 55 / 40 a 45	55 a 60 / 50 a 55	65 a 70 / 55 a 60
<i>Cercospora sorghi</i>	MR	MR	MR	MR	BT
<i>Puccinia polysora</i>	MR	MR	MR	MR	MT
<i>Puccinia sorghi</i>	MR	MR	MR	MR	BT
<i>Phaeosphaeria maydis</i>	MR	MR	MR	MS	MT

Legenda: P – precoce; SP – superprecoce; C – cedo; N – normal; T – tarde; S – safrinha; SI – sem informação; BT – baixa tolerância; MT – medianamente tolerante; MR – medianamente resistente; MS – medianamente susceptível; ⁽¹⁾ híbrido experimental; ⁽²⁾ acúmulo de temperatura (unidade térmica) no período emergência-florescimento; ⁽³⁾ mil plantas ha⁻¹ na safra normal / mil plantas ha⁻¹ na safrinha.

3.5 PARCELAS EXPERIMENTAIS

As parcelas foram constituídas por sete e quatro linhas de 4,5 m de comprimento para os espaçamentos de 45 e 90 cm entre as linhas, perfazendo área total de 14,2 m² (3,15 x 4,5 m) e 16,2 m² (3,6 x 4,5 m), respectivamente. Para coleta dos dados foram utilizadas somente as quatro e as duas linhas centrais nos espaçamentos de 45 cm (Figura 5) e 90 cm entre as linhas (Figura 6), respectivamente. Assim, a área útil experimental foi de 8,1 m² em ambos os espaçamentos utilizados.

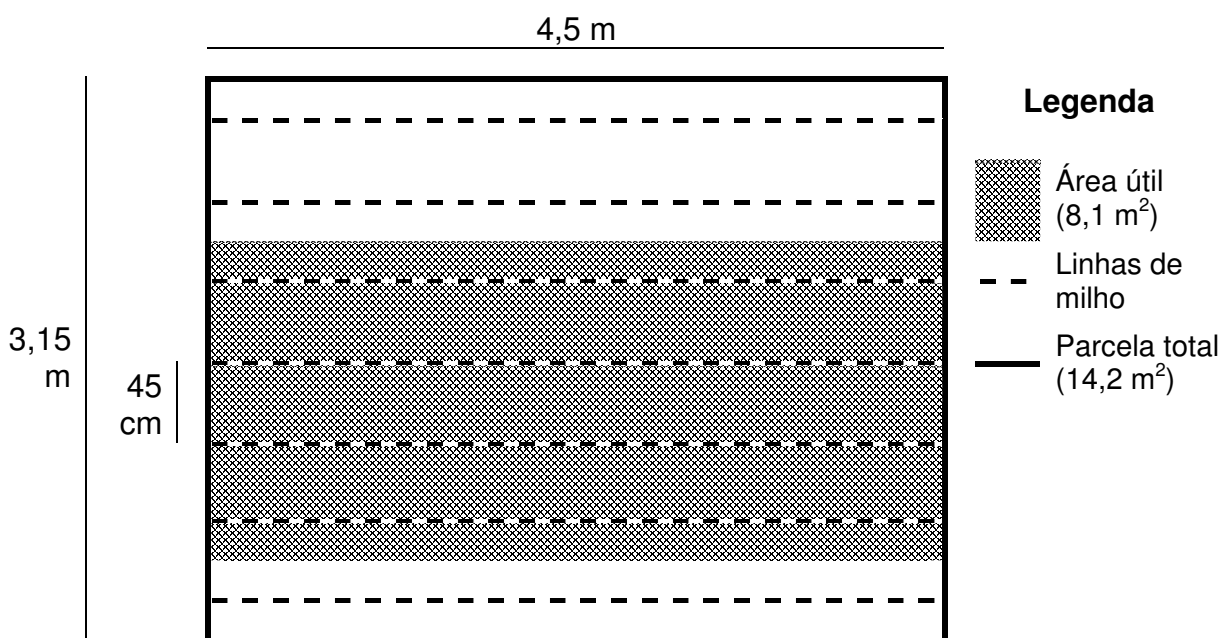


Figura 5. Esquematização da parcela experimental no espaçamento de 45 cm entre as linhas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

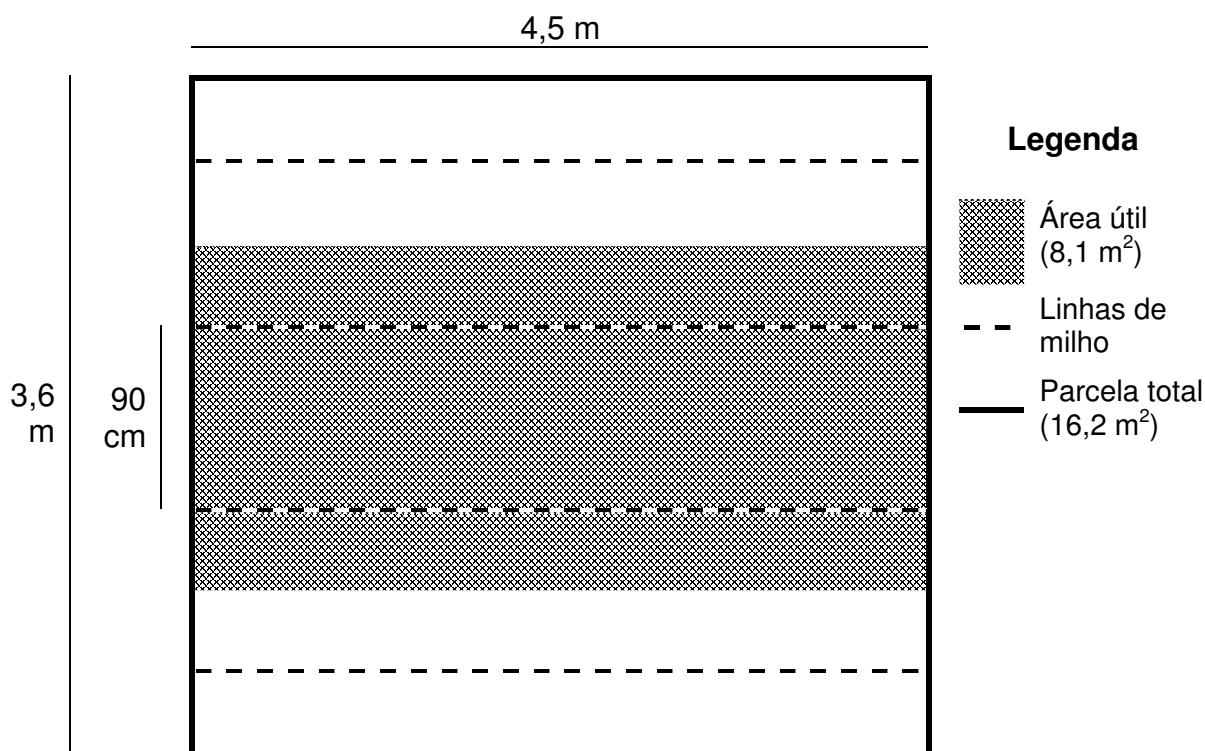


Figura 6. Esquematização da parcela experimental no espaçamento de 90 cm entre as linhas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

3.6 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Na semana que antecedeu a semeadura, as plantas daninhas presentes na área, na qual predominavam a trapoeraba [*Commelina benghalensis* (L.)] e a nabiça [*Raphanus raphanistrum* (L.)], foram dessecadas com glyphosate (herbicida sistêmico do grupo químico derivados de glicina), na dose de 1.920 g ha^{-1} do i.a.

As sementes foram tratadas com tiodicarbe (inseticida do grupo químico dos carbamatos), na dose de $1.050 \text{ g do i.a. para } 100 \text{ kg de sementes}$, objetivando evitar o ataque inicial de eventuais pragas de solo, especialmente lagarta elasmio [*Elasmopalpus lignosellus* (Zeller)] e cupins. A semeadura foi realizada no dia 20 de março de 2009, de forma manual com a utilização de matracas (Figura 24), sendo as covas espaçadas de forma equidistante de acordo com a população de plantas almejada e o espaçamento utilizado. Foi semeado o dobro da quantidade de sementes, em profundidade média de 4 cm. Quando as plantas apresentaram sete folhas completamente desdobradas foi realizado o desbaste (Figura 26), deixando-

se uma planta por cova, objetivando ajustar e assegurar as populações almejadas em cada parcela (Tabela 4), as quais foram mantidas até o ponto de colheita.

Tabela 4. Número de plantas de milho por metro e distância equidistante entre plantas na linha de semeadura após o desbaste para os diferentes arranjos espaciais. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Espaçamento	População almejada (plantas ha ⁻¹)				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
	Número de plantas por metro				
45 cm	2,25	2,7	3,15	3,6	4,05
90 cm	4,5	5,4	6,30	7,2	8,1
	Distância entre plantas na linha de semeadura (cm)				
45 cm	44,4	37,0	31,7	27,7	24,7
90 cm	22,2	18,5	15,9	13,9	12,3

Após a semeadura, a área foi irrigada por aspersão com uma lâmina de água de aproximadamente 13 mm para promover a germinação e emergência uniforme das plântulas, a qual ocorreu cinco dias após a semeadura.

A adubação mineral foi realizada com base nas características químicas do solo e nas recomendações propostas por Raij et al. (1996), com rendimento esperado de 8 t ha⁻¹. Foram aplicados 260 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 (+ 1% de Ca, 2% de S e 0,3% de Zn), ajustando-se a distribuição do fertilizante para cada espaçamento. É oportuno ressaltar que a abertura dos sulcos e a distribuição do fertilizante foram realizadas com semeadora específica para o sistema plantio direto, com mecanismo sulcador de hastes (tipo “botinha”) (Figura 23).

3.6.1 Tratos culturais

Durante a condução da cultura, foram realizadas as práticas fitotécnicas de acordo com a necessidade (BARBOSA, 2007). A adubação de cobertura foi realizada quando 50% das plantas apresentavam seis folhas completamente desdobradas (20 dias após a semeadura) (Figura 27), correspondendo ao estágio de desenvolvimento 2 da escala fenológica proposta por Fancelli e Dourado Neto

(1997), aplicando-se 110 kg ha^{-1} de N na forma de uréia. A aplicação do fertilizante nitrogenado foi de forma mecanizada em cobertura superficial à lanço (sem incorporação), seguida de irrigação por aspersão (lâmina de aproximadamente 13 mm), para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia, conforme ressaltado por Costa et al. (2004). Esta operação é comum nos sistemas de produção de milho irrigado quando se utiliza a uréia como fonte de nitrogênio.

O manejo fitossanitário foi realizado com produtos específicos para cada caso, visando manter a cultura em condições adequadas de sanidade sem interferir em seu crescimento e desenvolvimento. No intuito de manter a cultura livre da competição com plantas daninhas, aplicou-se atrazina (herbicida do grupo químico das triazinas) e tembotriona (herbicida sistêmico do grupo químico benzoilciclohexanodiona), nas doses de 1.000 e 84 g ha^{-1} do i.a., respectivamente, em forma de mistura. Adicionou-se na calda de aplicação o adjuvante éster metilado de óleo de soja (720 g ha^{-1} do i.a.). É oportuno destacar que no momento da aplicação, as plantas daninhas estavam nos estádios iniciais de desenvolvimento e que a cultura encontrava-se com 50% das plantas com cinco folhas completamente desdobradas (17 dias após a semeadura).

Para o controle da lagarta do cartucho [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)], foi suficiente uma aplicação de zetacypermethrin (inseticida do grupo químico dos piretroides) na dose de 20 g ha^{-1} do i.a., quando 20% das folhas encontravam-se raspadas, visando evitar a ocorrência de danos severos provocados pela referida praga. A aplicação foi realizada conjuntamente com os herbicidas pós-emergentes.

As aplicações dos produtos fitossanitários foram realizadas mediante o uso de pulverizador de barras tratorizado, bicos leques, regulado para aplicar 220 L ha^{-1} de calda. O fornecimento de água à cultura, quando necessário (períodos de estiagem), foi realizado por aspersão com lâmina de água de aproximadamente 13 mm e turno de irrigação de três dias (Figura 28).

A colheita do milho foi realizada manualmente (Figura 29), no dia 28 de julho de 2009, correspondendo a 130 dias após a semeadura, momento no qual os grãos apresentavam-se, em média, com 220 g kg^{-1} de teor de água (base úmida – “b.u.”). Por um período de vinte dias, as espigas foram acondicionadas sobre bancadas, em local sombreado e ventilado, favorecendo a perda de água dos grãos (Figura 29). Em seguida, quando os grãos apresentavam-se, em média, com 150 g kg^{-1} de teor de água (b.u.), as espigas foram submetidas à trilha mecânica.

3.7 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DADOS CLIMÁTICOS

O clima predominante da região, conforme classificação de Koppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação pluvial média anual é de 1.330 mm, com temperatura média anual de aproximadamente 25 °C e umidade relativa do ar média anual de 66% (CENTURION, 1982).

Os dados de umidade relativa do ar média e precipitação pluvial, por decêndio, registrados durante a condução do experimento (20 de março a 28 de julho de 2009) constam na Figura 7. O total de precipitação pluvial registrado no período experimental foi de 158 mm. Valores de temperatura do ar mínima, máxima e média e velocidade do vento, por decêndio, podem ser observados na Figura 8. Os dados climáticos foram coletados em Estação Meteorológica, localizada a aproximadamente 700 m da área experimental.

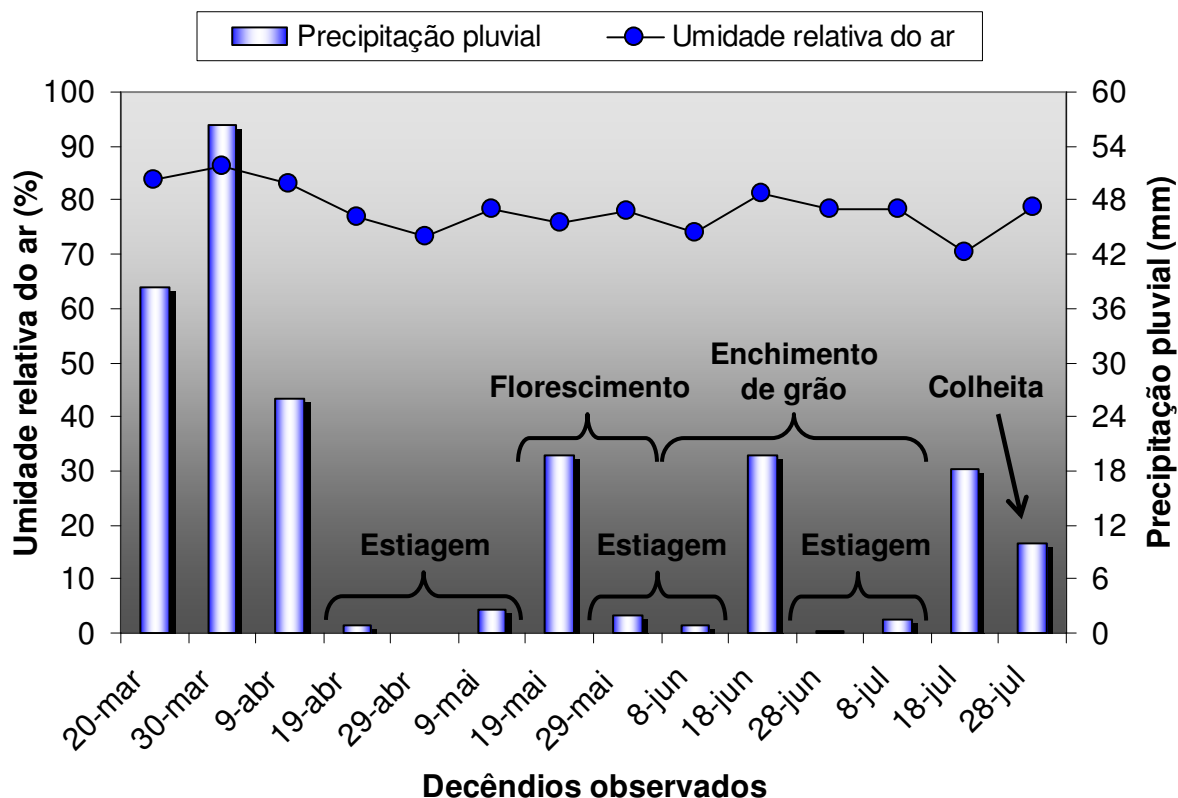


Figura 7. Umidade relativa do ar média e precipitação pluvial, por decêndio, registrados durante a condução do experimento. Selvíria – MS, Brasil (2009).

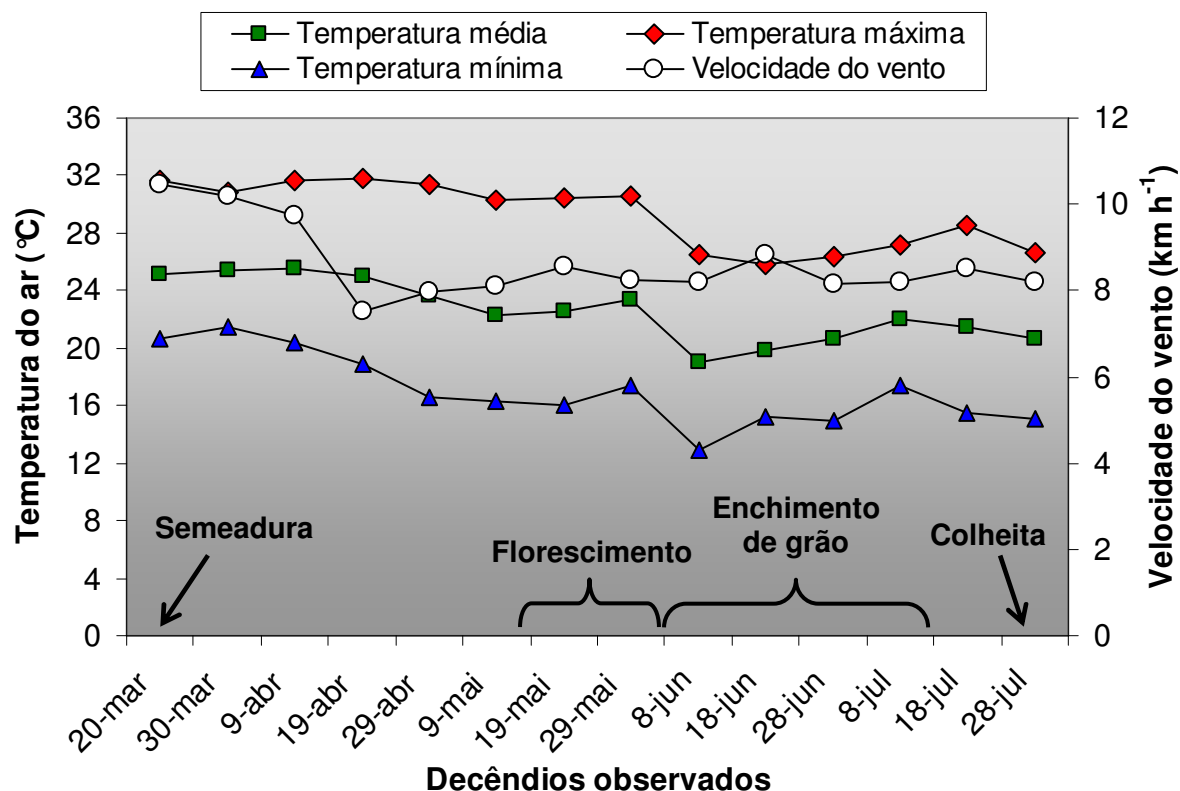


Figura 8. Temperatura mínima, máxima e média do ar e velocidade do vento, por decêndio, registrados durante a condução do experimento. Selvíria – MS, Brasil (2009).

3.8 AVALIAÇÕES FITOTÉCNICAS

Durante o período de desenvolvimento e colheita da cultura, foram mensurados caracteres morfológicos de plantas, caracteres de espiga e componentes de produção.

3.8.1 Caracteres morfológicos de plantas

3.8.1.1 Florescimento feminino

O florescimento feminino foi avaliado pelo número de dias, contabilizados a partir da semeadura, para que 50% das plantas na área útil das parcelas apresentassem os estilo-estigmas (“cabelos”) emitidos com no mínimo três cm de comprimento, correspondendo ao estágio 5 de acordo com a escala fenológica proposta por Fancelli e Dourado Neto (1997).

Com base nos dados diários de temperatura do ar máxima e mínima, calculou-se o número de graus-dia necessário, a partir da emergência, para o início do florescimento feminino das plantas, pela somatória dos graus-dia acumulados (acúmulo diário da energia acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta), por meio da equação 1, utilizada por Silva et al. (2001).

$$GD = \sum \frac{(T \text{ máx} + T \text{ mín}) - T_b}{2} \quad (1)$$

em que:

GD: total de graus-dia acumulados no período emergência-florescimento;

T máx: temperatura máxima diária do ar (°C), em que temperaturas máximas superiores a 30 °C foram consideradas iguais a 30 °C;

T mín: temperatura mínima diária do ar (°C), em que temperaturas mínimas inferiores a 10 °C foram consideradas 10 °C;

T_b: temperatura base da cultura (°C), sendo a temperatura base adotada para a cultura do milho de 10 °C.

3.8.1.2 Acamamento e quebramento de planta

O acamamento foi determinado pelo percentual de plantas acamadas (colmo formando ângulo maior que 20° com a vertical), enquanto que o quebramento foi determinado pelo percentual de plantas com o colmo quebrado abaixo da inserção da espiga principal em relação ao estande final (número total de plantas na área útil da parcela) por ocasião do ponto de colheita.

3.8.1.3 Altura de planta

A determinação da altura média de planta foi realizada por ocasião do pleno florescimento pela medição do comprimento do colmo (da superfície do solo até a base da folha “bandeira”) com auxílio de régua graduada de madeira. Foram avaliadas cinco plantas contínuas na linha de semeadura e representativas da área útil de cada parcela.

3.8.1.4 Altura de inserção de espiga

A altura média de inserção de espiga foi obtida pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal com o colmo, em pleno florescimento. Foram consideradas as mesmas plantas utilizadas para a determinação da altura média de planta.

3.8.1.5 Diâmetro de colmo

Simultaneamente as determinações de altura de planta e de inserção de espiga, foi determinado o diâmetro de colmo. Considerou-se o diâmetro do segundo internódio, a partir da base da planta, o qual foi mensurado pelo uso de paquímetro. Vale ressaltar que tal determinação foi realizada por ocasião do pleno florescimento e que as plantas avaliadas foram as mesmas utilizadas na obtenção da altura média de planta e de inserção de espiga.

3.8.2 Caracteres de espiga e componentes de produção

3.8.2.1 Comprimento de espiga

A determinação do comprimento médio de espiga foi realizada após a colheita e antes da trilha dos grãos, coletando-se aleatoriamente dez espigas despalhadas em cada parcela, as quais foram medidas da base até o ápice com a utilização de régua graduada.

3.8.2.2 Diâmetro de espiga

O diâmetro médio de espiga foi obtido medindo-se o ponto correspondente ao centro da espiga. Foram amostradas dez espigas em cada parcela, após a colheita e antes da trilha dos grãos, sendo essas as mesmas utilizadas na determinação do comprimento médio de espiga.

3.8.2.3 Diâmetro de sabugo

O diâmetro médio de sabugo foi determinado após a debulha das espigas colhidas na área útil da parcela. Nesta avaliação, considerou-se a medição do ponto central de dez sabugos.

3.8.2.4 Comprimento de grão

O comprimento médio de grão foi obtido pela diferença entre o diâmetro de espiga e o diâmetro de sabugo, dividindo-se o valor por dois.

3.8.2.5 Número de fileiras de grãos por espiga

O número médio de fileiras de grãos da espiga foi determinado pela simples contagem. Foram amostradas dez espigas em cada parcela, após a colheita e antes da trilha dos grãos. Consideraram-se as mesmas espigas utilizadas na determinação do comprimento e diâmetro médio de espiga.

3.8.2.6 Prolifividade

A prolifividade foi determinada pela contagem do número de espigas colhidas na área útil da parcela, sendo que o número obtido foi dividido pelo número de plantas, obtendo-se assim, o número médio de espiga por planta. Foram consideradas apenas espigas que apresentavam grãos formados.

3.8.2.7 Massa de mil grãos

Após a debulha das espigas colhidas na área útil das parcelas, determinou-se a massa média de grãos. Aleatoriamente, foi coletada uma subamostra de cem grãos por parcela, a qual foi submetida à pesagem em balança de precisão (0,01 g) e à determinação do teor de água, possibilitando estimar a massa dos grãos corrigida para 130 g kg⁻¹ (b.u.). Os resultados foram extrapolados para massa de mil

grãos. Cabe salientar que o teor de água dos grãos foi obtido pelo método elétrico não-destrutivo indireto, mediante o uso do aparelho portátil *Multi-grain* (Dickey-John®), o qual propicia leitura direta em display digital.

3.8.2.8 *Rendimento de grãos*

O rendimento de grãos foi obtido a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos das espigas colhidas na área útil das parcelas, o qual foi convertido para kg ha⁻¹ e corrigido para 130 g kg⁻¹ de teor de água (b.u.).

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Na análise estatística de acamamento e quebramento de plantas, os resultados foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$ para atenderem aos pressupostos básicos da análise de variância (ANOVA). Para os demais caracteres avaliados os resultados não foram transformados.

Em seguida, os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Quando constatada interação significativa entre as fontes de variação, procedeu-se o desdobramento, comparando as médias de híbrido e de espaçamento pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002). O efeito de população de plantas foi analisado por regressão polinomial, ajustando-se modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), para melhor discussão dos resultados. Quando ambas as equações apresentaram significância, foi feita a opção por aquela com maior valor F.

O esquema da análise de variância utilizado, mostrando as fontes de variação, os graus de liberdade, os quadrados médios e a obtenção dos valores do teste F, é apresentado na Tabela 5. Utilizou-se o software SAS (1994) para as análises.

Tabela 5. Esquema da análise de variância (teste F). Selvíria – MS, Brasil (2009).

Fonte de variação	GL teórico	GL real (nº)	QM	Valor F
Bloco (B)	$(b - 1)$	3	QM ₁	QM ₁ /QM ₅
Híbrido (H)	$(h - 1)$	4	QM ₂	QM ₂ /QM ₅
População (P)	$(p - 1)$	4	QM ₃	QM ₃ /QM ₅
H x P	$(h - 1) \times (p - 1)$	16	QM ₄	QM ₄ /QM ₅
B x (H x P) ⁽¹⁾	$(b - 1) \times (hp - 1)$	72	QM ₅	–
Espaçamento (E)	$(e - 1)$	1	QM ₆	QM ₆ /QM ₇
B x E ⁽²⁾	$(e - 1) \times (b - 1)$	3	QM ₇	–
H x E	$(h - 1) \times (e - 1)$	4	QM ₈	QM ₈ /QM ₁₁
E x P	$(e - 1) \times (p - 1)$	4	QM ₉	QM ₉ /QM ₁₁
E x H x P	$(e - 1) \times (h - 1) \times (p - 1)$	16	QM ₁₀	QM ₁₀ /QM ₁₁
Resíduo ⁽³⁾	$(hp - 1) \times (e - 1) \times (b - 1)$	72	QM ₁₁	–
Total	$hpeb - 1$	199	–	–

⁽¹⁾ Erro A (resíduo); ⁽²⁾ Erro B (resíduo); ⁽³⁾ Erro C (resíduo).

Legenda: GL – graus de liberdade; QM – quadrado médio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO EXPERIMENTAL

As condições climáticas transcorridas durante a condução do experimento (Figuras 7 e 8) demonstram que a umidade relativa do ar, temperatura do ar (mínima, máxima e média) e velocidade do vento não constituíram, de modo geral, fatores limitantes ao desenvolvimento adequado da cultura.

No período do verão, o regime pluvial na região não impede o desenvolvimento da maioria das culturas exploradas economicamente. Entretanto, a precipitação pluvial total constatada durante a condução do experimento (158 mm) foi considerada inadequada para o bom desenvolvimento da cultura. A literatura tem mostrado que a cultura do milho exige em média entre 350 e 500 mm de precipitação para que produza satisfatoriamente (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000), sem a necessidade de irrigação. Entretanto, os máximos rendimentos de grãos são observados quando o consumo de água durante todo o ciclo está entre 500 e 800 mm (FANCELLI, 2001). Em condições de clima quente e seco, o consumo de água raramente excede 3 mm dia^{-1} quando a planta apresenta em torno de 30 cm de altura e, no período que vai da iniciação floral a maturação, pode atingir valores entre 5 e 7 mm dia^{-1} (LANDAU; SANS; SANTANA, 2008). Para fins de planejamento e manejo, considera-se 4 mm dia^{-1} como sendo o consumo médio diário pelo milho, independente do estágio fenológico.

A falta de água no solo afeta todos os aspectos ligados ao crescimento das plantas, reduz a área foliar e diminui a taxa fotossintética. Os períodos de déficit hídrico de uma semana por ocasião do início do florescimento podem promover queda de rendimento de grãos ao redor de 40 a 50%, ao passo que sob as mesmas condições de déficit hídrico posteriores a plena fecundação, acarretará danos da ordem de 25 a 32%. Penariol et al. (2003) destacam que o rendimento de grãos pode ficar comprometido se a deficiência hídrica coincidir com o período do florescimento, fase que determina a quantidade de óvulos a serem fecundados e, por consequência, a produção de grãos. Para Cruz et al. (2006), o déficit hídrico

pode ocasionar danos em todos os estádios de desenvolvimento.

No presente estudo, a ocorrência de três períodos de estiagem durante o desenvolvimento da cultura (Figura 7) (no final da fase vegetativa; no final do período de florescimento e início de enchimento de grãos; e nos 50% finais da fase de enchimento de grãos), justificou a utilização da irrigação suplementar, especialmente no florescimento e enchimento de grãos. A estiagem no período de florescimento, mesmo que em curta duração, apresenta-se como um fator de restrição ao rendimento de grãos (LIANG; REMILLARD; MACKENZIE, 1992), especialmente sobre o número de grãos por espiga. Em virtude da adoção desta tecnologia, os danos mencionados por Cruz et al. (2006), Liang, Remillard e Mackenzie (1992) e Penariol et al. (2003), foram minimizados, visto que os rendimentos de grãos obtidos pelos diferentes híbridos foram considerados bons por se tratar de cultivo safrinha, que apresenta um potencial produtivo menor que a do milho semeado na primeira safra (DUARTE, 2004).

Os dados de temperatura do ar (Figura 8), fator que intervém em quase todas as funções da planta (FORNASIERI FILHO, 1992), também foram adequados para o desenvolvimento da cultura, haja vista que o milho produz melhor em temperaturas moderadas (DIDONET et al., 2002) e que a variação constatada foi entre 12,9 e 31,8 °C. A temperatura ideal durante o dia é cerca de 27 °C. Ao contrário da crença popular, elevadas temperaturas noturnas não são benéficas para a produção do milho (HOEFT, 2003), pois proporciona redução acentuada do ciclo da planta, em função do incremento da somatória térmica (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Embora o milho responda à interação dos diversos fatores climáticos, os de maior influência sobre a cultura são a radiação solar, a precipitação e a temperatura (LANDAU; SANS; SANTANA, 2008) e o vento (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Estes fatores atuam eficientemente nas atividades fisiológicas interferindo diretamente no rendimento de grãos e na matéria seca das plantas.

Dessa maneira, para a região é recomendável a busca de sistemas de cultivos que mantenham a superfície do solo protegida com resíduos vegetais, como por exemplo, o sistema plantio direto. O material orgânico depositado sobre o solo, além de ser importante fonte de nutrientes, melhora as condições físicas e biológicas, diminui a amplitude térmica e a evaporação, aumenta a capacidade de retenção de água e é responsável, em grande parte, pela CTC do solo, constituindo-

se em uma alternativa para exploração agrícola, principalmente na ocorrência constante de veranicos.

4.2 CARACTERES MORFOLÓGICOS DE PLANTAS

Os resultados da análise de variância referentes aos caracteres morfológicos de plantas são apresentados nas Tabelas 6 e 7, com os valores de F calculado para os fatores testados e suas respectivas interações e significâncias, bem como as médias observadas. Na Tabela 6, encontra-se o resumo da análise de variância para os caracteres florescimento feminino, acamamento de planta e quebramento de planta por ocasião da colheita. Os caracteres altura de planta, altura de inserção de espiga e diâmetro de colmo, por ocasião do pleno florescimento, estão inseridos na Tabela 7.

Com relação às variações relativas dos caracteres morfológicos, medidas pelo coeficiente de variação e segundo classificação sugerida por Pimentel Gomes (1990), o acamamento e o quebramento de planta apresentaram coeficientes de variação considerado muito alto ($>30\%$), ao passo que florescimento feminino, altura de planta e de inserção de espiga e diâmetro de colmo apresentaram coeficientes de variação baixos ($<10\%$), demonstrando haver boa precisão experimental (CARVALHO et al., 2003).

Apesar de acamamento e quebramento de planta terem apresentado coeficientes de variação muito elevado, 32,67 e 42,05% respectivamente, tais características serão discutidas, pois de acordo com Marchão et al. (2005) os valores de acamamento e quebramento, normalmente apresentam alto coeficiente de variação. Esse fato é explicado pela forma como tais caracteres são mensurados, geralmente utilizando-se a porcentagem de plantas afetadas. Como resultado, pode-se ter uma distribuição heterogênea entre as repetições de um mesmo tratamento, o que resulta em aumento do coeficiente de variação, não por erro na condução do experimento, mas devido ao efeito da forma de avaliação dos caracteres.

Tabela 6. Valores médios de florescimento feminino (FF), acamamento (AC) e quebramento de planta (QB) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Tratamentos	— FF —	AC		QB	
	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)
	— dias —	%			
Híbrido (H)					
XB 6010	56,7	0,73 ab	0,05	1,06 ab	0,84
XB 6012	62,1	0,87 a	0,43	0,86 b	0,36
XB 7253	59,9	0,81 ab	0,28	1,32 a	1,72
XB 9003	56,8	0,71 b	0,00	0,88 b	0,41
AG 9010	49,0	0,73 ab	0,04	0,84 b	0,66
DMS (5%)	—	0,15	—	0,33	—
Teste F	750,37 **	3,59 *	—	4,92 **	—
Espaçamento (E)					
45 cm	56,7	0,75	0,10	0,99	0,73
90 cm	57,1	0,79	0,22	1,04	0,86
Teste F	3,94	2,31	—	1,10	—
População (P)					
50.000 plantas ha ⁻¹	56,1	0,71	0,00	0,99	0,73
60.000 plantas ha ⁻¹	56,7	0,75	0,10	0,86	0,38
70.000 plantas ha ⁻¹	56,7	0,74	0,09	0,94	0,62
80.000 plantas ha ⁻¹	57,9	0,78	0,18	1,04	0,80
90.000 plantas ha ⁻¹	57,6	0,87	0,43	1,26	1,47
Teste F	9,96 **	2,73 *	—	3,31 *	—
H x P	1,86 *	1,41	—	0,76	—
Teste F H x E	2,16	1,34	—	0,19	—
(interação) E x P	1,55	1,50	—	0,47	—
E x H x P	0,63	0,92	—	0,50	—
Média geral	56,9	0,77	0,16	1,02	0,80
CV (%)	1,76	32,67	—	42,05	—

** e * – significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação; ⁽¹⁾ Obtido dos resultados transformados em $\sqrt{x + 0,5}$; ⁽²⁾ Médias originais.

Tabela 7. Valores médios de altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AE) e diâmetro de colmo (DC) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Tratamentos	AP	AE	DC
	cm		mm
Híbrido (H)			
XB 6010	231,0 b	121,8 b	19,9 b
XB 6012	229,8 b	142,0 a	19,0 c
XB 7253	238,6 a	145,4 a	18,8 c
XB 9003	214,7 c	104,3 c	20,7 a
AG 9010	195,1 d	92,8 d	19,0 c
DMS (5%)	6,44	5,02	0,82
Teste F	112,57 **	328,97 **	14,96 **
Espaçamento (E)			
45 cm	221,2	121,1	20,1 a
90 cm	222,5	121,5	18,9 b
DMS (5%)	—	—	0,64
Teste F	0,76	0,21	31,23 *
População (P)			
50.000 plantas ha ⁻¹	222,3	118,4	21,6
60.000 plantas ha ⁻¹	220,0	118,7	20,2
70.000 plantas ha ⁻¹	222,4	122,3	19,0
80.000 plantas ha ⁻¹	223,6	123,0	18,8
90.000 plantas ha ⁻¹	220,9	124,0	17,9
Teste F	0,73	4,05 **	44,78 **
H x P	1,16	0,88	0,91
Teste F H x E	0,26	0,47	1,60
(interação) E x P	2,76 *	1,38	0,76
E x H x P	0,79	0,64	1,20
Média geral	221,8	121,3	19,5
CV (%)	3,83	5,75	6,25

** e * – significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

4.2.1 Florescimento feminino

O número de dias entre a emergência e floração é um importante referencial do desenvolvimento da planta de milho, pois há correlação positiva entre essa característica e a área foliar, o número de folhas e a altura de planta (SANGOI et al., 2001), podendo resultar em maior rendimento de grãos.

No presente estudo, o espaçamento entre as linhas de milho não influenciou no número de dias para o florescimento feminino das plantas (Tabela 6). Por outro lado, foi constatado efeito independente de híbrido e população de plantas e interação significativa entre estes fatores. Analisando o comportamento de híbrido dentro das respectivas populações, pelo desdobramento (Tabela 8), verifica-se diferença significativa entre os híbridos em todas as populações avaliadas, sendo que em 50.000 e 80.000 plantas ha^{-1} e em 70.000 e 90.000 plantas ha^{-1} , os híbridos se comportaram de maneira similar. Em todas as populações, o híbrido AG 9010 foi o que necessitou de menos dias para que 50% das plantas alcançassem o florescimento feminino, evidenciando sua característica de superprecocidade relatada pela empresa produtora das sementes e por Cruz e Pereira Filho (2009) (Tabela 3). Por outro lado, com o híbrido XB 6012 constatou-se o contrário, pois foi necessário maior número de dias para as plantas atingirem o florescimento feminino, porém não diferindo do híbrido XB 7253 nas populações de 50.000 e 80.000 plantas ha^{-1} . Os híbridos XB 6010 e XB 9003 tiveram comportamento similar sob todas as populações de plantas e não se diferenciaram significativamente.

Tabela 8. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para florescimento feminino (dias) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Híbrido	População (plantas ha^{-1})				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
XB 6010	54,9 b	57,5 bc	56,1 c	57,4 b	57,7 c
XB 6012	61,1 a	61,9 a	62,4 a	62,2 a	63,0 a
XB 7253	59,2 a	59,6 b	60,1 b	60,2 a	60,5 b
XB 9003	56,2 b	55,7 c	56,7 c	57,4 b	57,7 c
AG 9010	49,0 c	49,0 d	49,0 d	49,0 c	49,1 d

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Na análise de regressão, com exceção do AG 9010, todos os híbridos responderam de forma linear positiva ao aumento da densidade populacional (Figura 9), demonstrando que o incremento na população de plantas proporciona maior longevidade da fase vegetativa da cultura. A arquitetura diferenciada do AG 9010 permite um adensamento sem interferência nos processos fisiológicos envolvidos no florescimento. Os resultados, de certa maneira, contradizem os obtidos por Palhares (2003), ao verificar que o início do florescimento foi praticamente o mesmo sob os diferentes arranjos espaciais de plantas avaliados, variando exclusivamente em função do genótipo.

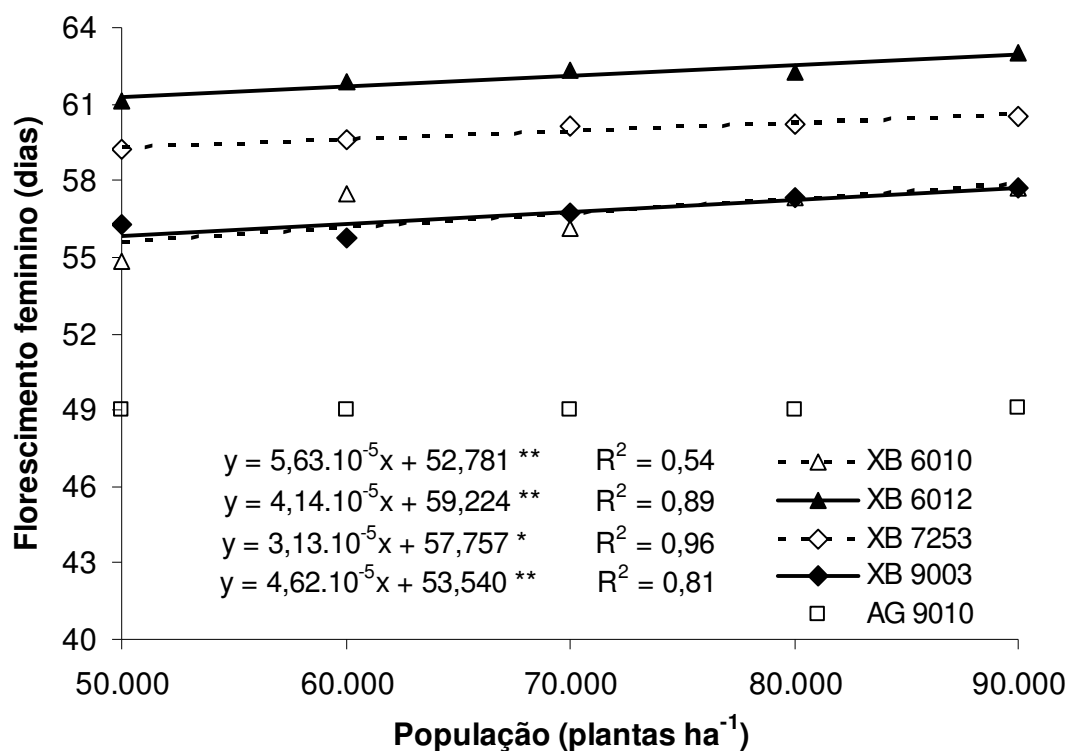


Figura 9. Florescimento feminino de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Diversos autores utilizam as aplicações de graus-dia para relacionar a temperatura ambiente com o desenvolvimento das plantas de milho (BARBANO et al., 2001; MANFRON et al., 2003; MÜLLER et al., 2005). Segundo Barbano et al. (2001), o acúmulo de graus-dia é de extrema relevância no processo de otimização e redução dos riscos climáticos, uma vez que o conhecimento das exigências térmicas de uma cultura contribui para a previsão da duração do ciclo da planta em

função dos fatores ambientais. Na representação gráfica (Figura 10), nota-se que os híbridos XB 7253 e XB 9003 apresentaram acúmulo de graus-dia no período emergência-florescimento feminino condizente com as informações técnicas das empresas produtoras das sementes e de Cruz e Pereira Filho (2009) (Tabela 3). Contudo, o AG 9010 necessitou de menos graus-dia para iniciar o florescimento do que o informado. Os híbridos XB 6010 e XB 6012, apesar de não terem sido encontradas informações na literatura quanto à soma térmica, necessitaram de 814,5 e 864,1 graus-dia para atingirem o florescimento, respectivamente. Porém, analisando o ciclo, todos os genótipos apresentaram-se condizentes às informações relatadas, pois conforme Cruz et al. (2006) e Fancelli e Dourado Neto (1997), o milho apresenta as seguintes exigências térmicas: (i) híbridos tardios: superior a $890\text{ }^{\circ}\text{C dia}^{-1}$; (ii) híbridos precoces: superior a $831\text{ }^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ e inferior $890\text{ }^{\circ}\text{C dia}^{-1}$; e (iii) híbridos superprecoces: inferior a $830\text{ }^{\circ}\text{C dia}^{-1}$.

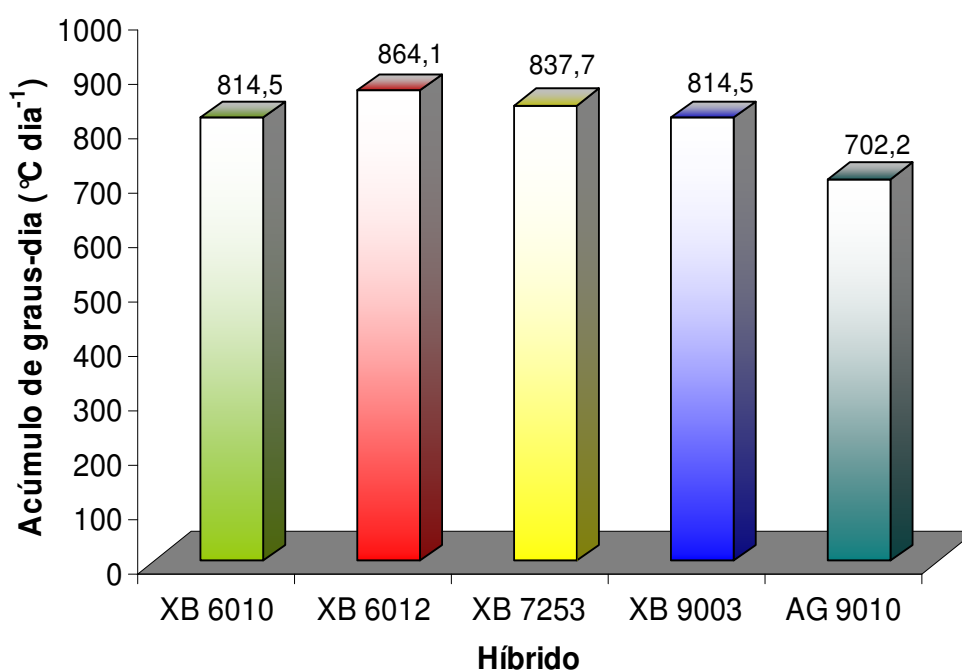


Figura 10. Graus-dia acumulados pelos híbridos de milho no período emergência-florescimento feminino. Selvíria – MS, Brasil (2009).

4.2.2 Acamamento e quebramento de planta

A qualidade do colmo é uma das mais importantes características do milho para a produção em larga escala com colheita mecanizada, podendo ser avaliada pela porcentagem de plantas acamadas e quebradas (MIRANDA et al., 2003). A resistência do colmo ao acamamento e quebramento antes da colheita é fundamental para que o potencial produtivo de híbridos possa ser devidamente explorado pelo aumento na população de plantas (SANGOI et al., 2002a). Entretanto, no presente trabalho, os valores médios de acamamento e quebramento de planta foram baixos, até na população de 90.000 plantas ha⁻¹, possivelmente por não terem ocorrido doenças de colmo e condições climáticas adversas, como chuvas e ventos fortes (Figuras 7 e 8).

Tais caracteres tiveram comportamento semelhante neste estudo ao não serem afetados pela alteração no espaçamento, mas apenas pelos híbridos e populações de plantas de forma independente, sendo que entre os fatores testados não houve interação significativa (Tabela 6). O híbrido XB 9003 destacou-se pela ausência de acamamento de planta, porém não se diferenciou dos genótipos XB 6010, XB 7253 e AG 9010. Fica evidente que a ocorrência de acamamento com o aumento da densidade populacional é dependente do material. Kunz (2005) observou aumento do acamamento em dois dos quatro híbridos de milho avaliados. Essa diferença entre híbridos é justificada pelo autor por três motivos: alguns híbridos são naturalmente susceptíveis ao acamamento em altas populações; ao aumento de doenças de colmo; e à redução do sistema radicular, fragilizando a sustentação da planta.

Com certa semelhança ao obtido neste estudo, Schwantes et al. (2007) reduziram o espaçamento de 76 para 38 cm entre as linhas em quatro genótipos de milho (P30F80, P30K75, P30P70 e X1392D) e não constataram influência dessa redução sobre o acamamento de planta. No Estado do Paraná, Carvalho (2007) variou três espaçamentos (40; 60 e 80 cm entre as linhas) combinado com três populações (60.000; 80.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) e obteve a mesma constatação de Schwantes et al. (2007). No entanto, Kunz (2005) obteve menor acamamento de planta no espaçamento de 90 cm em relação ao de 45 cm entre as linhas de milho, mas não justificou o motivo.

O percentual de plantas acamadas aumentou linearmente com o incremento da população de plantas (Figura 11), discordando dos dados de Sangoi et al. (2002a) que não observaram variação na porcentagem de plantas acamadas com o aumento de 25.000 para 100.000 plantas ha⁻¹ em três híbridos de milho. O fato aqui evidenciado é justificado pela maior competição intraespecífica pelos recursos do ambiente (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI; SALVADOR, 1998), prejudicando a manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000), notadamente sobre o diâmetro de colmo. Apesar de não terem sido mensuradas neste estudo, outra hipótese pode estar relacionada à quantidade de raiz e de parte aérea de plantas nas diferentes populações, pois na pesquisa de Dourado Neto et al. (2003), a quantidade relativa de raiz no período de florescimento, em relação à massa de matéria seca total, diminuiu de 26 para 19% com o aumento de 30.000 para 90.000 plantas ha⁻¹. Já a parte aérea aumentou de 74 para 81%, explicando, parcialmente, porque populações elevadas apresentaram maior porcentagem de acamamento e quebramento de plantas.

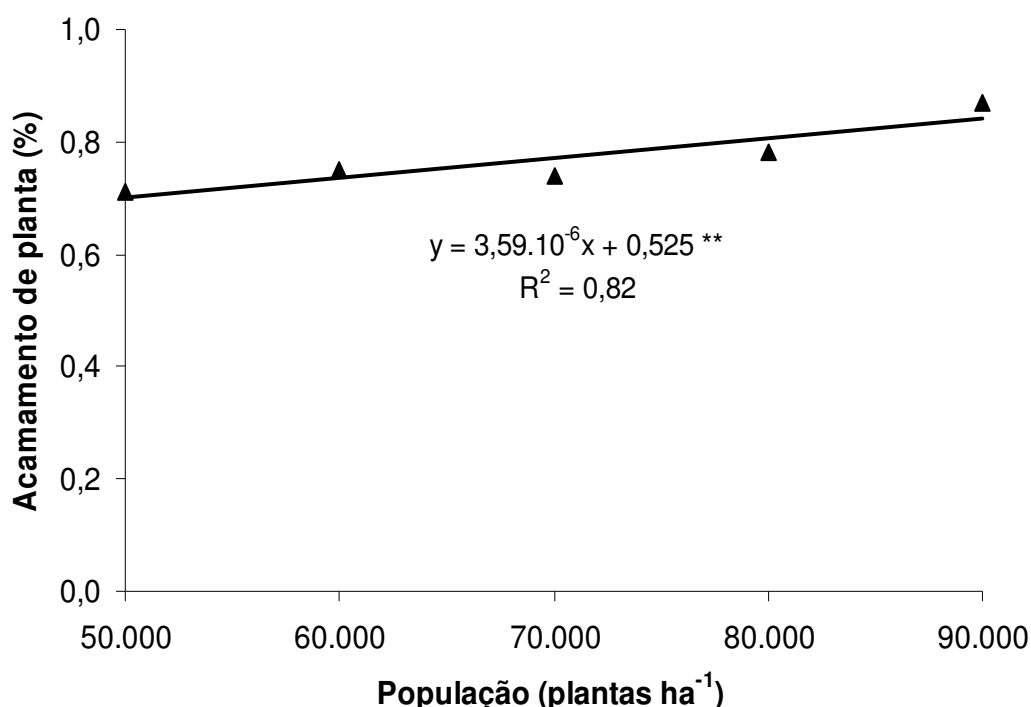


Figura 11. Acamamento de planta em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

No tocante ao quebramento de planta, menores percentuais foram detectados nos híbridos XB 6012, XB 9003, AG 9010 e XB 6010. De modo geral, o híbrido AG 9010 apresentou baixos percentuais tanto de acamamento quanto de quebramento de plantas, fato explicado pela sua característica de genótipo moderno, como: ciclo superprecoce, arquitetura foliar ereta, baixa altura de planta e de inserção de espiga, excelente “stay green” (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009) e menor área foliar. Porém, os híbridos XB 6010, XB 7253 e XB 9003 também apresentaram baixo percentual de acamamento, apesar de apresentarem características agronômicas diferenciadas do AG 9010, como arquitetura foliar semi ereta, maior altura de planta e de inserção de espiga. Isso demonstra que, de fato, estes caracteres não se constituíram em fatores limitantes ao incremento na população de plantas até 90.000 plantas ha⁻¹ e no rendimento de grãos, nas condições em que se conduziu este trabalho.

Assim como foi verificado com o acamamento, o percentual de plantas quebradas aumentou linearmente à medida que se incrementou a densidade populacional (Figura 12). O aumento do acamamento e quebramento de planta com incremento da população também foi relatado por outros pesquisadores (BRACHTVOGEL, 2008; FURTADO, 2005; GROSS; VON PINHO; BRITO, 2006; MILANI; OSUNA; CHURATA, 1999; PINOTTI, 2003; SANGOI et al., 2002a). Mas, por outro lado, contraria os resultados de Amaral Filho (2002), Bruns e Abbas (2005), Carvalho (2007) e Demétrio (2008), que não observaram influência da alteração da população de plantas sobre estes caracteres morfológicos.

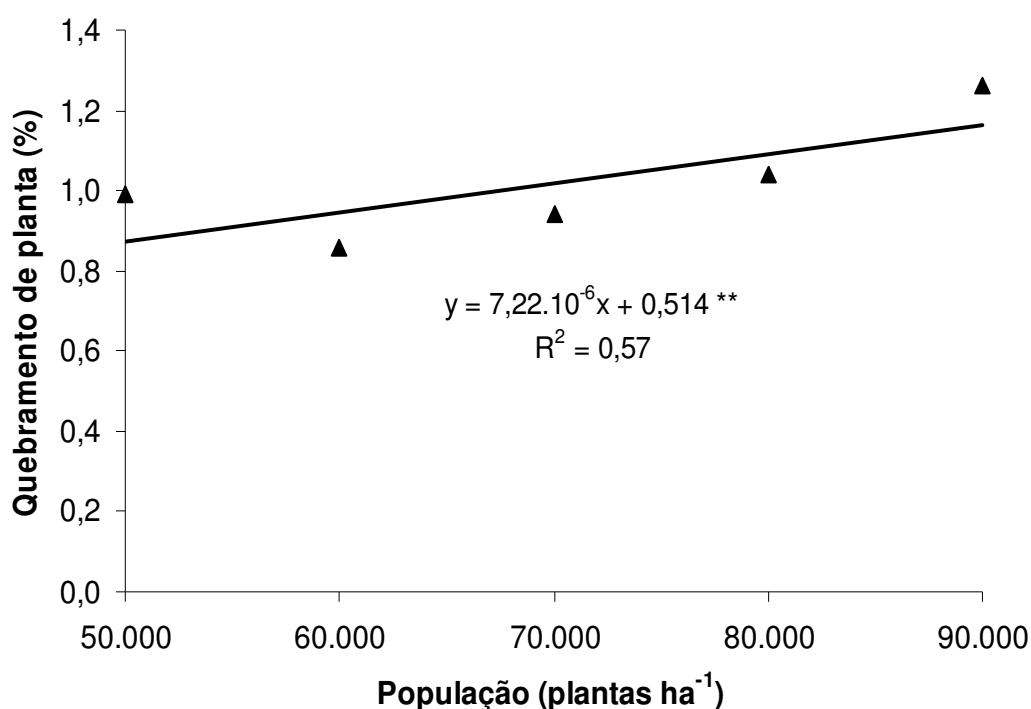


Figura 12. Quebramento de planta em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Outro aspecto a ser considerado para que não se obtenha conclusões errôneas, é de que na ocorrência de acamamento ou quebramento de planta pode haver um efeito ilusório facilmente explicável: se ocorrer um acamamento de 10% numa população de 50.000 plantas ha⁻¹, por exemplo, isso significa 4 plantas acamadas por parcela (área de 8,1 m² no presente estudo); mas se o mesmo ocorrer em uma população de 90.000 plantas ha⁻¹ serão 7 plantas acamadas por parcela. Visualmente, 7 plantas acamadas por parcela são bem mais perceptíveis do que 4 plantas acamadas por parcela.

4.2.3 Altura de planta

Os híbridos diferenciaram-se para altura de planta, independente dos espaçamentos e das populações de plantas utilizadas (Tabela 7). Maior altura de planta foi observada no híbrido XB 7253, diferindo significativamente dos demais

genótipos. Plantas do AG 9010, considerado um híbrido de arquitetura moderna, apresentaram a menor altura, estando condizente com as informações técnicas fornecidas pela empresa produtora das sementes e por Cruz e Pereira Filho (2009) (Tabela 3). Tal diferença pode estar associada ao caráter genético deste material, especialmente a sua característica de superprecocidade e menor exigência térmica (graus-dia) em relação aos demais híbridos mensurados. Esse resultado corrobora aos obtidos por Alvarez, Von Pinho e Borges (2006) e Oliveira (1990), ao verificarem que híbridos de ciclo mais tardio, como o AG 1051 (híbrido duplo com grão do tipo dentado), que exige em torno dos 950 graus-dia para atingir o florescimento, apresentaram maior altura de planta quando comparado com híbridos de ciclo mais precoce.

Atualmente, a menor altura de planta, uma das modificações verificadas na arquitetura das plantas de milho (ALMEIDA et al., 2000), tem sido um caractere desejável entre os produtores de milho por permitir cultivos em maiores densidades (MUNDSTOCK, 1978) e maior eficiência na colheita mecânica, ao mesmo tempo em que reduz problemas relacionados ao acamamento e quebramento de plantas antes do ponto de colheita, comumente evidenciado com plantas de porte elevado. Além disso, a menor altura de planta tem permitido maior penetração de luz no dossel (mesmo com alto índice de área foliar) e diminuição de competição intraespecífica por recursos naturais sob altas populações de plantas.

Conforme também verificado por Dourado Neto et al. (2003), a modificação no espaçamento entre as linhas de milho mostrou-se dependente da alteração na densidade populacional para altura de planta. Na Tabela 9, em que se tem o desdobramento da interação entre estes fatores, verifica-se que o espaçamento influenciou a altura de planta apenas na população de 50.000 plantas ha⁻¹, sendo que a semeadura com 90 cm entre as linhas proporcionou o aparecimento de plantas mais altas. Isso é justificado pelo efeito combinado da maior competição intraespecífica, na linha de semeadura, por água, nutrientes (DOURADO NETO et al., 2003) e luz no espaçamento de 90 cm, com consequente estímulo da dominância apical das plantas, conforme relataram Argenta, Silva e Sangoi (2001) e Sangoi (2001). Além disso, a menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas estimula a alongação celular e com isso, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a altura da planta (SANGOI et al., 2002a).

Tabela 9. Desdobramento da interação entre espaçamento e população de plantas para altura de planta (cm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Espaçamento	População (plantas ha ⁻¹)				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
45 cm	218,2 b	220,0 a	222,4 a	222,6 a	222,9 a
90 cm	226,4 a	220,1 a	222,3 a	224,5 a	218,9 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Todavia, o efeito da redução do espaçamento sobre a altura de planta verificado no presente estudo contraria os dados de pesquisas obtidos na região Sul do Brasil, que indicam que mudanças de espaçamentos entre as linhas de milho não interferem na altura de planta (ARGENTA et al., 2001; BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2005b; SANGOI et al., 2001). Demétrio et al. (2008), Kunz (2005), Paulo e Andrade (2003), Schwantes et al. (2007) e Silva (2004) também verificaram que a altura de planta não foi influenciada pelas alterações nos espaçamentos, evidenciando não ter ocorrido competição entre plantas por luz nos diferentes espaçamentos entre as linhas avaliados.

Por outro lado, o resultado mostra-se coerente aos obtidos por Penariol et al. (2003), que ao avaliarem o desempenho agrônômico do híbrido AG 9010 e da variedade BR 473 no período da safrinha no Estado de São Paulo, em diferentes populações (40.000; 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) e espaçamentos (40; 60 e 80 cm entre as linhas), observaram incremento na altura de planta com o aumento do espaçamento.

Na análise de regressão, a altura de planta não teve ajuste de equação significativa linear e nem quadrática decorrente das variações na população de plantas em nenhum dos espaçamentos, discordando dos resultados obtidos por Scheeren et al. (2004), que encontraram tendência significativa no aumento da altura de planta com o incremento da densidade populacional e atribuíram tal resultado à maior competitividade das plantas por luz, ocasionando um incremento no desenvolvimento das plantas. Alvarez, Von Pinho e Borges (2006) estudando o comportamento de genótipos de milho em diferentes espaçamentos entre as linhas e duas populações de planta, constataram maiores alturas de plantas na população de

75.000 plantas ha^{-1} em comparação a de 55.000 plantas ha^{-1} . Silva et al. (2008) avaliando a influência da população de plantas e do espaçamento entre as linhas nos caracteres agronômicos do híbrido de milho P30K75, no Estado de Goiás, observaram aumento linear no porte das plantas à medida que se aumentou a população de plantas de 40.000 para 80.000 plantas ha^{-1} .

Na cultura do milho, a influência de variações na densidade populacional sobre a altura de planta apresenta resultados contrastantes. Outros pesquisadores também encontraram aumento linear na altura de planta com o aumento da densidade populacional (KUNZ, 2005; MEROTTO JÚNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002a) e atribuíram esse aumento ao maior alongamento dos entrenós, proporcionado pelo efeito combinado da competição intraespecífica por luz e estímulo da dominância apical das plantas de milho.

4.2.4 Altura de inserção de espiga

Na avaliação da cultura do milho, a altura de inserção de espiga é muito importante por estar relacionada diretamente com o percentual de plantas acamadas e quebradas (RIZZARDI; PIRES, 1996). Quanto maior é a relação entre altura de inserção de espiga e altura da planta, mais deslocado estará o centro de gravidade da planta e maior é a possibilidade de quebra de colmo, uma vez que o milho aloca cerca de 50% da fitomassa total nos grãos ao final do ciclo. Em função disso, plantas que apresentem menor altura de inserção de espiga tem sido alvo dos melhoristas dessa cultura. Para este caractere não houve interação significativa entre os fatores considerados, mas somente efeito independente de população e de híbrido, que tiveram cada qual sua altura (Tabela 7). Maior altura de inserção de espiga foi constatada nos híbridos XB 6012 e XB 7253. Plantas do híbrido AG 9010 apresentaram a menor altura de inserção de espiga e isso é desejável na cultura, pois a menor distância entre o solo e o ponto de inserção da espiga contribui para o melhor equilíbrio da planta, minimizando a quebra de colmo, principalmente nas populações mais elevadas, nas quais o diâmetro desta estrutura é menor (SANGOI et al., 2002a).

Os dados obtidos no presente estudo confirmam os resultados de Kunz

(2005), que obteve diferenças para altura de inserção de espiga entre híbridos, independente do espaçamento e da população de plantas. Assim como para a altura de planta, pode-se atribuir tal resultado ao fator genótipo, pois Maddonni, Otegui e Cirilo (2001) ressaltam que esta é uma característica específica de cada híbrido, mas que pode variar em decorrência de condições ambientais pontuais ou de anos agrícolas. Avaliando a influência de espaçamentos e de densidades populacionais em milho, Demétrio et al. (2008) não constataram diferença significativa entre os híbridos simples modernos P30K73 e P30F80 para este caractere morfológico, provavelmente em virtude de ambos serem de ciclo semiprecoce.

Da mesma forma do que foi constatado neste estudo, vários autores não verificaram influência significativa de espaçamentos sobre a altura de inserção de espiga (DEMÉTRIO et al., 2008; KUNZ, 2005; PAULO; ANDRADE, 2003; SCHWANTES et al., 2007). Tal constatação está de acordo com os dados de pesquisas conseguidos na região Sul do Brasil, que indicam que alterações no espaçamento entre as linhas de milho não exercem influência significativa sobre a altura de inserção da primeira espiga (ARGENTA et al., 2001). Porém, Penariol et al. (2003), obtiveram menor altura de inserção de espiga reduzindo o espaçamento de 80 para 40 cm entre as linhas, independente do híbrido, indicando menor competição entre as plantas por luz. No Estado do Paraná, Lana et al. (2009) avaliando o efeito da redução de espaçamento (45; 75 e 90 cm entre as linhas), bem como do uso de diferentes doses de nitrogênio em cobertura (0; 30; 60 e 90 kg ha⁻¹ de N), sobre componentes de produção, rendimento de grãos e outros caracteres agrônômicos do milho, constataram influência do espaçamento e da adubação nitrogenada sobre a altura de inserção de espiga, sendo que menores valores foram obtidos com a utilização do espaçamento reduzido (45 cm entre as linhas).

Diferentemente do evidenciado para altura de planta, a altura de inserção de espiga aumentou linearmente em função do incremento na população de plantas (Figura 13), corroborando com vários trabalhos de pesquisa (KUNZ, 2005; MATEUS et al., 2004; MEROTTO JÚNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002a; SCHEEREN et al., 2004) e confirmando o efeito do estiolamento reportado por Ballaré e Casal (2000), por Rajcan e Swanton (2001) e por Sangoi et al. (2002a).

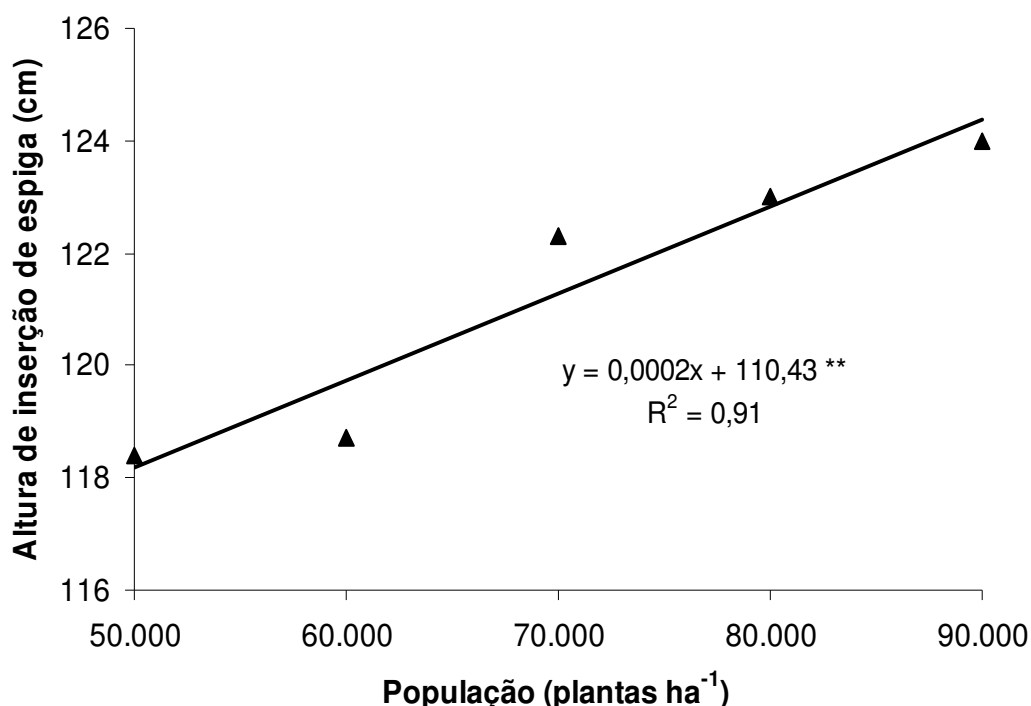


Figura 13. Altura de inserção de espiga em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Tal fato demonstra que a menor oxidação de auxinas, decorrente da proximidade das plantas, estimula a elongação celular e com isso, os entrenós do colmo são mais longos (SANGOI et al., 2002a), aumentando a altura de inserção da espiga. Além disso, ocorreu o efeito combinado da maior competição intraespecífica por água, nutrientes (DOURADO NETO et al., 2003) e luz na população mais elevada (90.000 plantas ha⁻¹), estimulando a dominância apical das plantas, conforme relataram Argenta, Silva e Sangoi (2001) e Sangoi (2001). Alvarez, Von Pinho e Borges (2006) verificaram que tanto a redução do espaçamento quanto o aumento na densidade de plantas altera a altura de inserção de espiga em milho, o que concorda em parte com os dados obtidos neste estudo.

4.2.5 Diâmetro de colmo

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o crescimento do colmo das plantas de milho ocorre principalmente a partir da emissão da oitava folha se

prolongando até o florescimento, sendo que o colmo não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados na formação dos grãos. Desta maneira, o diâmetro de colmo também é muito importante para a obtenção de alto rendimento de grãos, pois quanto maior o seu diâmetro, maior a capacidade da planta em armazenar fotoassimilados que contribuirão com o enchimento dos grãos.

No presente estudo, o diâmetro de colmo foi influenciado pelos híbridos, espaçamentos e populações, porém, sem interação significativa entre esses fatores (Tabela 7). O híbrido XB 9003 apresentou maior diâmetro de colmo, podendo-se inferir que plantas deste genótipo apresentam maior capacidade de armazenar fotoassimilados (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) e maior resistência ao acamamento por ocasião da colheita (ARGENTA et al., 2001; FORNASIERI FILHO, 1992; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002a), o que de fato foi evidenciado neste estudo (Tabela 6). Plantas dos híbridos XB 6012, XB 7253 e AG 9010 apresentaram menor diâmetro de colmo, portanto, mais suscetíveis ao acamamento e quebramento (BRUNS; ABBAS, 2005).

Nota-se que a utilização do espaçamento reduzido (45 cm entre as linhas) proporcionou a obtenção de plantas com maior diâmetro de colmo. Tal fato é justificado pela menor interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura nos maiores espaçamentos (SHARRATT; MCWILLIANS, 2005), favorecendo o estiolamento das plantas e a redução do diâmetro de colmo (SANGOI et al., 2002a). Por outro lado, o espaçamento reduzido, ao permitir melhor arranjo espacial de plantas, proporciona melhor distribuição de folhas e de raízes, conferindo ao milho, maior capacidade de aproveitamento de água e nutrientes (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2004) e aumento da produção fotossintética líquida (BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1988), refletindo em maior diâmetro de caule.

Apesar do verificado, a literatura sobre alteração no diâmetro de colmo com a redução do espaçamento é contraditória. Palhares (2003) encontrou maior diâmetro de colmo no menor espaçamento, independente do híbrido utilizado. Já Penariol et al. (2003) e Schwantes et al. (2007), em dois anos agrícolas de estudo, não observaram alteração no diâmetro de colmo nos dois genótipos avaliados (AG 9010 e BR 473) em função de modificações nos espaçamentos entre as linhas de milho. Kunz (2005) obteve interação entre híbrido e espaçamento, sendo verificado

aumento do diâmetro de colmo no menor espaçamento para os híbridos Penta e IPR 114, redução para o híbrido Garra e ausência de efeito para o híbrido Traktor.

O aumento de 50.000 para 90.000 plantas ha^{-1} provocou diminuição linear do diâmetro de colmo (Figura 14), o que está de acordo com os resultados obtidos por Amaral Filho (2002), Dourado Neto et al. (2003) e Porter et al. (1997), que observaram que quanto maior a densidade populacional menor o diâmetro do colmo. A redução do diâmetro de colmo com o aumento da população de plantas foi relatada por diversos autores (KUNZ, 2005; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002a).

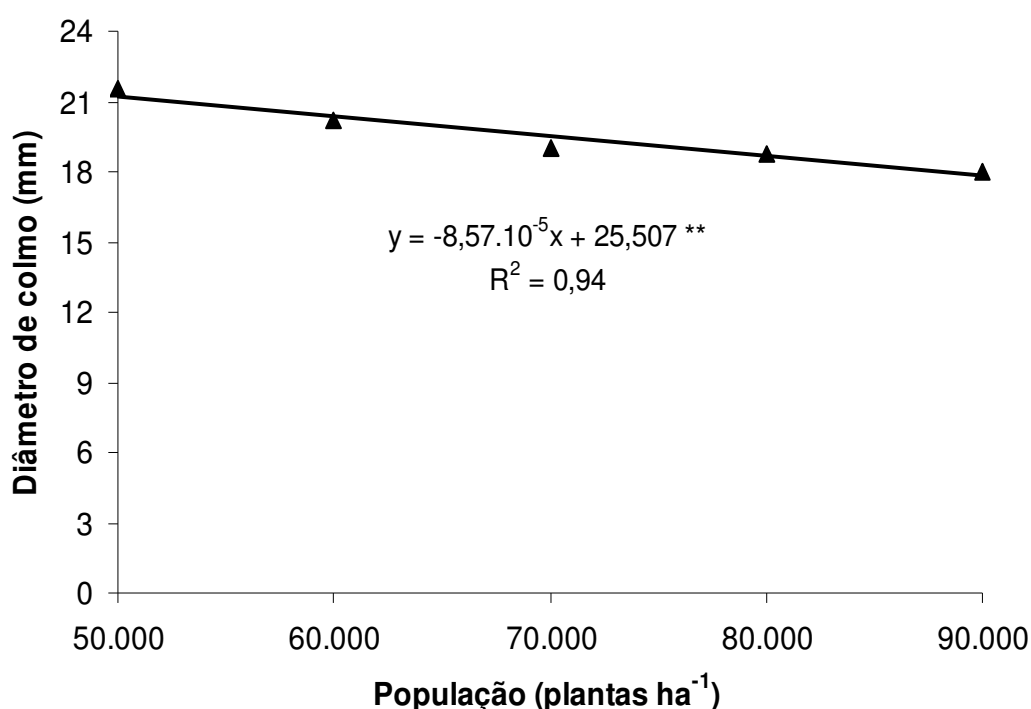


Figura 14. Diâmetro de colmo em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

O decréscimo na altura de inserção de espiga com incremento da densidade ocorre porque em altas populações, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido a fim de evitar o sombreamento, aumentando suas chances de crescer acima do dossel, porém, sacrificando o diâmetro de colmo e a área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004). Alterações nesses caracteres, pouca importância têm se não ocorrer correlação com alterações no rendimento.

Outro fato é que o aumento da densidade populacional pode ter proporcionado redução na disponibilidade de água e nutrientes por planta, diminuindo a matéria seca e fragilizando o diâmetro de colmo. Segundo Gross, Von Pinho e Brito (2006), o aumento da densidade interfere na massa individual das plantas, notadamente do colmo, como resultado da competição entre elas pelos recursos do meio. Isto leva a inferir que as plantas tendem a ficar mais susceptíveis ao acamamento e quebramento com o incremento da população, havendo diferenças entre genótipos. De acordo com Bruns e Abbas (2005), o aumento da população, na maioria dos cereais da família *Poaceae*, resulta na produção de plantas mais altas e com colmos de menor diâmetro. A redução do diâmetro de colmo com o aumento da população já foi relatada por diversos autores (CARVALHO, 2007; KUNZ, 2005; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002a) e pode limitar a utilização de altas populações para híbridos de colmos menos resistentes.

4.3 CARACTERES DE ESPIGA E COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Os resultados da análise de variância dos caracteres de espiga e componentes de produção são apresentados nas Tabelas 10 e 11, com os valores de F calculado para os fatores testados e suas respectivas interações e significâncias, bem como as médias observadas. Na Tabela 10, encontra-se o resumo da análise de variância para comprimento de espiga, diâmetro de espiga e de sabugo, comprimento de grão e fileiras de grãos por espiga, enquanto que o resumo da análise de variância para prolificidade, massa de mil grãos e rendimento de grãos constam na Tabela 11.

Os caracteres de espiga e componentes de produção apresentaram baixo coeficiente de variação (<10%) (PIMENTEL GOMES, 1990), demonstrando boa precisão experimental (CARVALHO et al., 2003). Isto é de extrema importância para conclusão e recomendação dos resultados obtidos, haja vista que dentre os ensaios realizados para várias culturas agrícolas, os ensaios com milho possuem a menor precisão experimental (LÚCIO, 1997).

Tabela 10. Valores médios de comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), diâmetro de sabugo (DS), comprimento de grão (CG) e número de fileiras de grãos por espiga (FG) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Tratamentos	CE	DE	DS	CG	FG
	mm				nº
Híbrido (H)					
XB 6010	150,8	48,8	29,4 a	9,7	13,3
XB 6012	153,3	49,2	28,7 b	10,3	13,7
XB 7253	161,2	47,9	28,4 b	9,8	13,1
XB 9003	152,3	48,4	29,2 a	9,6	12,9
AG 9010	142,2	45,6	28,4 b	8,6	13,8
DMS (5%)	—	—	0,38	—	—
Teste F	37,96 **	103,58 **	20,67 **	57,21 **	29,22 **
Espaçamento (E)					
45 cm	152,7	48,1	28,9	9,6	13,4
90 cm	151,3	47,9	28,8	9,6	13,3
Teste F	2,85	6,83	3,01	0,46	1,24
População (P)					
50.000 plantas ha ⁻¹	163,2	49,1	29,5	9,8	13,4
60.000 plantas ha ⁻¹	155,4	48,8	29,3	9,7	13,6
70.000 plantas ha ⁻¹	152,1	47,6	28,7	9,4	13,3
80.000 plantas ha ⁻¹	146,7	47,5	28,4	9,5	13,3
90.000 plantas ha ⁻¹	142,2	47,0	28,2	9,4	13,2
Teste F	53,54 **	41,63 **	34,98 **	4,69 **	3,77 **
H x P	1,50	2,83 **	0,92	1,87 *	1,99 *
Teste F H x E	5,24 **	0,25	0,66	0,70	1,45
(interação) E x P	1,86	0,15	0,78	0,58	0,67
E x H x P	1,20	0,42	0,48	0,40	1,02
Média geral	151,9	48,0	28,9	9,6	13,4
CV (%)	4,41	2,39	2,43	6,76	3,12

** e * – significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação.

Tabela 11. Valores médios de prolificidade, massa de mil grãos (M1000) e rendimento de grãos (RG) em função de arranjos espaciais de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Tratamentos		Prolificidade (espiga planta ⁻¹)	M1000 ⁽¹⁾ —— g ——	RG ⁽¹⁾ —— kg ha ⁻¹ ——
Híbrido (H)				
XB 6010		0,92 b	375,2	6.788
XB 6012		0,99 a	348,4	6.974
XB 7253		0,98 a	367,2	7.664
XB 9003		0,96 ab	385,1	7.319
AG 9010		0,95 ab	331,4	6.093
DMS (5%)		0,04	—	—
Teste F		8,08 **	86,79 **	40,65 **
Espaçamento (E)				
45 cm		0,96	360,2	7.121
90 cm		0,95	362,8	6.814
Teste F		0,03	1,04	5,44
População (P)				
50.000 plantas ha ⁻¹		1,02	374,0	6.584
60.000 plantas ha ⁻¹		0,98	366,9	6.804
70.000 plantas ha ⁻¹		0,95	360,0	7.113
80.000 plantas ha ⁻¹		0,92	355,1	7.225
90.000 plantas ha ⁻¹		0,92	351,5	7.110
Teste F		17,01 **	15,36 **	8,15 **
Teste F (interação)	H x P	0,92	0,68	2,50 **
	H x E	1,37	3,18 *	4,50 **
	E x P	0,69	1,95	1,39
	E x H x P	0,44	0,92	1,29
Média geral		0,96	361,5	6.967
CV (%)		6,80	3,34	8,84

** e * – significativo em nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey; CV – coeficiente de variação; ⁽¹⁾ Com base em 130 g kg⁻¹ de teor de água nos grãos.

4.3.1 Comprimento de espiga

O comprimento médio da espiga é um dos caracteres que pode interferir diretamente no número de grãos por fileira e, conseqüentemente, no rendimento da cultura do milho. Segundo Fancelli (1986), o comprimento da espiga na cultura do milho é definido, principalmente, no momento em que as plantas apresentam doze folhas plenamente desdobradas (estádio 3). Sendo assim, qualquer adversidade que aconteça nessa fase, como o efeito combinado da competição intraespecífica, pode resultar em redução no comprimento das espigas, provocando queda no rendimento.

Ao analisar o comprimento de espiga (Tabela 10), observa-se que houve efeito de híbrido, população e da interação entre híbrido e espaçamento. O aumento da população proporcionou redução linear do comprimento de espiga (Figura 15), demonstrando que tal incremento, ao promover maior competição intraespecífica pelos recursos do meio (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI; SALVADOR, 1998), prejudica a manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000), dentre elas, a formação da espiga. Plantas espaçadas equidistantemente competem minimamente por nutrientes, luz e outros fatores, favorecendo o melhor desenvolvimento das espigas (LAÜER, 1994; SANGOI et al., 2000).

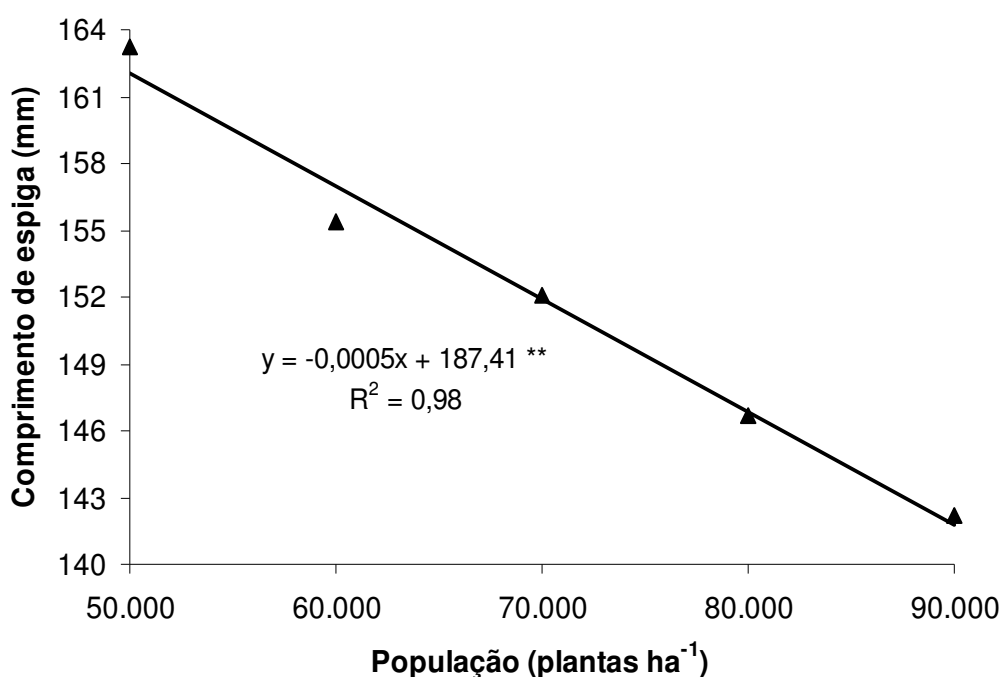


Figura 15. Comprimento de espiga em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Os resultados do presente estudo são concordantes com os obtidos por Brachtvogel (2008), Mateus et al. (2004), Palhares (2003), Paulo e Andrade (2003) e Vieira et al. (2010), que evidenciaram progressiva redução no comprimento de espiga em função do aumento da população de plantas. Dourado Neto et al. (2003) verificaram que nas populações compreendidas entre 30.000 e 60.000 plantas ha^{-1} , para todos os genótipos avaliados, houve aumento do comprimento de espigas pela redução do espaçamento de 80 para 40 cm. Para populações acima de 65.000 plantas ha^{-1} , isso não foi observado, provavelmente pela competição intraespecífica por água, nutrientes e luz superar os efeitos do melhor arranjo espacial de plantas.

No espaçamento de 45 cm entre as linhas, os híbridos XB 7253 e XB 9003 obtiveram maior comprimento de espiga, ao passo que no espaçamento de 90 cm, os maiores valores foram constatados nos híbridos XB 7253 e XB 6012 (Tabela 12). Por outro lado, nenhum dos híbridos teve o comprimento de espiga afetado pelo espaçamento, discordando dos resultados obtidos por Palhares (2003), que constatou aumento do comprimento de espiga pela redução do espaçamento de 80 para 40 cm em todos os genótipos avaliados nas populações de 30.000 e 60.000 plantas ha^{-1} , provavelmente devido aos efeitos da distribuição de plantas.

Tabela 12. Desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento para comprimento de espiga (mm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Espaçamento	Híbrido				
	XB 6010	XB 6012	XB 7253	XB 9003	AG 9010
45 cm	149,3 aBC	151,5 aBC	161,6 aA	155,5 aAB	145,2 aC
90 cm	152,4 aB	155,1 aAB	160,7 aA	149,0 aB	139,1 aC

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e por mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

4.3.2 Diâmetro de espiga

No que diz respeito ao diâmetro de espiga, não houve efeito significativo de espaçamento (Tabela 10), o que também foi verificado por Schwantes et al. (2007). Constatou-se efeito de híbrido e população, de forma independente, e interação

entre estes fatores, o que também foi observado por Vieira et al. (2010) ao estudar o desempenho de híbridos de milho (Penta, 30P34, DKB 214 e SWB 551) submetidos à diferentes populações (35.000; 50.000; 65.000; 80.000 e 95.000 plantas ha⁻¹). Os híbridos tiveram o mesmo comportamento quando submetidos às populações de 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 13), constatando-se menor diâmetro de espiga no híbrido AG 9010. Nas populações de 50.000 e 90.000 plantas ha⁻¹, os híbridos XB 6010, XB 6012 e XB 9003 apresentaram espigas de maior diâmetro.

Tabela 13. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para diâmetro de espiga (mm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Híbrido	População (plantas ha ⁻¹)				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
XB 6010	49,6 ab	49,7 a	48,3 a	48,7 a	47,9 ab
XB 6012	50,2 a	49,9 a	49,1 a	48,6 a	48,3 a
XB 7253	48,4 b	49,1 a	47,7 a	48,4 a	46,2 bc
XB 9003	50,2 a	48,9 a	47,6 a	47,3 a	48,0 a
AG 9010	47,2 c	46,3 b	45,2 b	44,5 b	44,6 c

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

O aumento da população provocou diminuição linear do diâmetro de espiga em todos os híbridos (Figura 16), o que corrobora os resultados observados por e Brachtvogel (2008), Lenzi (1992) e Marchão et al. (2005). Já Vieira et al. (2010) constataram redução linear no diâmetro de espiga com o aumento da população de plantas para os genótipos Penta e 30P34, enquanto que os genótipos DKB 214 e SWB 551 apresentaram redução quadrática.

O resultado obtido neste estudo demonstra que os híbridos mensurados tiveram a atividade fotossintética afetada pelo incremento na densidade populacional, reduzindo drasticamente o suprimento de fotoassimilados para a fase de enchimento dos grãos e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000), proporcionando uma série de consequências negativas para o desempenho agrônomo da cultura, dentre elas, a diminuição do diâmetro de espiga. Além disso, os dados comprovam a forte supressão do desenvolvimento da espiga pelo aumento da população de plantas, sendo este efeito mais proeminente

no híbrido AG 9010, conforme foi relatado por Vieira et al. (2010) sobre o número de grãos por fileira.

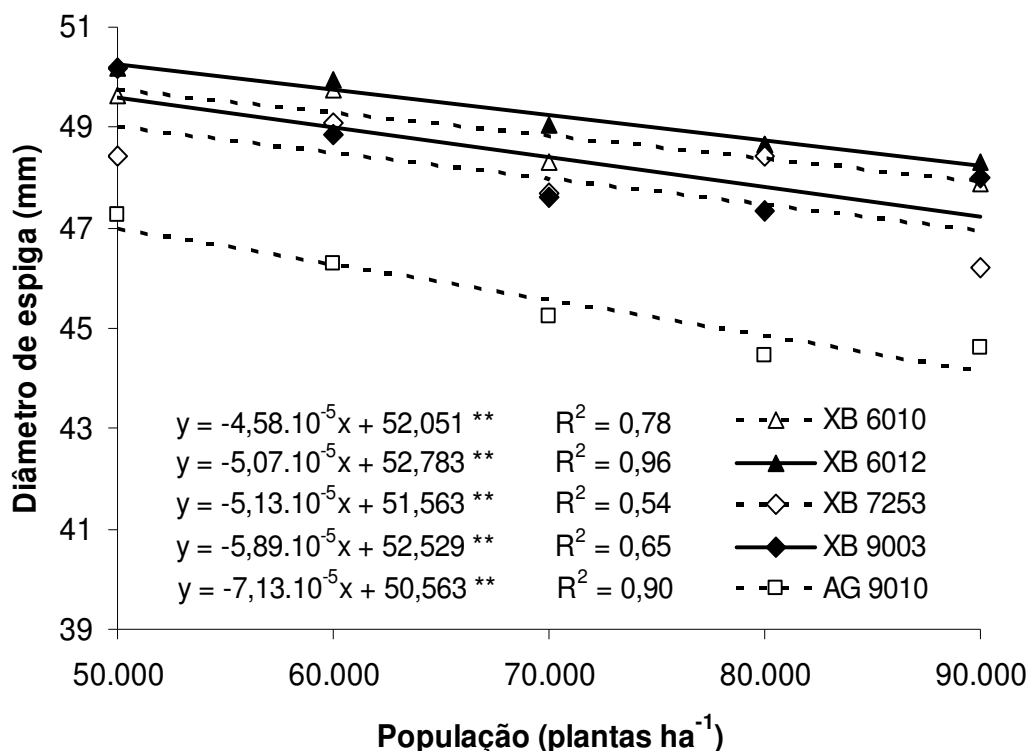


Figura 16. Diâmetro de espiga de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

4.3.3 Diâmetro de sabugo

Assim como foi verificado para altura de inserção de espiga, o diâmetro de sabugo não foi afetado pela alteração no espaçamento entre as linhas (Tabela 10). Entre os fatores considerados não houve interação significativa, mas apenas efeito isolado de híbrido e de população de plantas, constatando-se que espigas dos híbridos XB 6010 e XB 9003 apresentaram maior diâmetro de sabugo. Marchão et al. (2005) conduziram dois experimentos avaliando características agronômicas de híbridos de milho (A 2555; A 2288; AG 9010; AG 6690; P 30F88 e Valent) em diferentes populações (40.000; 55.000; 70.000; 85.000 e 100.000 plantas ha^{-1}) sob espaçamento reduzido (45 cm entre as linhas) e também não obtiveram interação

significativa entre híbrido e população de plantas em ambos os experimentos.

Perante análise de regressão, o diâmetro de sabugo teve comportamento similar ao comprimento e diâmetro de espiga. Observa-se na representação gráfica (Figura 17), que o incremento na população de plantas provocou redução linear do diâmetro de sabugo, corroborando com vários trabalhos de pesquisas, dentre eles os desenvolvidos por Brachtvogel et al. (2009), Lenzi (1992) e Marchão et al. (2005). Novamente, fica evidenciado que o aumento do número de plantas por unidade de área promove maior competição intraespecífica pelos recursos do ambiente (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI; SALVADOR, 1998), prejudicando a manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000), dentre elas, o desenvolvimento adequado da espiga.

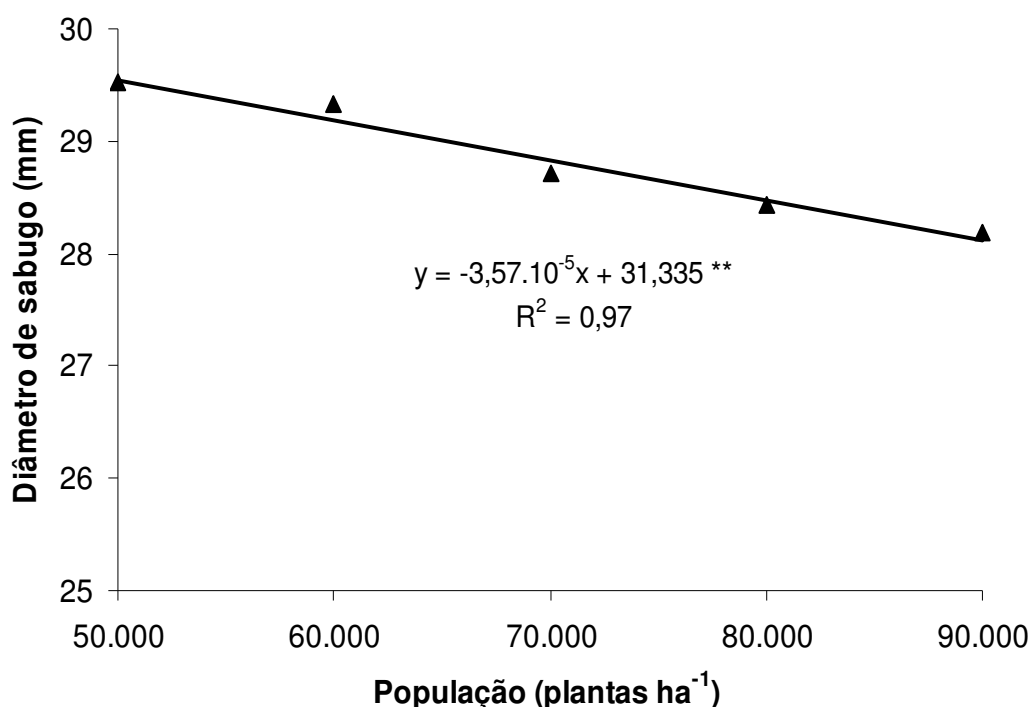


Figura 17. Diâmetro de sabugo em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

4.3.4 Comprimento de grão

A exemplo do que ocorreu com o diâmetro de espiga, o comprimento de grão não foi afetado pela alteração no espaçamento, mas pelo efeito independente

de híbrido e população e pela interação significativa entre híbrido e população (Tabela 10). No comportamento dos híbridos dentro das respectivas populações (Tabela 14), os híbridos XB 6010, XB 6012, XB 7253 e XB 9003 se comportaram de modo similar sob 50.000, 60.000, 80.000 e 90.000 plantas ha⁻¹, apresentando grãos mais compridos em relação ao AG 9010. Na presença de 70.000 plantas ha⁻¹, o híbrido XB 9003 não manteve sua superioridade e não se diferenciou do AG 9010, apresentando, portanto, grãos mais curtos em relação aos demais genótipos.

Tabela 14. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para comprimento de grão (mm) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Híbrido	População (plantas ha ⁻¹)				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
XB 6010	9,8 ab	10,0 a	9,6 ab	9,6 a	9,7 a
XB 6012	10,5 a	10,2 a	10,3 a	10,2 a	10,1 a
XB 7253	9,7 ab	10,1 a	9,6 ab	10,1 a	9,2 ab
XB 9003	10,1 a	9,5 ab	9,3 bc	9,4 a	9,7 a
AG 9010	9,1 b	8,7 b	8,4 c	8,2 b	8,4 b

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Na análise de regressão, apenas os dados dos híbridos XB 7253, XB 9003 e AG 9010 tiveram ajustes de equações significativas (Figura 18). O modelo quadrático foi o que melhor se ajustou as médias dos híbridos XB 7253 e XB 9003. O comprimento máximo de grão estimado foi de 10,0 mm com a população de 65.789 plantas ha⁻¹ para o híbrido XB 7253, enquanto que o XB 9003 não obteve ponto de máxima estimado pela equação quadrática. O comprimento de grão do híbrido AG 9010 diminuiu linearmente à medida que se elevou a população de plantas, concordando com os resultados obtidos por Brachtvogel et al. (2009). Desta forma, infere-se que a resposta linear do diâmetro de espiga e de sabugo ao incremento da população (Figuras 16 e 17) influenciou o aparecimento de uma mesma tendência no comprimento de grão, uma vez que este caractere foi obtido pela diferença dos dois primeiros caracteres.

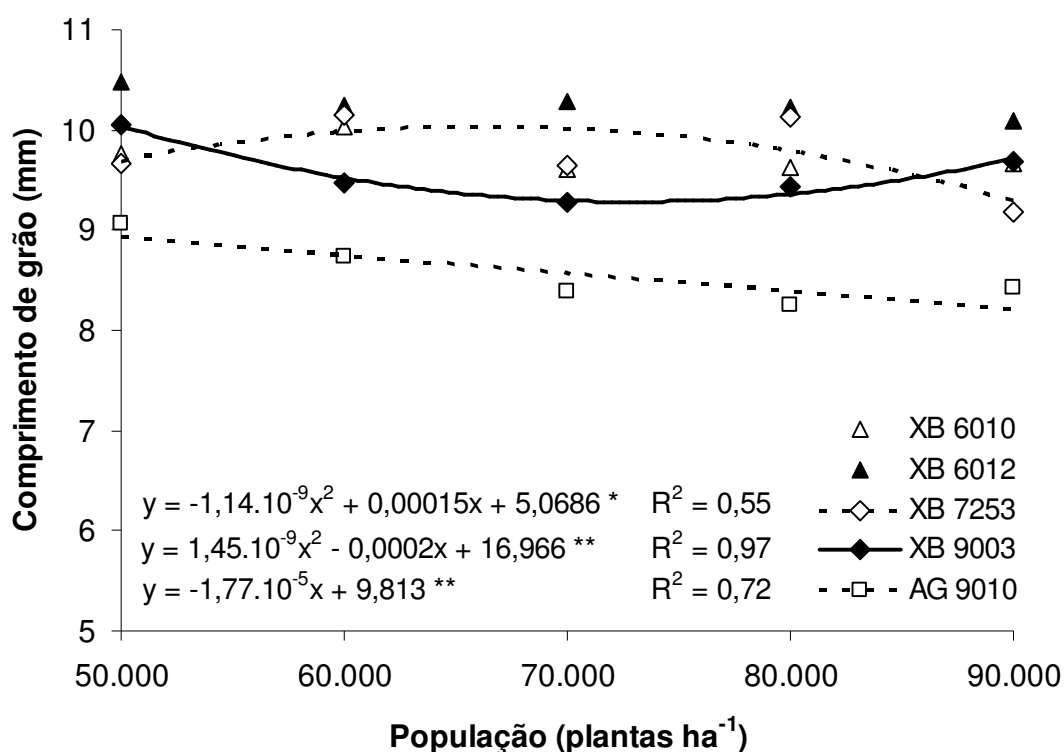


Figura 18. Comprimento de grão de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

4.3.5 Número de fileiras de grãos por espiga

O número de fileiras de grãos por espiga não foi afetado pelas alterações no espaçamento, mas pelo efeito significativo e independente de híbrido e população de plantas e pela interação entre híbrido e população (Tabela 10). Diferente do observado neste estudo, Palhares (2003) obteve aumento significativo do número de fileiras de grãos por espiga do genótipo DKB 911 pela redução do espaçamento de 80 para 40 cm entre as linhas sob a população de 30.000 plantas ha⁻¹, bem como para o AG 1051 na população de 60.000 plantas ha⁻¹. Este último teve seu número de fileiras reduzido na combinação de 40 cm x 90.000 plantas ha⁻¹.

No desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas (Tabela 15), os híbridos XB 6010, XB 6012, XB 7253 e AG 9010 tiveram comportamento similar quando submetidos às populações de 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, apresentando maior número de fileiras de grãos por espiga. Na

presença de 50.000 plantas ha^{-1} , maior número de fileiras foi verificado nos híbridos AG 9010 e XB 6012, ao passo que na maior população (90.000 plantas ha^{-1}) não houve diferença significativa entre os genótipos.

Tabela 15. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para número de fileiras de grãos por espiga na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Híbrido	População (plantas ha^{-1})				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
XB 6010	13,1 b	13,5 ab	12,9 ab	13,6 a	13,4 a
XB 6012	13,8 ab	13,8 a	13,7 ab	13,5 ab	13,5 a
XB 7253	12,9 b	13,5 ab	13,1 ab	12,9 ab	12,9 a
XB 9003	13,2 b	12,8 b	12,9 b	12,8 b	12,8 a
AG 9010	14,2 a	14,1 a	13,8 a	13,5 ab	13,4 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Na realização da análise de regressão para os níveis de população dentro de cada genótipo, apenas o híbrido AG 9010 teve ajuste significativo de equação (Figura 19). Nota-se que o incremento na população de plantas provocou redução linear do número de fileiras de grãos por espiga. A alta população (90.000 plantas ha^{-1}) propiciou a intensificação da competição intraespecífica por luz no referido genótipo, fato que pode explicar o menor número de fileiras de grãos por espiga observada nesta condição. O mesmo não foi evidenciado para os demais genótipos, explicado pela ausência de ajuste significativo de equação linear e quadrática. Os dados obtidos corroboram com os de Brachtvogel (2008), Furtado (2005), Lenzi (1992) e Pinotti (2003), onde se observou que à medida que se elevou a população de plantas, o número de fileiras de grãos diminuiu. Entretanto, Marchão et al. (2005) obtiveram resultados diferentes, pois os autores chegaram à conclusão que o número de fileiras de grãos por espiga não foi influenciado pelo aumento na densidade populacional. Os referidos autores relacionaram tal resultado ao fato de que o potencial de produção é definido no primeiro estágio de desenvolvimento, quando ocorre o início do processo de diferenciação floral e a formação dos primórdios da espiga, não havendo ainda uma influência significativa da competição por plantas no ambiente.

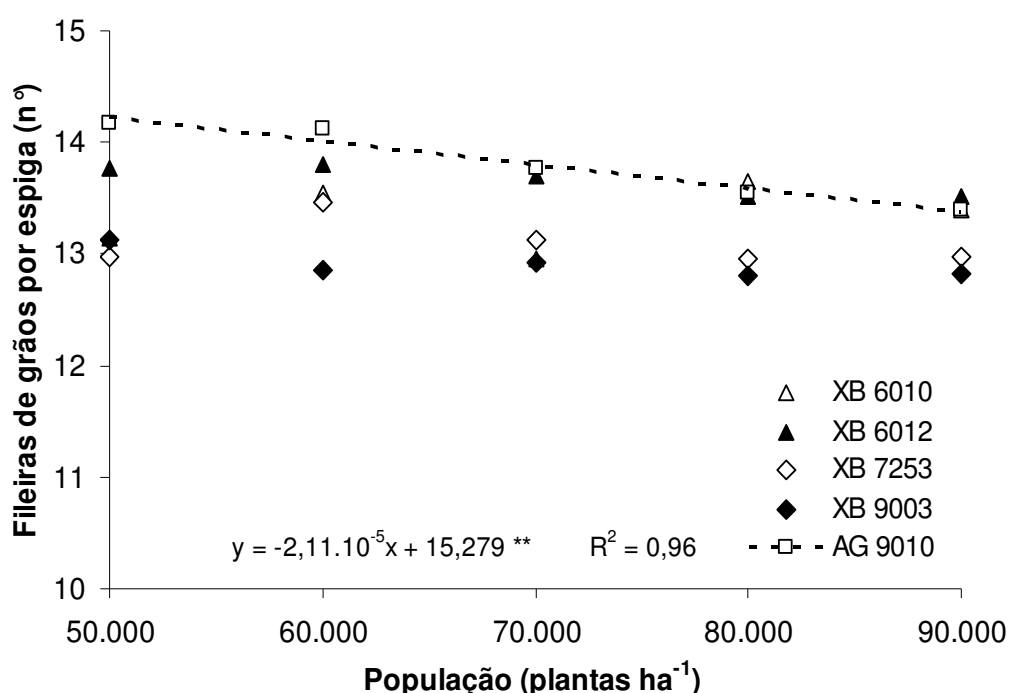


Figura 19. Número de fileiras de grãos por espiga de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

4.3.6 Prolificidade

A prolificidade, que expressa o número de espigas por planta, não sofreu alteração com a redução do espaçamento (Tabela 11), confirmando resultados de vários pesquisadores (ARGENTA et al., 2001; BULLOCK; NIELSEN; NYQUIST, 1988; CARVALHO, 2007; FLESCHE; VIEIRA, 2004; MURPHY et al., 1996; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2001; SCHEEREN et al., 2004), que avaliaram híbridos de milho em diferentes locais e anos agrícolas e não constataram variação na prolificidade com a redução do espaçamento.

Houve efeito independente de híbrido e população de plantas, indicando que este componente de produção está intimamente ligado ao próprio genótipo, mas que também pode ser afetado em condições de alterações no número de plantas na área. Os resultados mostram-se coerentes aos obtidos por Demétrio (2008) ao constatar que a prolificidade não foi afetada pela diminuição do espaçamento entre as linhas de milho, mas apenas pelos híbridos e pelas densidades populacionais, isoladamente. Os híbridos XB 6012 e XB 7253 apresentaram a maior prolificidade,

apesar de não terem se diferenciado dos híbridos XB 9003 e AG 9010. O fato de não se ter constatado interação significativa entre híbrido e população de plantas é um importante indicativo da capacidade dos híbridos modernos em suportar diferentes alterações no número de plantas por unidade de área sem diminuir acentuadamente a emissão e manutenção das espigas (ALMEIDA et al., 2000).

O incremento na população proporcionou decréscimo linear no número de espiga por planta (Figura 20), sendo que na menor população (50.000 plantas ha⁻¹) as plantas apresentaram-se mais prolíficas, evidenciando que a competição por luz e a compensação da planta já estão presentes mesmo nas fases de diferenciação e emissão das espigas. Argenta et al. (2001) relatam que a redução na densidade populacional em milho possibilita a obtenção de plantas com espigas em maior número. Isso acontece porque, em baixas densidades, a competição intraespecífica pelos recursos do meio é pequena, disponibilizando às plantas os recursos necessários para o enchimento dos grãos em mais de uma espiga por planta (DEMÉTRIO, 2008), no entanto, a segunda espiga geralmente é menor que a primeira. Alguns trabalhos têm apontado para a capacidade das plantas de detectarem precocemente a presença de plantas vizinhas, antes mesmo de iniciarem a competir por luz, e assim no início do crescimento já modularem o padrão de desenvolvimento (BALLARÉ; SCOPEL; SÁNCHEZ, 1995).

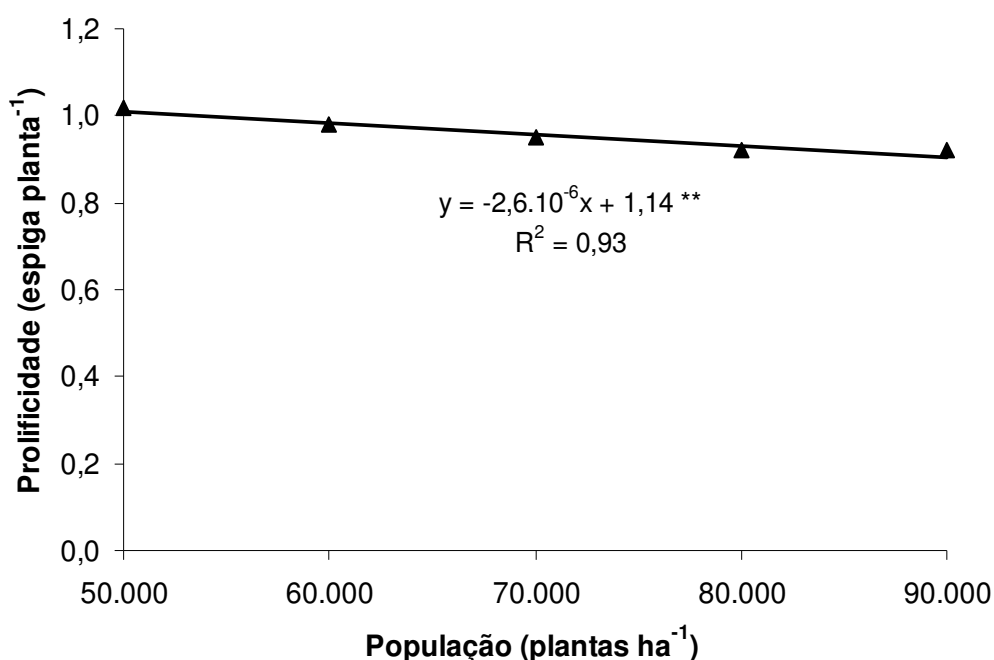


Figura 20. Prolifidade em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Almeida et al. (2000), Argenta et al. (2001), Cruz et al. (2007), Demétrio (2008), Flesch e Vieira (2004), Merotto Júnior, Almeida e Fuchs (1997), Penariol et al. (2003), Silva et al. (2008) e Silva, Argenta e Rezera (1999), obtiveram resultados similares aos evidenciados neste estudo. Demétrio (2008), por sua vez, atribuiu tal acontecimento ao fato de que em baixas densidades populacionais, a competição entre as plantas pelos recursos do meio é pequena, disponibilizando às plantas os recursos necessários para o enchimento dos grãos em mais de uma espiga por planta. Paulo e Andrade (2003) verificaram interação significativa entre espaçamento e população de plantas, sendo que a prolificidade variou com a população apenas no espaçamento de 90 cm entre as linhas, encontrando o maior número de espigas por planta na menor população estudada (50.000 plantas ha⁻¹). Fornasieri Filho (2007) cita que altas densidades populacionais podem causar alterações morfológicas e fisiológicas, dentre elas, o aumento do número de plantas sem espiga. O aumento no número de plantas por área, até certo limite, tende a compensar a diminuição do tamanho das espigas. Os melhores rendimentos de grãos são conseguidos naquelas populações em que a prolificidade esteja próxima da unidade, com espigas de tamanho sendo suficiente para não diminuir o rendimento.

4.3.7 Massa de mil grãos

A massa individual do grão é produto da duração do período efetivo de enchimento e da taxa de crescimento do grão, que por sua vez é dependente de fatores que controlam a oferta de assimilados para o seu pleno enchimento. Importante componente de produção na cultura do milho, a massa de grão é o último componente a ser definido, a qual é determinada pela taxa e pela duração do período de enchimento de grãos (WANG; KANG; MORENO, 1999). No presente estudo, a massa de mil grãos comportou-se de maneira similar à prolificidade, sendo afetada pela população de plantas, independente de híbrido e espaçamento (Tabela 11).

As plantas que apresentaram maior estresse de sombreamento, provocado pelo aumento da densidade populacional, não conseguiram compensar a deficiência de produção de fotoassimilados nas folhas e como resultado, a massa de mil grãos reduziu linearmente à medida que se elevou a população de plantas (Figura 21). Demonstra-se que o incremento na população por área promove maior competição intraespecífica pelos recursos do ambiente, conforme já relatado por vários autores (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI; SALVADOR, 1998), o que altera a taxa e duração do período de enchimento dos grãos (RUGET, 1993) e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000). Bruns e Abbas (2005) atribuíram a menor massa de grãos por espiga, decorrente do aumento da densidade populacional, ao estresse induzido pela competição intraespecífica por água, nutrientes e luz, porém, esse estresse não resulta necessariamente na diminuição do rendimento de grãos, uma vez que o aumento do número de plantas por área compensa tais perdas até um determinado ponto crítico, onde o tamanho das espigas diminui muito e começam ocorrer plantas sem espigas, devido à competição.

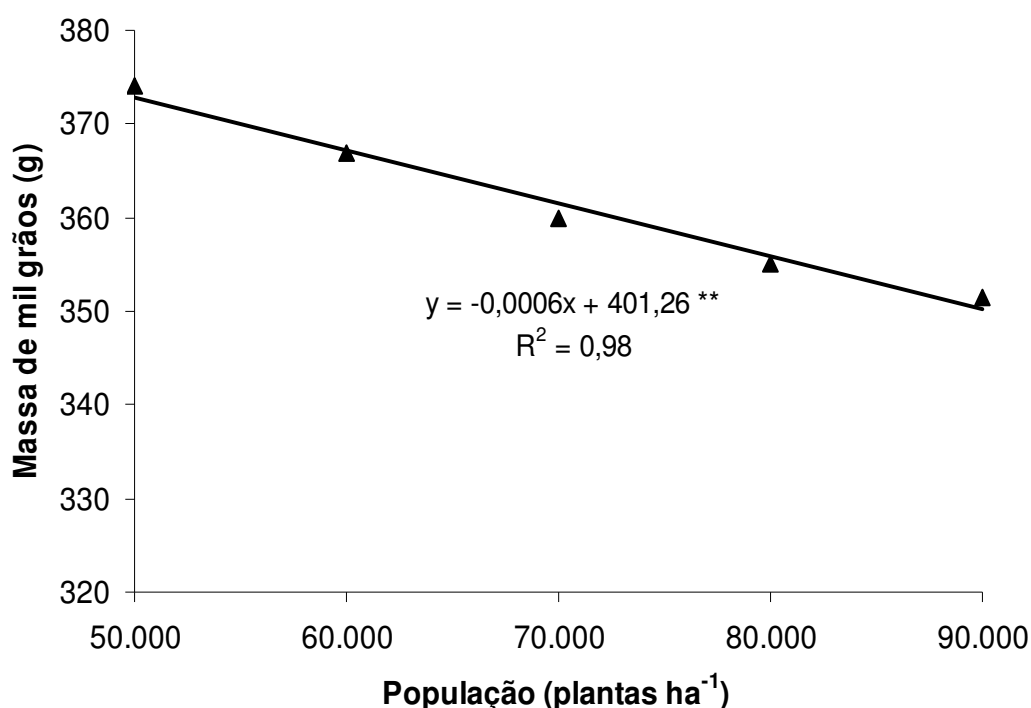


Figura 21. Massa de mil grãos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Os dados obtidos estão em concordância com os conseguidos por Strieder et al. (2007), no Estado do Rio Grande do Sul. Estes autores conduziram dois experimentos com o objetivo de avaliar a resposta de quatro híbridos de milho irrigado a alterações no arranjo de plantas. No Experimento I, os tratamentos constaram de dois genótipos (Flash e Attack), quatro densidades (5,0; 6,25; 7,5 e 8,75 plantas m^{-2}) e quatro espaçamentos (40; 60; 80 e 100 cm entre as linhas). No Experimento II, os tratamentos foram constituídos de dois híbridos (Garra e Penta), quatro densidades (4,5; 6,0; 7,5 e 9,0 plantas m^{-2}) e os mesmos espaçamentos adotados no experimento I. Ao término da pesquisa, verificaram redução linear na massa de grão nos quatro híbridos com o incremento na densidade de plantas nos quatro espaçamentos testados, exceto nos espaçamentos de 80 e 100 cm do híbrido Garra. Nessa condição, a massa de grãos não variou com a densidade populacional, enquanto que no espaçamento de 40 cm para o híbrido Penta, esse componente aumentou de forma quadrática com o incremento da densidade. Outros autores também encontraram redução da massa de grãos com o aumento da população de plantas (CARVALHO, 2007; FLESCHE; VIEIRA, 2004; FURTADO, 2005; LENZI, 1992; MARCHÃO et al., 2005; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999).

O fato de a massa de mil grãos ter sido prejudicada pelo aumento da população de plantas contraria Andrade; Otegui e Vega (2000), Borrás e Otegui (2001) e Sangoi et al. (2002b), que relataram que esse é o componente de produção menos afetado por variações nas práticas de manejo. A redução da massa de grãos possivelmente está associada ao aumento da competição intraespecífica provocada pelo aumento da população de plantas (SANGOI, 2001; MEROTTO JÚNIOR et al., 1999), agravado nas situações de desuniformidade de desenvolvimento das plantas, onde as “plantas dominadas” são mais afetadas pelo aumento da densidade populacional, demonstrando que os efeitos da competição intraespecífica acontecem tanto quando as plantas estão em maior população ou quando são dominadas por plantas vizinhas que emergiram mais rapidamente (MEROTTO JÚNIOR et al., 1999; ZANIN, 2007).

Pelo desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento (Tabela 16), verifica-se que somente o híbrido AG 9010 apresentou variação na massa de mil grãos em função do espaçamento, constatando-se maior massa de grãos quando submetido ao espaçamento de 90 cm entre as linhas. Embora tenha se constatada

significância, a diferença entre os dois espaçamentos foi diminuta. Era de esperar que no espaçamento reduzido a massa média dos grãos fosse maior, em virtude da menor competição entre as plantas por nutrientes e água no solo, proporcionada pela distribuição equidistante das plantas na linha de semeadura (NUMMER FILHO; HENTSCHKE, 2006), além de conferir maior capacidade de interceptação de radiação solar (BALBINOT JÚNIOR; FLECK, 2004). Diferente do constatado, Bullock, Nielsen e Nyquist (1988) e Sangoi et al. (2001) observaram aumento da massa de grãos de milho com a redução do espaçamento. Sangoi et al. (2001) justificam o resultado pelo fato de que a menor competição entre plantas dentro da linha de semeadura por luz, água e nutrientes, devido à sua distribuição mais equidistante na área, nos menores espaçamentos, aumenta a disponibilidade de carboidratos, permitindo que a planta forme grãos com maior massa. Todavia, esta justificativa não explica o resultado evidenciado no presente estudo.

Tabela 16. Desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento para massa de mil grãos (g) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Espaçamento	Híbrido				
	XB 6010	XB 6012	XB 7253	XB 9003	AG 9010
45 cm	376,0 aAB	346,2 aC	366,4 aB	387,4 aA	324,8 bD
90 cm	374,5 aAB	350,8 aC	368,0 aB	382,8 aA	338,1 aD

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e por mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Os genótipos tiveram o mesmo comportamento em ambos os espaçamentos, com os híbridos XB 9003 e XB 6010 destacando-se pela maior massa obtida. O AG 9010 apresentou menor massa média de grãos, tanto em 45 cm quanto em 90 cm entre as linhas. Essa diferença pode estar relacionada ao seu próprio ciclo, pois exigências calóricas contrastantes para o florescimento podem levar a diferenças na taxa e período de alocação de matéria seca nos grãos durante o seu enchimento. Em se tratando de custos com transporte e armazenamento, pode-se inferir que a utilização dos híbridos XB 9003 e XB 6010 é vantajosa, pois a massa média dos grãos afeta diretamente a sua densidade e valores médios superiores resultam em maior capacidade de transporte por carga e armazenamento nos silos (SCHWANTES et al., 2007). A massa média de grãos teve participação na

determinação do rendimento de grãos, pois o híbrido de maior massa de mil grãos (XB 9003) foi também o mais produtivo em ambos os espaçamentos utilizados. O híbrido de menor massa de grãos (AG 9010) foi o menos produtivo, evidenciando a importância deste componente de produção na determinação do rendimento (Tabela 17). Apesar do efeito, o mesmo não foi verificado para o híbrido XB 6010.

4.3.8 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos apresentou comportamento distinto em razão da interação entre híbrido e espaçamento e entre híbrido e população (Tabela 11), corroborando com os resultados de Penariol et al. (2003). Cruz et al. (2007) constataram que o rendimento foi afetado pela interação significativa entre espaçamento e densidades de semeadura em dois anos agrícolas, o que neste estudo não foi constatado.

A redução do espaçamento de 90 para 45 cm entre as linhas não foi eficiente no aumento do rendimento de grãos dos híbridos XB 6010, XB 6012, XB 7253 e XB 9003 (Tabela 17), demonstrando que a variação no espaçamento não manifestou os efeitos resultantes da capacidade das plantas em detectarem precocemente a competição por luz que irão apresentar, e assim definirem o seu padrão de desenvolvimento (BALLARÉ; SCOPEL; SÁNCHEZ, 1995). Contudo, o híbrido AG 9010 apresentou maior rendimento de grãos no espaçamento de 45 cm entre as linhas, indicando claramente que para este genótipo de arquitetura diferenciada, a redução do espaçamento é vantajosa. A superioridade constatada foi de 15% a favor do espaçamento reduzido, semelhante aos resultados de ensaios obtidos nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste do Brasil, em que os ganhos de rendimento de grãos foram de até 14% com a adoção desta prática (VILARINHO, 2005). No tocante ao comportamento de híbridos dentro de espaçamento, nota-se que os híbridos XB 7253 e XB 9003 apresentaram maior rendimento sob 45 cm entre as linhas. A superioridade produtiva dos genótipos foi mantida no espaçamento de 90 cm entre as linhas, porém, não se diferenciando significativamente do XB 6012.

Tabela 17. Desdobramento da interação entre híbrido e espaçamento para rendimento de grãos (kg ha^{-1}) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Espaçamento	Híbrido				
	XB 6010	XB 6012	XB 7253	XB 9003	AG 9010
45 cm	6.835 aC	6.914 aBC	7.776 aA	7.496 aAB	6.582 aC
90 cm	6.740 aB	7.033 aAB	7.551 aA	7.142 aAB	5.605 bC

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e por mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

O aumento do rendimento de grãos, com a redução do espaçamento, é atribuído à maior eficiência na interceptação de radiação e ao decréscimo de competição por luz, água e nutrientes, entre as plantas na linha, devido a sua distribuição mais equidistante (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001). Sangoi et al. (2001) e outros pesquisadores (DOURADO NETO et al., 2003; PENARIOL et al., 2003) obtiveram ganhos em rendimento de grãos com uso de espaçamento reduzido na cultura do milho. Em contrapartida, Flesch e Viera (2004) não detectaram diferença significativa para redução do espaçamento no rendimento de grãos de diferentes híbridos de milho. No entanto, verificaram que esta prática mostrou-se efetiva no controle de plantas daninhas. Deve-se ressaltar que o estudo de Sangoi et al. (2001) foi realizado variando apenas espaçamentos (50; 75 e 100 cm entre as linhas) e híbridos (AG 1051 e AG 9014), enquanto que o de Flesch e Viera (2004), variou espaçamentos (70; 85; 100 e 115 cm entre as linhas), populações (30.000; 50.000; 70.000 e 90.000 plantas ha^{-1}) e híbridos (Pioneer 3099 e AG 1051).

Os híbridos XB 6010, XB 6012, XB 7253 e XB 9003 apresentaram maiores rendimentos de grãos sob 50.000 e 60.000 plantas ha^{-1} (Tabela 18). Em condições de 70.000 e 80.000 plantas ha^{-1} , a superioridade produtiva foi constatada apenas nos híbridos XB 7253 e XB 9003. Na população de 90.000 plantas ha^{-1} , não houve diferença significativa entre os híbridos.

Tabela 18. Desdobramento da interação entre híbrido e população de plantas para rendimento de grãos (kg ha⁻¹) na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

Híbrido	População (plantas ha ⁻¹)				
	50.000	60.000	70.000	80.000	90.000
XB 6010	6.591 ab	6.719 a	6.648 bc	7.070 b	6.910 a
XB 6012	6.837 a	7.182 a	6.937 bc	7.003 b	6.909 a
XB 7253	7.008 a	7.484 a	8.160 a	8.330 a	7.336 a
XB 9003	7.006 a	7.181 a	7.468 ab	7.333 ab	7.606 a
AG 9010	5.480 b	5.455 b	6.351 c	6.390 b	6.792 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Apenas os híbridos XB 7253 e AG 9010 tiveram ajustes de equações significativas pela análise de regressão (Figura 22). Os coeficientes de determinação (R^2) de 85 e 89%, indicam que a maioria da variação observada foi explicada pela regressão quadrática e linear, respectivamente. O híbrido XB 7253 respondeu de forma quadrática ao aumento da população de plantas, incrementando o rendimento de grãos a partir de 50.000 plantas até 70.000 plantas ha⁻¹ e diminuindo a 90.000 plantas ha⁻¹, semelhante ao constatado por Flesch e Vieira (2004) e Sangoi, Schmitt e Zanin (2007). Pela equação da curva de resposta foi estimado o rendimento máximo em 8.000 kg ha⁻¹ com a utilização da população de máxima eficiência técnica de 72.000 plantas ha⁻¹, a qual se caracteriza sendo a população ideal para a combinação genótipo-ambiente, conforme salientaram Dourado Neto, Fancelli e Lopes (2001).

Com certa semelhança ao evidenciado no presente estudo, Marchão et al. (2005) constataram que a maioria dos híbridos avaliados alcançaram maiores rendimentos com populações acima de 70.000 plantas ha⁻¹, com exceção dos genótipos A 2288 e AG 6690. Estudos recentes também têm mostrado respostas positivas ao aumento do rendimento de grãos do milho pelo incremento da população, com rendimentos atingindo um ponto máximo entre 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, e declinando em populações mais altas (ALVAREZ; VON PINHO; BORGES, 2006; DOURADO NETO et al., 2003; GROSS; VON PINHO; BRITO, 2006; PAULO; ANDRADE, 2003; PENARIOL et al., 2003; REZENDE et al., 2003). Isso demonstra que em ambientes favoráveis, representados por lavouras

tecnificadas que atualmente utilizam populações entre 50.000 e 70.000 plantas ha^{-1} , o ambiente e o potencial dos genótipos atuais de milho podem estar sendo subutilizados.

Estudos têm mostrado respostas quadráticas ao aumento do rendimento de grãos do milho pelo incremento da população de plantas, com rendimentos atingindo um platô e declinando em populações mais altas (THOMISON; JORDAN, 1995; COX, 1996), com os resultados apontando para uma população ótima pouco acima de 70.000 plantas ha^{-1} . Esta é uma população para ser usada apenas em condições de alta tecnologia, sem restrições de água e de fertilizantes (SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999). Em lavouras com alta densidade de plantas e sob boas condições de crescimento, as espigas adicionais por hectare resultarão em maior rendimento de grãos, por maximizar o número de grãos por unidade de área.

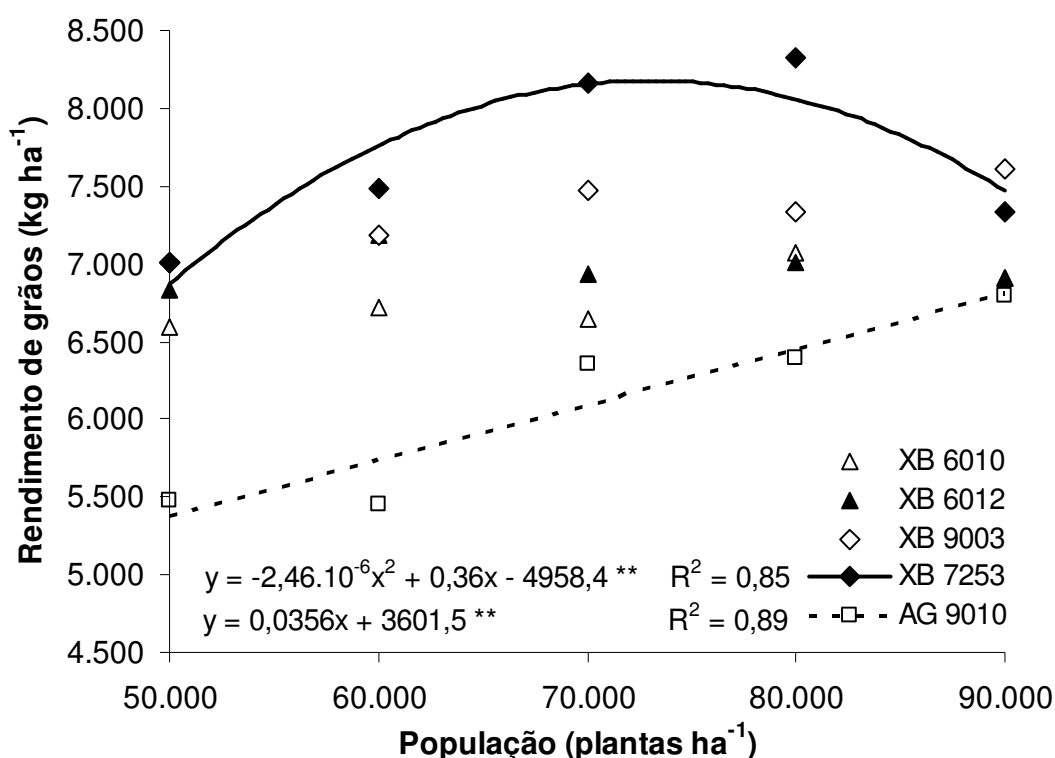


Figura 22. Rendimento de grãos de híbridos em função de população de plantas na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009).

O rendimento de grãos do AG 9010 aumentou linearmente com o incremento na população de plantas, podendo-se inferir que para cada aumento de 1000 plantas ha^{-1} , ocorreu acréscimo de 35,6 kg ha^{-1} em seu rendimento. Marchão

et al. (2005) também verificaram resposta linear no rendimento de grãos do híbrido AG 9010 com incremento da população nos dois experimentos em que conduziram. Cruz et al. (2007) verificaram que o rendimento de grãos foi afetado pela interação entre espaçamento e população de plantas, sendo que o rendimento cresceu linearmente com o aumento de 40.000 para 77.500 plantas ha^{-1} , em ambos os espaçamentos testados (50 e 80 cm entre as linhas). Nota-se que para híbridos com folhas eretas e menor altura de planta, a população ideal tende a ser maior. No entanto, essa população ideal para cada híbrido também pode ser menor se a lavoura for submetida a algum estresse ambiental.

Segundo Farinelli et al. (2003), genótipos com baixos valores de altura de plantas e de espigas, o que foi constatado para o híbrido AG 9010 neste estudo, possuem grande potencial para cultivo em populações adensadas em virtude da disposição anatômica das folhas. Híbridos superprecoces, por produzirem uma quantidade de fitomassa menor, são considerados mais tolerantes ao adensamento do que os híbridos tardios (ALMEIDA; SANGOI, 1996; SANGOI, 2001). Com base nestas informações, a resposta linear em rendimento de grãos do AG 9010 pode ser atribuída à melhor ocupação da área e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, favorecida pela sua arquitetura diferenciada em comparação aos demais genótipos mensurados. Isso é um indicativo de que o referido genótipo foi o mais exigente em população de plantas para maximizar o rendimento de grãos e que dependendo do híbrido a ser utilizado, o incremento na população de plantas pode ser uma prática de manejo que permite aumento no rendimento. Como a regressão não mostrou ponto de máxima, fica a indicação de que, nas condições estudadas, a população do AG 9010 pode ser aumentada além de 90.000 plantas ha^{-1} .

O aumento da população de plantas do híbrido AG 9010 híbrido permite a colheita de um maior número de espigas por unidade de área. A diminuição do tamanho das espigas com o incremento na população (Figuras 15 e 16) é suplantada pelo aumento do número das mesmas neste caso. Esse fato leva a acreditar, ainda, que a utilização de híbridos de milho de baixo porte, como o AG 9010, associado à utilização de espaçamento reduzido, deve ser acompanhado de incrementos na população de plantas, especialmente em lavouras de alto nível de manejo e em regiões com características climáticas favoráveis, desde que se usem híbridos tolerantes ao acamamento (ALMEIDA et al., 2000).

Resultados similares também foram obtidos por Penariol et al. (2003) ao constatarem comportamento distinto entre dois genótipos de milho quando submetidos a diferentes densidades de semeadura. Os referidos autores evidenciaram que o híbrido AG 9010 apresentou aumento linear de rendimento de grãos com o aumento da densidade de plantas, enquanto que a variedade BR 473 mostrou resposta quadrática em relação ao aumento populacional, com um ponto máximo de rendimento 4.770 kg ha^{-1} , alcançado com uma população em torno de $71.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. Resende, Von Pinho e Vasconcelos (2003) trabalhando com espaçamentos de 45, 70 e 90 cm e populações de 55.000, 70.000 e 90.000 plantas ha^{-1} também constatarem aumento linear no rendimento de grãos com o aumento na população, independente dos genótipos avaliados. O aumento no rendimento de grãos com o incremento na população de plantas também foi constatado no trabalho de Silva et al. (2008).

De uma maneira geral, a redução do espaçamento não afetou a maioria dos caracteres mensurados neste estudo, o que também foi observado por Argenta et al. (2001), Flesch e Vieira (2004), Penariol et al. (2003) e Scheeren et al. (2004). No trabalho de Kunz (2005), o único componente de produção influenciado pelo espaçamento foi a massa de grãos por espiga, que foi maior no espaçamento de 90 cm em relação ao de 45 cm entre as linhas. Bullock, Nielsen e Nyquist (1988), Murphy et al. (1996) e Sangoi et al. (2001), obtiveram aumento do número de grãos por espiga e massa de mil grãos com a redução do espaçamento, sem aumento no número de espigas por planta. Para justificar tais resultados, Sangoi et al. (2001) sugerem que a menor competição entre plantas dentro da linha por luz, água e nutrientes, devido à sua distribuição mais equidistante na área, aumenta a disponibilidade de carboidratos, permitindo que a planta forme maior número de grãos e com maior massa.

Tratando-se de população, esta influenciou a maioria dos caracteres, confirmando afirmações de Sangoi e Silva (2005), em que as características de perfilhamento pobre e ausência de ramificação fazem da planta de milho, a poácea mais sensível à variação da densidade de semeadura. Em comparação com a manipulação do espaçamento, a densidade populacional é a que tem maior efeito no rendimento de grãos do milho, já que pequenas alterações na população implicam modificações relativamente grandes no rendimento final da cultura (SILVA et al., 2006).

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, a utilização de espaçamentos reduzidos, que variam de 40 a 50 cm entre as linhas, associado a adoção de maiores densidades populacionais, vem aumentando a cada ano agrícola na cultura do milho, principalmente por parte de agricultores que cultivam, em áreas extensas, híbridos de baixa altura de planta e com arquitetura foliar ereta e que utilizam alta tecnologia em termos de adubação e manejo fitossanitário da cultura.

No entanto, antes de optar por essa técnica, os agricultores devem ter um bom manejo e conhecimento dos problemas técnicos e analisar todo o sistema de produção de sua propriedade, a fim de verificar se não há problemas a serem solucionados prioritariamente. Por exemplo, problemas relacionados à má condução do sistema plantio direto, como não adoção de rotação de culturas, controle deficiente de plantas daninhas, de insetos praga e de doenças.

Não se deve esperar a obtenção de bons rendimentos simplesmente utilizando alta tecnologia ou apenas reduzindo o espaçamento. Deve-se avaliar na fazenda as prioridades, pois é um investimento alto a fazer. Fica então a pergunta: será que a adoção desse sistema de semeadura é a opção mais urgente a se fazer dentro da fazenda? É uma grande mudança que deve ser feita sempre pensando em suas consequências.

No presente estudo, os híbridos de milho se diferenciaram em todos os caracteres mensurados, atribuindo-se esse fato, principalmente às características intrínsecas de cada genótipo. A redução de 90 para 45 cm entre as linhas não afetou a maioria dos caracteres, sendo que apenas a altura de planta, diâmetro de colmo, massa de mil grãos e rendimento de grãos obtiveram variações em suas médias, demonstrando que tal alteração é vantajosa com a utilização do espaçamento reduzido (45 cm entre as linhas).

Em geral, com o incremento da população de plantas, houve aumento linear do número de dias para as plantas atingirem o florescimento feminino, percentual de plantas acamadas e quebradas por ocasião do ponto de colheita e altura de inserção de espiga; e decréscimo linear dos diâmetros de colmo, espiga e sabugo, comprimento de espiga e de grão, número de fileiras de grãos por espiga,

prolificidade e massa de mil grãos, ao passo que altura de planta não foi afetada pela população.

O rendimento de grãos do híbrido XB 7253 apresentou um padrão quadrático de crescimento característico com o incremento na população de plantas, com rendimento máximo estimado em 8.000 kg ha⁻¹ com a utilização de 72.000 plantas ha⁻¹. O AG 9010 teve aumento linear no rendimento de grãos, obtendo-se acréscimos de 35,6 kg ha⁻¹ para cada 1000 plantas ha⁻¹. Os demais genótipos não tiveram ajustes de equações significativas. Tais resultados demonstram que cada genótipo a ser utilizado requer um arranjo espacial de plantas específico (considerado como o melhor) para maximizar seu rendimento de grãos.

É oportuno ressaltar que, mesmo que o rendimento de grãos seja semelhante nos diferentes arranjos espaciais de plantas, a utilização do espaçamento reduzido é vantajosa devido aos demais benefícios proporcionados.

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições edafoclimáticas de realização deste trabalho, pôde-se concluir que os melhores arranjos espaciais foram os seguintes: AG 9010 – 90.000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 45 cm entre as linhas; XB 7253 – 70.000 plantas ha⁻¹ nos dois espaçamentos; e XB 6010, XB 6012 e XB 9003 – sem resposta significativa aos arranjos, podendo ser recomendado 50.000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 45 ou 90 cm entre as linhas.

As influências em alguns caracteres não justificam mudanças nessas premissas uma vez que estes não limitam qualquer atividade e nem o rendimento de grãos dos híbridos avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L.; MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.
- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 179-183, 1996.
- ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 402-408, 2006.
- AMARAL FILHO, J. P. R. **Influência do espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.
- ANDRADE, F. H.; OTEGUI, M. E.; VEGA, C. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 92-97, 2000.
- ANDRADE, F. H.; VEGA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ, O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 453-459, 1999.
- ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M. L.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 27-34, 2003.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001.

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

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Benefícios e limitações da redução do espaçamento entre linhas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 37-41, 2005a.

BALBINOT JÚNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 415-421, 2005b.

BALBINOT JÚNIOR, 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. 34, n. 6, p. 245-252, 2004.

BALLARÉ, C. L.; CASAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 149-160, 2000.

BALLARÉ, C. L.; SCOPEL, A. L.; SÁNCHEZ, R. A. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. **Hort Science**, Nashville, v. 30, n. 6, p. 1172-1181, 1995.

BARBANO, M. T.; DUARTE, A. P.; BRUNINI, O.; RECO, P. C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; KANTHACK, R. A. D. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 261-268, 2001.

BARBIERI, P. A.; ROZAS, H. R. S.; ANDRADE, F. H.; ECHEVERRIA, H. E. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 2, p. 283-288, 2000.

BARBOSA, C. A. **Manual da cultura do milho (*Zea mays*)**. Viçosa, MG: AgroJuris, 2007, 123 p.

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

BORRÁS, L.; OTEGUI, M. E. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1816-1822, 2001.

BRACHTVOGEL, E. L. **Densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agronômicos**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. C. S.; BICUDO, S. J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2334-2339, 2009.

BRUNS, H. A.; ABBAS, H. K. Ultra-high plant populations and nitrogen fertility effects on corn in the Mississippi valley. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1136-1140, 2005.

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

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L.; SANTOS, M. X.; LEAL, M. L. S.; OLIVEIRA, A. C. Desempenho de híbridos de milho na região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 1, p. 43-52, 2003.

CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; OLIVEIRA, M. F.; HIROMOTO, D. M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 2, p. 187-193, 2003.

CARVALHO, I. Q. **Espaçamento entre fileiras e população de plantas em milho**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2007.

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

CESARO, V. **Avaliação de potencial produtivo do milho híbrido AGN-30A06 em espaçamentos e populações diferentes**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, intenção de plantio, terceiro levantamento, dezembro/2009**. Brasília, DF: Conab, 2009. 42 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, intenção de plantio, quinto levantamento, fevereiro/2010**. Brasília, DF: Conab, 2010. 45 p.

COSTA, A. C. S.; FERREIRA, J. C.; SEIDEL, E. P.; TORMENA, C. A.; PINTRO, J. C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos argilosos tratados com uréia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 467-473, 2004.

COX, W. J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 3, p. 489-496, 1996.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Milho: cultivares para 2008/2009**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 87).

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C.; MAGALHÃES, P. C. Resposta de cultivares de milho à variação em espaçamento e densidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 60-73, 2007.

DEMÉTRIO, C. S. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em diferentes arranjos populacionais em Jaboticabal – SP**. 2008. 53 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L.; IDE, F. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 7, p. 933-938, 2002.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L.; LOPES, P. P. Milho: população e distribuição de plantas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: tecnologia e produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. p. 120-125.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.

DUARTE, A. P. Milho safrinha: características e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 109-138.

DUNCAN, W. G. Maize. In: EVANS, L. T. (Ed.). **Crop physiology: some case histories**. London, Cambridge University Press, 1975. p. 23-50.

DUPONT; PIONEER. **Tecnologias integradas: soluções técnicas para a agricultura**. Barueri: Dupont, Santa Cruz do Sul: Pioneer, 2003. 19 p.

DUVICK, D. N.; CASSMAN, K. G. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1622-1630, 1999.

DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M.; STEWART, D. W. Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize (*Zea mays* L.) hybrids, 1959 to 1988. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 71, n. 1, p. 1-11, 1991.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMYGDIO, B. M.; TEIXEIRA, M. C. C. **Densidade de plantas e espaçamento entre linhas para o híbrido de milho BRS 1015**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 8 p. (Circular Técnica, 72).

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001. p. 59-71.

FANCELLI, A. L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. In: SIMPÓSIO DE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 1., 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 1 CD-ROM.

FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias**: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: CALQ, 1986. 131 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Fenologia do milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Orgs.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. p. 131-140.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia de produção e manejo de água e nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 129 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; COICEV, L.; FORNASIERI FILHO, D. Desempenho agrônomo de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 235-241, 2003.

FLÉNET, F.; KINIRY, J. R.; BOARD, J. E.; WESTGATE, M. E.; REICOSKY, D. C. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 2, 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, n. 1, p. 25-31, 2004.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007, 574 p.

FORSTHOFER, E. L. **Potencial de rendimento de grãos e desempenho econômico do milho em cinco níveis de manejo, em três épocas de semeadura.** 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FURTADO, M. B. **Sistemas de preparo do solo e populações de plantas em espaçamentos reduzido:** comportamento de cultivares de milho (*Zea mays* L.). 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

HOEFT, R. G. Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA. **Informações Agronômicas**. Piracicaba, n. 104, p.1-4, 2003.

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

KUNZ, R. P. **Influência do arranjo de plantas e da população em características agronômicas e produtividade do milho.** 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

LANA, M. C.; WOYTICHOSKI JÚNIOR, P. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 433-438, 2009.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Cultivo do milho: clima e solo. 4. ed. 2008. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/climaesolo.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2009.

LAÜER, J. Should I be planting corn at a 30-inch row spacing. **Wisconsin Crop Manager**, Madison, v. 1, n. 6, p. 56-57, 1994.

LEITE, D. R. **Comportamento de milho *Zea mays* L. braquítico – 2 em diferentes densidades de plantio.** 1973. 38 f. Dissertação (Mestrado em Genética e

Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.

LENZI, E. A. **População e distribuição espacial de plantas em cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 1992. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1992.

LIANG, B. C.; REMILLARD, M.; MACKENZIE, A. F. Effects of hybrids, population densities, fertilization and irrigation on grain corn (*Zea mays* L.) in Quebec. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 1163-1170, 1992.

LOOMIS, R. S.; CONNOR, D. J. **Crop ecology**: productivity and management in agricultural systems. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 538 p.

LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

LÚCIO, A. D. **Parâmetros da precisão experimental das principais culturas anuais do Estado do Rio Grande do Sul**. 1997. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; SILVA, W. J.; TEIXEIRA, J. P. F. Análise quantitativa do crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 6, p. 825-833, 1982.

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

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 76).

MAGALHÃES, P. C.; PAIVA, E. Fisiologia da produção. In: CRUZ, J. C.; MONTEIRO, J. A.; SANTANA, D. P.; GARCIA, J. C.; BAHIA, F. G. F. T. C.; SANS, L. M. A.; PEREIRA FILHO, I. A. (Eds.). **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Milho e Sorgo; Embrapa-SPI, 1997. p. 85-92.

MANFRON, P. A.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura do milho em função de graus-dia acumulados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 327-332, 2003.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; XIMENES, P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MATEUS, G. P.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. Produção de forragem de milho consorciado com *Brachiaria brizantha* em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABMS, 2004. 1 CD-ROM.

MATOSO, M. J.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 95-104, 2006.

MEROTTO JÚNIOR, A.; ALMEIDA, M. L.; FUCHS, O. Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 549-554, 1997.

MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; HAVERROTH, H.S. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 595-601, 1999.

MILANI, M.; OSUNA, J. T. A.; CHURATA, B. G. M. Estimativas de parâmetros genéticos em famílias de meios-irmãos do composto arquitetura de milho (*Zea mays* L.) em três densidades de semeadura. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 46, n. 264, p. 199-207, 1999.

MIRANDA, G.V.; COIMBRA, R. R.; GODOY, C. L.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MELO, A. V. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 6, p. 681-688, 2003.

MOLIN, R. **Espaçamento entre linhas de semeadura na cultura de milho**. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2000. 72 p.

MÜLLER, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RANDIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M. I. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir de soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

MUNDSTOCK, C. M. **Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/ASCAR, 1977. 35 p. (Boletim Técnico, 1).

MURPHY, S. D.; YAKUBU, Y.; WEISE, S. F.; SWANTON, C. J. Effect of planting patterns on intrarow cultivation and competition between corn and late emerging weeds. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 6, p. 856-870, 1996.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. New York: Academic Press, 1991. 635 p.

NORMAN, J. M.; CAMPBELL, G. S. Interfacing leaf and canopy light interception models. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H. A.; RUNDEL, P. W. (Eds.). **Plant physiological ecology: field methods and instrumentation**. New York: Chapman and Hall, 1989. p. 301-325.

NOVAIS, R. F. **Comportamento de dois híbridos duplos (*Zea mays* L.) AG206 e H6000 em três populações de plantas e três níveis de nitrogênio**. 1970. 64 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1970.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHKE, C. W. Redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 92, 2006.

OLIVEIRA, M. D. X. **Comportamento da cultura do milho (*Zea mays* L.) em diferentes épocas de semeadura nas regiões centro e norte de Mato Grosso do Sul**. 1990. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.

PAES, J. M. V.; ZITO, R. K. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 54-64, 2006.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. 650 p.

PAULO, E. M.; ANDRADE, J. A. C. Comportamento de um milho híbrido hiperprecoce em dois espaçamentos e diferentes populações de plantas. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 12, n. 1, p. 77-88, 2003.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.

PEREIRA FILHO, I. A. **Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) “Piranão” e “Centalmex” em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio**. 1977. 84 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1977.

PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, A. C.; CRUZ, J. C. Milho verde: espaçamentos, densidades de plantas, cultivares e épocas de semeadura, influenciando o rendimento e algumas características de espigas comerciais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Anais...** Recife: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo, 1998. 1 CD-ROM.

PEREIRA, R. C. **Relação entre características estruturais e bioquímicas e a textura do grão de milho**. 2006. 54 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PEREIRA, R. S. B. Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético de milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 5, p. 745-751, 1991.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PINOTTI, E. B. **Características de três cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob quatro populações de plantas em espaçamento reduzido**. 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

PORTER, P. M.; HICKS, D. R.; LUESCHEN, W. E.; FORD, J. H.; WARNES, D. D.; HOVERSTAD, T. R. Corn response to row width and plant population in the northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 10, n. 2, p. 293-300, 1997.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. (Eds.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 1-42.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAJCAN, I.; SWANTON, C. J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 139-150, 2001.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 245-253, 1999.

RESENDE, S. G.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Alternativas para o arranjo de plantas na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS/EPAGRI/Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

RESENDE, S. G.; VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. Influência do espaçamento entre linhas e da densidade de plantio no desempenho de cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 34-42, 2003.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.

RIZZARDI, M. A.; BOLLER, W.; DALLOGLIO, R. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 8, p. 1231-1236, 1994.

RIZZARDI, M. A.; PIRES, J. L. Resposta de cultivares de milho à distribuição de plantas na linha, com e sem controle de plantas daninhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 13-17, 1996.

RODRIGUES, L. R.; GUADAGNIN, J. P.; PORTO, M. P. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2009/2010 e 2010/2011**. Veranópolis: FEPAGRO-Serra, 2009. 179 p.

ROSS, J. **The radiation regime and architecture of plant stands**. The Netherlands: Kluwer Academic, 1981. 391 p.

RUGET, F. Contribution of storage reserves during grain filling of maize in northern European conditions. **Maydica**, Bergamo, v. 38, n. 1, p. 51-59, 1993.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 1, n. 2, p. 60-66, 2002a.

SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; MINETTO, T. J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1021-1029, 2003.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. ; ALMEIDA, M. L. ; HEBERLE, P. C. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 861-869, 2001.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Incidência e severidade de doenças de quarto híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 17-21, 2000.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHETTI, P. Híbridos contemporâneos são mais exigentes em população de plantas para maximizarem o rendimento de grãos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS/EPAGRI/Embrapa Milho e Sorgo, 2002. CD-ROM.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M. A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHETTI, P. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 39-51, 2002b.

SANGOI, L.; SALVADOR, R. J. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 3, p. 297-306, 1998.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 263-271, 2007.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. Densidade e arranjo populacional em milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 8., 2005, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2005. p. 27-41.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; SILVA, A. A.; ERNANI, P. R.; HORN, D.; STRIEDER, M. L.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C. Desempenho agrônomo de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 218-231, 2006.

SCHEEREN, B. R.; BAZONI, R.; BONO, J. A.; ARIAS, S. S.; OLIVEIRA, R.; SALOMÃO, L. Arranjo populacional para a cultura do milho na região central do Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 55-60, 2004.

SCHWANTES, D. O.; SCHUELTER, A. R.; FONTOURA, D.; MAROCHIO, J. Características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas: safrinha de 2005. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 343-349, 2007.

SHARRATT, B. S.; McWILLIAMS, D. A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1129-1135, 2005.

SHIOGA, P. S. Redução de espaçamento em milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 8., 2005, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 2005. p. 43-56.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 381-390, 2004.

SILVA, A. G.; CUNHA JÚNIOR, C. R.; ASSIS, R. L.; IMOLES, A. S. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agrônômicos do híbrido de milho P30K75 em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 89-96, 2008.

SILVA, A. R. B. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2004. 147 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; CARDOSO, E. T.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Resposta de dois híbridos de milho ao arranjo de plantas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS/EPAGRI/Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 64 p.

SILVA, W. C. M.; RICIERI, R. P.; AMORIM, R. C. F.; GRIGOLETO, M. W.; DALLACORT, R. Temperatura do ar e a duração dos estádios fenológicos do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 3., 2001, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2001. p. 165-168.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop Science**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 638-643, 1998.

SOUZA, P. M.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 13-54.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS. **SAS/STAT user's guide: version 6. 4. ed.** Cary: Statistical Analysis System Institute, 1994.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A.; ENDRIGO, P. C. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Armed, 2004. 710 p.

TEASDALE, J. R. Influence of narrow row/high population corn (*Zea mays*) on weed control and light transmittance. **Weed Technology**, Lawrence, v. 9, n. 1, p. 113-118, 1995.

THOMISON, P. R.; JORDAN, D. M. Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 3, p. 394-400, 1995.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 2, p. 305-311, 1992.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize: a review. **Maydica**, Bergamo, v. 22, n. 2, p. 49-75, 1977.

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, n. 2, p. 239-246, 1997.

TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D. E.; DWYER, L. M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G. A. (Ed.). **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 183-236.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1597-1604, 1999.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Grain: world markets and trade. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/grain/circular/2009/10-09/graintoc.asp>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

VAZQUEZ, G. H.; SILVA, M. R. R. Influência de espaçamentos entre linhas de semeadura em híbrido simples de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** Sete Lagoas: ABMS/EPAGRI/Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 1 CD-ROM.

VIEIRA, M. A.; CAMARGO, M. K.; DAROS, E.; ZAGONEL, J.; KOEHLER, H. S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 81-86, 2010.

VILARINHO, A. A. Densidade e espaçamento como fatores de produtividade na cultura do milho. 2005. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=237>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

WANG, G.; KANG, M. S.; MORENO O. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3, p. 211-222, 1999.

ZANIN, C. G. **Senescência foliar lenta e desenvolvimento uniforme como características favoráveis a adaptação de cultivares de milho ao incremento na população de plantas**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007.

**APÊNDICE A –
FOTOS DO EXPERIMENTO**



Figura 23. Vista geral da área experimental com os sulcos de semeadura previamente abertos e distribuição do fertilizante (esquerda) e detalhe do mecanismo sulcador de hastes (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).



Figura 24. Semeadura manual dos híbridos (esquerda) e detalhe da matraca utilizada (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).



Figura 25. Parcela experimental com linhas de semeadura no espaçamento de 45 cm (esquerda) e no espaçamento de 90 cm entre as linhas (direita), aos 13 dias após a semeadura. Selvíria – MS, Brasil (2009).



Figura 26. Detalhe da linha de semeadura com a presença de duas plantas por cova aos 8 dias após a semeadura (esquerda) e detalhe do desbaste de plantas aos 27 dias após a semeadura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).



Figura 27. Vista geral da área experimental na ocasião da adubação nitrogenada aos 20 dias após a semeadura (esquerda) e plantas no florescimento pleno aos 60 dias após a semeadura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).



Figura 28. Vista geral da área experimental sendo irrigada por aspersão por sistema do tipo pivô central, aos 43 dias após a semeadura. Selvíria – MS, Brasil (2009).



Figura 29. Colheita manual do milho aos 130 dias após a semeadura (esquerda) e acondicionamento das espigas sobre bancadas, em local sombreado e ventilado (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009).