

DYANE COELHO QUEIROZ

**POPULAÇÃO DE PLANTAS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MILHO
PIPOCA**

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2011**

DYANE COELHO QUEIROZ

**POPULAÇÃO DE PLANTAS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MILHO
PIPOCA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Q3p

Queiroz, Dyane Coelho
População de plantas e componentes de produção de milho pipoca / Dyane Coelho Queiroz. -- Maringá, 2011. xiv, 81 f. : il. figs.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho.
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2011

1. Milho-pipoca (Zea mays L.)- Umidade -Capacidade de expansão. 2. Milho-pipoca (Zea mays L.)- Densidade populacional. 3. Milho-pipoca (Zea mays L.)- Componentes de produção. 4. Milho-pipoca (Zea mays L.)- Produtividade. 5. Milho-pipoca (Zea mays L.)- Safrinha. 6. Milho-pipoca (Zea mays L.)- Safra Verão. I. Vidigal Filho, Pedro Soares, orient. II. Scapim, Carlos Alberto, co-orient. III. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 21.ed. 633.15

DYANE COELHO QUEIROZ

**POPULAÇÃO DE PLANTAS E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MILHO
PIPOCA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2011.

Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim

Prof. Dr. Osmar Rodrigues Brito

Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho
(Presidente)

*É maravilhoso:
amar, viver, sorrir, sonhar!
quando há tantos que choram,
odeiam, revolvem-se em pesadelos,
morrem antes de nascer.*

*É maravilhoso ter Deus para crer,
quando há tantos que não têm
o consolo de uma crença.*

*É maravilhoso Senhor, sobretudo,
ter tão pouco a pedir
tanto a oferecer e agradecer.*

Michel Quoist

Aos meus pais, Rosalvo e Ivonete, cujo incentivo, confiança e amor incondicional foram preponderantes para a conclusão deste trabalho.

A meus irmãos, Dayane e Rodney e minhas sobrinhas Lianne e Maria Eduarda.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Deus, por ser o timoneiro Fiel, que me ajuda a singrar os mares da vida.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGA), pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

À Fundação Araucária (PRONEX), pela disponibilidade de recursos financeiros necessários ao desenvolvimento deste estudo.

Ao Prof. Dr. Pedro Soares Vidigal Filho cuja orientação, confiança e importantes ensinamentos contribuíram expressivamente para o meu aprendizado.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim, pela Co-orientação e compartilhamento de conhecimentos essenciais à realização deste trabalho.

À Érika Cristina Takamizawa Sato, Secretária do PGA, pela atenção dedicada e amizade.

Ao meu grande amigo Renan Soares de Sousa, pelo companheirismo incondicional e valiosa colaboração em todas as etapas deste trabalho.

Aos colegas e amigos Odair José Marques e Ricardo Shigueru Okumura, assim como aos Estagiários de Iniciação Científica Deivid Lincoln Reche e Vinicius Bovo Cortinove, pelo auxílio prestado durante toda a condução do presente estudo.

Aos senhores Antônio Rodrigues Queiroz Filho e Francisco Luiz Raimundo, funcionários da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), pela ajuda na realização das atividades de campo.

BIOGRAFIA

DYANE COELHO QUEIROZ, filha de Rosalvo do Carmo Queiroz e Ivonete Maria Coelho Queiroz, nascida na cidade de São Felix (BA), aos 18 dias do mês de novembro de 1982.

Estudou o Jardim I na Pré-escola São Luiz e o restante do Ensino Infantil na Escola Moranguinho, em Cruz das Almas-BA.

Em dezembro de 1997, concluiu o Ensino Fundamental no Colégio Municipal Jorge Guerra, em Cruz das Almas – BA.

Em dezembro de 2000, concluiu o Ensino Médio no Colégio Educacional Cruzalmense, em Cruz das Almas – BA.

Em 2008, diplomou-se no curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Em 2009, ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, no Curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal.

ÍNDICE

ÍNDICE	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Ecofisiologia do milho	4
2.1.1. Fisiologia da produção.....	4
2.1.2. Influência da temperatura no desenvolvimento do milho.....	5
2.1.3. Luminosidade no crescimento e desenvolvimento do milho	6
2.1.4. Disponibilidade hídrica	7
2.2. População de plantas e produtividade de milho.....	8
2.2.1. Características gerais	8
2.2.2. Alterações morfofisiológicas.....	10
2.3. Características do milho pipoca	13
2.3.1. Capacidade de expansão.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Período de realização e localização	15
3.2. Solo e clima	15
3.3. Tratamentos.....	16
3.3.1. Híbrido IAC-112	17
3.3.2. Híbrido IAC-125	17
3.4. Características das unidades experimentais	18
3.5. Delineamento experimental	18
3.6. Instalação e condução dos experimentos	18
3.7. Irrigação.....	19
3.8. Avaliações fitotécnicas.....	19
3.8.1. Características da parte aérea.....	19
3.8.1.1. Altura média de plantas (m).....	19

3.8.1.2. Altura média de inserção de espiga (cm).....	20
3.8.1.3. Diâmetro médio do colmo (cm)	20
3.8.1.4. Índice de área foliar	20
3.8.2. Componentes de produção.....	20
3.8.2.1. Comprimento médio de espiga (cm).....	20
3.8.2.2. Diâmetro médio de espiga (cm).....	21
3.8.2.3. Número médio de grãos por fileira de espiga	21
3.8.2.4. Massa média de mil grãos	21
3.8.2.5. Produtividade de grãos	21
3.8.2.6. Capacidade de expansão – CE	21
3.9. Análises estatísticas	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1. Condições climáticas	23
4.1.1. Condições climáticas “Safrinha” 2010.....	23
4.1.2. Condições climáticas “Safrinha” 2010/2011.....	23
4.2. Características da parte aérea.....	24
4.2.1. Altura média de plantas.....	24
4.2.2. Altura média de inserção de espiga	26
4.2.3. Diâmetro médio do colmo	28
4.2.4. Índice de área foliar.....	31
4.3. Componentes de produção.....	34
4.3.1. Comprimento médio de espiga	34
4.3.2. Diâmetro médio de espiga	36
4.3.3. Número médio de grãos por fileira de espiga.....	39
4.3.4. Massa de mil grãos	41
4.3.5. Capacidade de expansão	43
4.3.6. Produtividade de grãos	45
5. CONCLUSÕES	50
6. REFERÊNCIAS.....	51

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Precipitação pluvial, e temperaturas médias, máximas e mínimas ocorridas durante o período de “Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” 2010/2011 (Dados obtidos junto ao LAS/FEI).....	16
Figura 2 - Altura média de plantas dos híbridos de milho pipoca (IAC 112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010.....	25
Figura 3 - Altura média de plantas dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha de Verão” 2010/2011.....	26
Figura 4 - Altura média de inserção de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010.....	27
Figura 5 - Altura média de inserção de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha de Verão” 2010/2011.....	28
Figura 6 - Diâmetro médio de colmo dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125) em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010.....	30
Figura 7 - Diâmetro médio de colmo dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125) em função da densidade populacional de plantas “Safrinha de Verão” 2010/2011.....	30
Figura 8 - Índice de área foliar dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010.....	32
Figura 9 - Índice de área foliar dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha de Verão” 2010/2011.....	33
Figura 10 - Comprimento médio de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125) em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010.....	35

Figura 11	- Comprimento médio de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125) em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010/2011.	36
Figura 12	- Diâmetro de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010	38
Figura 13	- Diâmetro de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010 /2011	38
Figura 14	- Número de grãos por fileira de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010.....	40
Figura 15	- Número de grãos por fileira de espiga dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010/2011	40
Figura 16	- Massa média de mil grãos, em função da densidade populacional de plantas, dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010	42
Figura 17	- Massa média de mil grãos, em função da densidade populacional de plantas, dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010/2011	42
Figura 18	- Capacidade de expansão dos híbridos do milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010	44
Figura 19	- Capacidade de expansão dos híbridos do milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010/2011	45
Figura 20	- Produtividade dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010	46
Figura 21	Produtividade dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” 2010/2011	47

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 - Resultados de análise química de material de solo da área experimental no cultivo de “Safrinha” 2010.....	15
Quadro 2 - Resultados de análise química de material de solo da área experimental no cultivo de “Safrinha” 2010/2011.....	16
Quadro 3 - Espaçamento entre plantas e número de plantas por metro linear, para obtenção das cinco densidades populacionais	17
Quadro 4 - Resumo da análise de variância referente à altura média de plantas (m) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011.....	24
Quadro 5 - Desdobramento do efeito dos híbridos IAC-112 e IAC-125 em função da densidade populacional, referente à característica altura média de plantas (m) “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011	26
Quadro 6 - Resumo da análise de variância referente à altura média de inserção de espiga (cm) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011.....	27
Quadro 7 - Desdobramento do efeito dos híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125) em função da densidade populacional, referente à característica altura média de inserção de espiga (cm) “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011.....	29
Quadro 8 - Resumo da análise de variância referente ao diâmetro médio de colmo de plantas (cm) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais, “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011	29
Quadro 9 - Resumo da análise de variância referente ao índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$) de dois híbridos de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), em cinco densidades populacionais “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011	32

Quadro 10 - Resumo da análise de variância referente ao comprimento médio de espiga (cm) de dois híbridos de milho pipoca, em cinco densidades populacionais “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011	34
Quadro 11 - Desdobramento do efeito dos híbridos IAC 112 E IAC 125, em função da densidade populacional à característica comprimento médio de espiga (cm) “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011	37
Quadro 12 - Resumo da análise de variância referente ao diâmetro médio de espiga (mm) de dois híbridos em cinco densidades populacionais na “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011.....	37
Quadro 13 - Resumo da análise de variância referente ao número médio de grãos por fileira de dois híbridos em cinco densidades populacionais na “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011.....	39
Quadro 14 - Resumo da análise de variância referente à massa de mil grãos de dois híbridos em cinco densidades populacionais na “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011	41
Quadro 15 - Resumo da análise de variância referente à capacidade de expansão (mL g^{-1}) de dois híbridos em cinco densidades populacionais na “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011.....	43
Quadro 16 - Resumo da análise de variância referente à produtividade de dois híbridos em cinco densidades populacionais na “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011	46
Quadro 17 - Desdobramento do efeito dos híbridos IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional, referente à característica produtividade de grãos na “Safrinha 2010 e “Safrinha” 2010/2011	49

RESUMO

QUEIROZ, D.C. M.Sc. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2011.
População de plantas e componentes de produção de milho pipoca.
Professor Orientador: Dr. Pedro Soares Vidigal Filho. Professor Co-orientador:
Dr. Carlos Alberto Scapim.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da população de plantas sobre os componentes de produção de dois híbridos de milho pipoca, nos períodos de “Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011. Os experimentos foram instalados na Fazenda Experimental de Iguatemi, distrito de Maringá, Noroeste do Paraná, em área de ocorrência de Nitossolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental utilizado foi blocos completos com tratamentos casualizados, com quatro repetições, no esquema fatorial de 5 x 2, resultante da combinação de cinco populações de plantas (40.000; 55.000; 70.000; 85.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) e dois híbridos comerciais de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125), as parcelas foram espaçadas com 0,9 m entre linhas. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância individual com os respectivos desdobramentos. Os efeitos das populações de plantas foram estudados por meio da análise de regressão polinomial e os efeitos dos híbridos foram comparados pelo teste F, utilizando-se o programa estatístico Sisvar. No período de “Safrinha” 2010, observou-se efeito da densidade populacional para as características da parte aérea, diâmetro do colmo e índice de área foliar, bem como, para os componentes de produção comprimento médio de espiga, capacidade de expansão e produtividade de grãos. No que se refere ao período de cultivo de “Safrinha de Verão” 2010/2011, as densidades populacionais influenciaram de maneira significativa sobre as características, diâmetro de colmo e índice de área foliar, verificando-se ainda efeito do incremento na densidade de plantas sobre os componentes de produção, número médio de grãos por fileira, capacidade de expansão e produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Zea mays* (L.), milho especial, densidade populacional, componentes de produção.

ABSTRACT

QUEIROZ, D.C. M.Sc. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2011. **Plant population and yield components of popcorn.** Adviser: Pedro Soares Vidigal Filho. Committee members: Carlos Alberto Scapim, Osmar Rodrigues Brito, Pedro Soares Vidigal Filho.

The aim of this study was to evaluate the effect of plant population on yield components of two hybrids of popcorn, in periods of "off-season" 2010 and "Yield" summer of 2010/2011. The experiments took place at the Experimental Farm of Iguatemi district of Maringá, Northwest of Paraná, in area of occurrence of Red Nitosol, argyle texture. The experimental design was randomized complete block with treatments with four replications in a factorial 5 x 2, resulting from the combination of five plant populations (40,000; 55,000; 70,000; 85,000 and 100,000 plants ha⁻¹) and two commercial hybrids popcorn (IAC-112 and IAC-125), the plots were spaced 0.9 m between rows. The experimental data were subjected to variance analysis with their individual developments. The effects of plant populations were studied by means of polynomial regression and the effects of the hybrids were compared by F test using the statistical program *Sisvar*. During the off season in 2010, observed an effect of population density on the characteristics of leaves, stem diameter and leaf area index, as well as for yield components of spike length, capacity expansion and productivity grains. As regards the cultivation of "Summer" 2010/2011, the densities influenced significantly on the characteristics, stem diameter and leaf area index, and there are still effects of increased plant density on components production, average number of kernels per row, expandability, and grain yield.

Keywords: *Zea mays* (L.), special corn, population density, yield components.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie vegetal de ciclo anual e explorada comercialmente entre as latitudes 58° N (Canadá) e 40° S (Argentina), sendo cultivada em quase todas as regiões do Brasil (VAVILOV, 1951).

No mundo existem mais de 250 raças de milho conhecidas, sendo que as mais disseminadas apresentam o gene “*flint*”, que confere maior resistência ao endosperma (ZINSLY e MACHADO, 1987, PARTERNIANI, 2000). O milho pipoca é um tipo especial de milho, que se destaca dos demais por ser portador do gene “*flint*” e por apresentar cariopses (grãos) pequenos, tipo duro, e pericarpo mais espesso e resistente (GAMA et al., 1990), com capacidade de estouro quando submetidos ao aquecimento, transformando-se em pipoca (ZIEGLER e ASHMAN, 1994).

Segundo Sawazaki (2001), a cultura do milho pipoca é típica do continente americano, sendo utilizada exclusivamente para o consumo humano.

O consumo do milho pipoca no mundo teve aumento considerável após o aprimoramento e popularização de máquinas pipoqueiras elétricas e de fornos microondas, resultando na elevação do volume de milho pipoca processado (ANDRADE et al., 2000; NUNES, 2003). Por sua vez, desde a década de 1990, o mercado brasileiro encontra-se em expansão, o que vem constituindo uma boa opção econômica para os agricultores (SAWAZAKI, 2003).

Neste contexto, o Brasil importa anualmente cerca de 60.000 t de milho pipoca (PACHECO et al., 1998; GALVÃO et al., 2000; PEREIRA e AMARAL JÚNIOR, 2001). Apesar dos avanços no melhoramento de milho pipoca no Brasil, os dados sobre produção, produtividade e consumo de milho pipoca ainda são escassos, pelo fato de ser incluído, nos levantamentos estatísticos, como produção de grãos de milho comum (SAWAZAKI, 2003).

Conforme descrito por Sawazaki (2003), devido o registro de novos híbridos de milho pipoca, nacionais e exóticos, por empresas de pesquisa

públicas e privadas, a produção nacional tem aumentado substancialmente e, em contrapartida, tem reduzido a dependência da importação de grãos de milho pipoca para o consumo interno.

O potencial de retorno econômico da cultura do milho pipoca tem permitido o seu crescimento a cada ano, sobretudo para os agricultores familiares, tendo em vista o maior valor agregado ao milho pipoca em relação ao milho e à outras culturas anuais como a soja (ANDRADE et al., 2001; ANDRADE et al., 2002; PINTO et al., 2007). Tal fato pode ser atestado pelos inúmeros trabalhos científicos, os quais teem a cultura do milho pipoca como objeto de estudo, principalmente nas linhas de melhoramento genético, adaptabilidade da cultura e qualidade de grãos (RUFFATO et al., 2000; PINHO et al., 2003; CARNEIRO et al., 2003; PACHECO et al., 2005; CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2005; SCAPIM et al., 2006; VILELA et al., 2008).

Entretanto, tendo em vista a rusticidade da cultura do milho pipoca frente ao milho comum, faz-se necessário o desenvolvimento de práticas culturais adequadas de forma a propiciar incremento na produtividade brasileira de milho pipoca. Dentre essas práticas culturais, destaca-se a população adequada das plantas no campo, visando à maximização da produção (SILVA et al., 1999; ALMEIDA et al., 2000; ANDRADE et al., 2000; FLESCHE e VIEIRA, 2004; STRIEDER et al., 2008).

Os estudos relacionados ao comportamento da cultura do milho pipoca em diferentes densidades são de extrema importância, pois possibilitam a determinação do arranjo de plantas que proporciona maiores produtividades de grãos (ARGENTA et al., 2001). Este fato é mais crítico quando se observa que a baixa produtividade das lavouras de milho brasileiras, seja de milho comum, seja de milho pipoca, na maioria das vezes se deve a uma densidade não adequada de plantas por unidade de área (SANGOI et al., 2001).

As respostas à densidade de plantas incluem mudanças na arquitetura da comunidade, no crescimento, no desenvolvimento e na absorção e partição de fotoassimilados pelas plantas (SANGOI et al., 2006).

Até o momento diversos estudos realizados com milho comum mostraram respostas variáveis na produtividade de grãos em função da densidade de plantas (CASAL et al., 1985; SILVA et al., 1995; ALMEIDA e SANGOI, 1996; MERROTO JÚNIOR et al., 1997; PORTER et al., 1997;

ANDRADE et al., 1999; FLESCH e VIEIRA, 2004; ALVAREZ et al., 2006; STRIEDER et al., 2008; BRACHTVOGEL et al., 2009). Assim sendo, é de suma importância o maior aporte de informações científicas quanto à escolha da melhor densidade populacional em lavouras de milho pipoca.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da população de plantas sobre os componentes de produção de milho pipoca.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ecofisiologia do milho

2.1.1. Fisiologia da produção

O milho, como as demais plantas C_4 , durante o processo evolutivo aprimorara os mecanismos metabólicos de assimilação de CO_2 , água e nitrogênio, além de otimizar a atividade fotossintetizante a ponto de não apresentar saturação por radiação luminosa em condições ambientais naturais (HORTON, 2000).

Segundo Hattersley (1984), o metabolismo fotossintético do tipo C_4 caracteriza-se pelo elevado potencial produtivo. Entre as plantas C_4 , o milho está no grupo de espécies com maior eficiência de uso da radiação solar, sendo essa eficiência, atribuída a sua anatomia foliar, que apresenta menor área entre as nervuras e a lamela suberizada, o que previne a perda de CO_2 para o meio.

Segundo Taiz e Zeiger (2004), o ciclo C_4 básico consiste de quatro estádios: i) fixação do CO_2 pela fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) nas células do mesófilo para formar um ácido de 4 carbonos (C_4) (malato e/ou aspartato), que é o primeiro produto estável da fotossíntese; ii) transporte dos ácidos C_4 para a bainha vascular; iii) descarboxilação dos ácidos C_4 dentro da bainha vascular gerando CO_2 , que se reduz a carboidrato via ciclo de Calvin; iv) transporte do ácido C_3 (piruvato ou alanina), formado na etapa de descarboxilação, de volta à célula do mesófilo e regeneração do acceptor de CO_2 fosfoenolpiruvato. Neste metabolismo, o CO_2 é continuamente concentrado em células dispostas em forma de anel que circundam os feixes vasculares (BROWN e HATTERSLEY, 1989).

Os produtos finais da fotossíntese dessas plantas apresentam, portanto, maior quantidade de carbono, favorecendo a obtenção de produtividade de grãos mais elevadas (EHLERINGER et al., 1997).

Entre plantas C_3 e C_4 , o grande diferencial está relacionado à fotorrespiração. Em plantas com metabolismo C_3 , perde-se de 20 a 50% da

fixação de carbono, enquanto que, na via C₄, não ocorrem perdas mensuráveis de CO₂ pela reação inibitiva com o O₂ (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Por ser uma espécie de metabolismo C₄, o milho tende a apresentar alta produtividade, mesmo quando submetido à elevadas temperaturas (TAIZ e ZEIGER, 2004), ou ainda quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico (BERGAMASCHI et al., 2001).

Várias respostas do milho aos fatores do ambiente decorrem de seu metabolismo C₄, que resulta em elevada produtividade de grãos, quando comparado à outras espécies de metabolismos diferentes (BERGAMASCHI et al., 2004).

Durante a fase reprodutiva das plantas de milho, considera-se a ocorrência de um intenso aporte de fotoassimilados aos grãos que se encontram em processo de desenvolvimento. Desse modo, uma eficiente cadeia de transporte de fotoassimilados em direção aos grãos em formação é de grande importância para garantir altas produtividades (ALLISON e WATSON, 1966). Assim sendo, os fatores ambientais que limitam a adaptação de híbridos de milho, podem interferir significativamente no rendimento de grãos, visto que, esse rendimento tende a ser limitado por processos que controlam o desenvolvimento do grão (DONALD e HAMBLIN, 1976).

De acordo com Cody (1996), quando indivíduos de uma comunidade vegetal são submetidos à relações de competição por recursos materiais e energéticos, sobreviver-se-ão aqueles que detiverem características adaptativas superiores de natureza morfológica, fisiológica e comportamental.

2.1.2. Influência da temperatura no desenvolvimento do milho

Os processos fisiológicos e funcionais da planta de milho estão na dependência, dentre outros fatores, dos limites térmicos ambientais, tendo em vista que, para a finalização de cada subperíodo do desenvolvimento, é necessário um somatório térmico em °C dia⁻¹ (BERLATO et al., 1984; LOZADA e ANGELOCCI, 1999).

A soma térmica ou graus-dia é definida como a soma das temperaturas acima de uma temperatura base, necessária para que a planta atinja um

determinado estágio fenológico de desenvolvimento. Representa desta forma, um dos métodos utilizados para relacionar a temperatura ao desenvolvimento das plantas (KINIRY e BONHOMME, 1991).

Andrade et al. (1991) e Andrade (1992) afirmam que a faixa ideal para germinação das sementes de milho está entre 25 e 30 °C, havendo sérios prejuízos à germinação das sementes de milho quando a temperatura do solo é inferior a 10 °C ou superior a 42 °C.

Desta maneira, o conhecimento da mesma se faz fundamental no processo de determinação da duração dos subperíodos de desenvolvimento das plantas em condições hídricas satisfatórias (GADIOLLI et al., 2000; BARBANO et al., 2001), uma vez que, a temperatura atua sobre todos os processos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento da planta de milho, desde a germinação até a maturidade fisiológica dos grãos (TOLLENAR e LEE, 2002).

As cultivares de milho podem ser agrupadas de acordo com o ciclo da planta em superprecoce, precoce, e normal, de acordo com suas exigências térmicas, tendo as cultivares superprecoces necessidades inferiores a 830°C dia⁻¹, as precoces entre 830 e 890 °C dia⁻¹ e as normais necessidades superiores a 890 °C dia⁻¹ (GADIOLI et al., 2000; SANGOI et al., 2002).

2.1.3. Luminosidade, crescimento e desenvolvimento do milho

A luz representa um sinal ambiental e quando esse sinal é percebido, desencadeia mudanças no metabolismo e no desenvolvimento das plantas, portanto, o processo pelo qual a luz regula o desenvolvimento das plantas é denominado fotomorfogênese (TAIZ e ZEIGER, 2004).

A utilização de luz é um processo fundamental para a produtividade de milho, considerando-se que, por meio da fotossíntese, a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos, a quantidade de energia convertida e, conseqüentemente, a quantidade de massa seca produzida dependem da percentagem de absorção e da eficiência de utilização da energia absorvida (LOOMIS e WILLIAMS, 1963).

Entretanto, é importante levar em consideração que a conversão da radiação solar absorvida em massa seca é dependente de mudanças na

fotossíntese, temperatura e na fração do carbono, fixado pelo processo fotossintético e consumido na respiração (GALLAGHER e BISCOE, 1978). Tollenaar e Bruulsema (1988) relataram que existe uma relação linear entre a fitomassa produzida e a energia radiante absorvida, ao longo do ciclo da planta de milho.

Segundo Tollenaar e Bruulsema (1988) e Muchow et al. (1990), a produtividade de milho está intimamente relacionada à quantidade de radiação solar interceptada pela cultura, quando esta se encontra sob condições de fertilidade e hídricas do solo adequadas.

A qualidade de luz recebida pelas plantas, durante o seu ciclo de vida, está diretamente relacionada com a densidade de plantio de milho. Assim sendo, a disposição mais uniforme entre plantas, em espaçamentos menores, geralmente permite maior absorção de luz (KASPERBAUER e KARLEN, 1994).

A faixa de comprimento de onda entre 400 e 700 nanômetros da radiação solar constitui a energia radiante fotossinteticamente ativa, representando entre 46 e 50% da radiação solar global (BARNI et al., 1995), que deve ser manejada para potencializar o rendimento de grãos.

A duração do período de interceptação da radiação solar determina, dentre outros fatores, o potencial produtivo do milho, devido à influência na eficiência fotossintética e distribuição adequada dos fotoassimilados produzidos (OTEGUI, 2000; ARGENTA et al., 2001; DOURADO NETO et al., 2003).

O milho é, originalmente, uma planta de dias curtos, todavia, o limite dessas horas luz não são idênticos e nem bem definidos para os diferentes genótipos. Assim sendo, a ocorrência de dias longos pode promover o aumento da sua fase vegetativa e do número de folhas, bem como ocasionar o atraso no florescimento (GADIOLI et al., 2000). A redução de 30 a 40% da intensidade luminosa pode ocasionar atraso na maturação de grãos, o que comumente ocorre em genótipos de ciclo tardio, que se mostram mais sensíveis à carência de luz (CRUZ et al., 2006).

2.1.4. Disponibilidade hídrica

A água desempenha importante papel no crescimento das plantas de milho. O efeito do déficit hídrico durante o desenvolvimento dessas plantas resulta em menor disponibilidade de CO₂ para a fotossíntese, limitando, assim, a ação da elongação celular (DEVLIN, 1975; SALISBURY e ROSS, 1982; KLAR, 1984).

De acordo com Nesmith e Ritchie (1992), o déficit hídrico retarda o aparecimento das folhas, reduzindo a área foliar e o tamanho das plantas, o que ocasiona atraso no enchimento de grãos, com conseqüente redução da produtividade.

Por sua vez, Sangoi et al. (2001), afirmam que a disponibilidade de água adequada durante as fases críticas da cultura do milho, associada à elevada fertilidade do solo e outras práticas de manejo, contribuem para obtenção de elevadas produtividades.

A emergência, o florescimento e o enchimento de grãos são considerados as fases de maior requerimento de água pelas plantas de milho (MAGALHÃES et al., 1990; BERGONCI e BERGAMASCHI, 2001). Segundo Matzenauer et al. (2002) e Bergamaschi et al. (2004), o suprimento hídrico favorável, próximo ao pendoamento-espigamento do milho, é fundamental para que sejam obtidos rendimentos elevados, pois a polinização é seriamente afetada pela falta de água, ocorrendo a dessecação dos grãos de pólen.

2.2. População de plantas e produtividade de milho

2.2.1. Características gerais

Uma população ideal de plantas é aquela que permite maiores produções, levando-se em consideração a influência de diferentes fatores, tais como características genéticas das cultivares, fatores climáticos, edáficos e tratos culturais, tornando mínimas as competições entre plantas da mesma espécie (RIZZARDI et al., 1994; ALMEIDA, et al., 2000; SANGOI et al., 2002; SANGOI et al., 2006; GROSS et al., 2006; BRACHTVOGEL et al., 2009).

A distribuição adequada de indivíduos na linha de plantio em uma área de cultivo pode possibilitar, dentre outras vantagens, a redução na competição

intraespecífica de plantas por água, luz e nutrientes (PORTER et al., 1997; ANDRADE et al., 2000; ALVAREZ et al., 2006; STRIEDER et al., 2008).

As respostas à densidade de plantas na cultura do milho incluem mudanças que vão desde a arquitetura, crescimento, desenvolvimento até a absorção e partição de fotoassimilados pelas plantas (ALMEIDA e SANGOI, 1996; FLESCHE e VIEIRA, 2004; ALVAREZ et al., 2006; DEMÉTRIO et al., 2008; BRACHTVOGEL et al., 2009; KVITSCHAL et al., 2010).

Alguns autores afirmam que o adensamento pode ocasionar a redução da produção de grãos por planta, devido maior proximidade e maior variabilidade entre os indivíduos no dossel (TOLLENAAR e WU, 1999; PENARIOL et al., 2003; LIU et al., 2004; SCHEEREN et al., 2004; ALVAREZ et al., 2006; DEMÉTRIO et al., 2008; STRIEDER et al., 2008).

Entre as gramíneas, o milho é considerado o mais sensível às variações na densidade de plantas, sendo que, segundo Sangoi (2000), para cada sistema de produção, existe uma população que maximiza o rendimento de grãos. Tal maximização da produção de grãos de milho dependerá, dentre outros fatores, da população empregada (SANGOI et al., 2002), que, por sua vez, será função da capacidade de suporte do meio e do sistema de produção adotado (TOLLENAAR, 1999), da prolificidade do genótipo, da época de semeadura (ALMEIDA et al., 2000) e do índice de área foliar, bem como da duração da área foliar fotossinteticamente ativa (SCHEEREN et al., 2004), de modo a satisfazer a cinética de crescimento das plantas.

Desse modo, a distribuição azimutal de folhas sob altas densidades pode ser modificada, como indicam Girardin e Tollenaar (1994), os quais relatam que na densidade de 10 plantas m^{-2} , as folhas do extrato superior são mais perpendiculares à linha de semeadura do que na densidade de 4 plantas m^{-2} de densidade. Avaliações da arquitetura de plantas indicam que os genótipos de milho apresentam arquiteturas foliares distintas, devido à diferença em estatura, número de folhas, ângulo de inserção e distribuição das folhas no colmo (MADONNI e OTEGUI, 1996).

Segundo MADONNI et al. (2001), os genótipos de milho podem ser classificados em “plásticos”, com habilidade de modificar a orientação foliar, e “rígidos”, quando não apresentam essa habilidade (STRIEDER et al., 2008).

Assim sendo, a escolha do arranjo ideal de plantas de milho envolve multifatores, tais como cultivar, objetivo do produtor, nível tecnológico, época de semeadura e duração da estação de crescimento na região de cultivo (ARGENTA et al., 2001). Também deve ser levado em consideração, o ciclo da planta, pois híbridos mais precoces (ciclo mais curto) requerem maior densidade de plantas em relação aos de ciclo normal para atingir seu potencial de rendimento (MADONNI e OTEGUI, 1996; SANGOI, 2001; BRACHTVOGEL, 2009; SANGOI et al., 2009).

De acordo com Russel e Tollenaar (1991), o surgimento de cultivares de milho de ciclo mais curto, porte mais baixo, menor número de folhas e de folhas com angulação mais ereta permite incremento no potencial de resposta do milho ao aumento da densidade de plantas.

O incremento na densidade de plantas pode ser considerado uma alternativa para aumentar a interceptação da radiação solar e o rendimento de grãos do milho (SANGOI et al., 2001). Entretanto, essa estratégia também pode trazer algumas consequências negativas (PENARIOL et al., 2003). Assim sendo, quando não utilizadas cultivares tolerantes ao adensamento, pode ocorrer aumento da assincronia entre o florescimento masculino e feminino, maior esterilidade feminina e menor eficiência na conversão de fotoassimilados à produção de grãos (SANGOI et al., 2002; HAMMER et al., 2009).

2.2.2. Alterações morfofisiológicas

A disposição das plantas, em maiores densidades populacionais, influencia na qualidade da luz recebida pelo dossel, uma vez que tais circunstâncias permitem maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão na faixa do vermelho extremo (VE). Essa é uma característica importante para o milho em populações elevadas, pois nesses casos, as plantas recebem mais VE refletida, aumentando a relação VE/V. A partir do aumento da relação VE/V, podem ocorrer modificações no desenvolvimento das plantas de milho como maior alongação do colmo, folhas finas e compridas e elevada perda de raízes (KASPERBAUER e KARLEN, 1994; DUVICK e CASSMAN, 1999; ALMEIDA et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; STRIEDER et al., 2008).

A ocorrência de variabilidades morfológicas e fenológicas entre plantas não é favorável à obtenção de elevadas produtividades, pois diminuem a eficiência de uso dos recursos do ambiente (TOKATLIDIS e KOUTROUBAS, 2004; LIU et al., 2004). O desenvolvimento desuniforme nas lavouras leva a presença de plantas dominantes e plantas dominadas (MEROTTO JÚNIOR et al., 1999). Esse padrão de crescimento diferenciado é estabelecido já no início do ciclo da cultura e está diretamente relacionado à intensidade da competição intraespecífica e à resposta da cultivar ao estresse ambiental (MADDONI e OTEGUI, 2004).

Plantas consideradas dominadas não alocam a quantidade de fotoassimilados necessária ao desenvolvimento da espiga, resultando em maior número de plantas estéreis, aumento da duração do intervalo antese-espigamento e, com conseqüente reduções no rendimento de grãos (VEGA, 2001; SANGOI et al., 2009).

O aumento na relação VE/V, com o adensamento das plantas, desencadeia eventos fisiológicos que levam as mesmas a priorizarem a alocação de fotoassimilados para o caule principal, resultando na supressão do desenvolvimento de ramificações laterais (SANGOI et al., 2001).

É importante levar em consideração que a gema lateral, que originará a espiga superior, transforma-se num primórdio floral alguns dias após a diferenciação do pendão, quando o milho possui de seis a sete folhas expandidas (SANGOI, 2002). Entretanto, em condições de densidade de semeadura muito elevada, a taxa e o crescimento das gemas laterais podem ser reduzidos expressivamente, quando comparados com o ponto de crescimento da planta, causando, assim, uma defasagem temporal entre a diferenciação do pendão e da espiga superior (SANGOI e SALVADOR, 2006).

Assim sendo, densidades elevadas podem contribuir com a assincronia entre antese e espigamento, exercendo, conseqüentemente, influência na redução do número de espiguetas fertilizadas, sendo, portanto, decisiva para a redução no rendimento potencial da cultura (SANGOI e SALVADOR, 1998).

Em decorrência do aumento do intervalo entre antese e espigamento, pode haver alterações nas taxas de transporte de fitormônios e carboidratos dentro da planta. As espigas iniciadas tardiamente recebem menores quantidades dessas substâncias, apresentando, portanto, menores

possibilidades de se tornarem funcionais e produzirem grãos (OTEGUI e ANDRADE, 2000; SANGOI, 2001).

A formação do primórdio floral masculino, em condições de adensamento elevado, ocasiona produção exacerbada de auxinas, desencadeando, por sua vez, intensa atividade de divisão e alongação celular, que permite um desenvolvimento expressivo da estatura da planta (RITCHIE et al., 1993). A maior competição intraespecífica por luz, nessas condições, favorece o aumento da dominância apical, bem como o estiolamento das plantas e redução no diâmetro do colmo, tornando-o mais fino, o que possibilita maior acamamento e/ou quebramento de plantas (SANGOI et al., 2002).

Encerrada a floração, o fluxo de fotoassimilados no interior da planta é direcionado de forma prioritária para o enchimento de grãos (SANGOI et al., 2000). Neste momento, o aparato fotossintético não está em condições de fornecer fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, devido a maior demanda pelos grãos, favorecendo a senescência precoce dos tecidos da raiz e da base do colmo (TOLLENAAR et al., 1994).

Diversos autores afirmam que o incremento no rendimento de grãos de milho, oriundo do uso de menores espaçamentos e maiores densidades, é resultado da melhor distribuição de plantas na área em condições que se evitem a excessiva competição, que pode ocorrer quando a densidade de plantas é excessivamente alta ou quando há limitação de nutrientes e água (MEROTTO JÚNIOR et al., 1997; SANGOI et al., 2002; SCHEEREN et al., 2004).

Desse modo, a adaptação morfofisiológica das plantas de milho às condições ambientais influencia diretamente na exploração da capacidade de rendimento de grãos (MUNDSTOCK, 1977; SANGOI e SALVADOR, 1998; VALENTINUZ e TOLLENAAR, 2004).

A arquitetura dos híbridos modernos de milho, associadas às alterações na estatura da planta (ALMEIDA et al., 2000; SANGOI et al., 2006) e acamamento reduzido de colmos pode levar à maior eficiência de uso da radiação solar em ambientes para obtenção de altas produtividades (DUVICK e CASSMAN, 1999; TOLLENAAR e WU, 1999; ARGENTA et al., 2001; TOLLENAAR e LEE, 2002; TOKATLIDIS e KOUTROUBAS, 2004),

considerando-se à redução da relação VE/V e a modificação da qualidade da luz interceptada pelo dossel foliar (SANGOI et al., 2002).

2.3. Características do milho pipoca

2.3.1. Capacidade de expansão

O pipoqueamento diferencia o milho pipoca dos demais tipos de milho, conferindo ao mesmo maciez e sabor bastante apreciáveis (ZINSLY e MACHADO, 1987). Tal ação, só é possível devido a capacidade que o milho pipoca tem de expandir seu endosperma em determinadas condições de temperatura e pressão, uma vez que a capacidade de expansão é um processo termodinâmico, no qual a exposição dos grãos de milho pipoca à temperaturas elevadas (> 150°C) promove a vaporização da umidade e a gelatinização do amido presente no grão. Desse modo, a expansão das moléculas de água na forma de vapor, cria uma pressão interna no grão até o ponto em que o pericarpo se rompe, expondo o amido expandido e formando a pipoca (FANTINI et al., 2006).

A capacidade de expansão é universalmente empregada e representa um dentre os métodos utilizados para medir a expansão do milho pipoca (BRUNSON, 1955). Além do fator genético, a expansão da pipoca é afetada pela umidade do grão (ELREDGE, 1949; HUELSEN e BEMIS, 1955; JUGENHEIMER, 1976; ALEXANDER e CREECH, 1977; ZINSLY e MACHADO, 1987), temperatura do pipocador (BRUNSON, 1955), grau de dano no pericarpo e endosperma e método de secagem (ALEXANDER e CREECH, 1977).

Entre as propriedades físicas que influenciam o índice de capacidade de expansão, estão também a densidade dos grãos, as injúrias mecânicas e a secagem rápida dos mesmos (SAWAZAKI, 1995).

Em relação ao teor de umidade do milho pipoca, Krug et al. (1996) afirmam que teores de umidade situados entre 10,2% e 13,4% são considerados os mais adequados para obtenção do índice máximo de capacidade de expansão.

Segundo Sawazaki (2001), a explosão do grão de milho pipoca está na dependência, dentre outros fatores, da dureza e integridade do pericarpo.

Assim sendo, grão de pericarpo mais duro possibilita maior explosão e, conseqüentemente, maior “flor” da pipoca. Grãos com pericarpo íntegro suportam elevada pressão interna na semente, até atingir uma temperatura apropriada para expansão adequada da pipoca. Ainda, de acordo com Sawazaki (1995) e Luz et al. (2005), a umidade dos grãos de pipoca, que proporciona a máxima capacidade de expansão, varia com a população de plantas e com o método adotado para sua determinação.

Adicionalmente tem sido observado que os diferentes genótipos de milho pipoca que apresentam maiores índices de capacidade de expansão, também possuem maior valor comercial, em função da maior textura e maciez da pipoca (ZINSLY e MACHADO, 1987; NOBRE et al., 2000; VIEIRA et al., 2009).

A capacidade de expansão e a produtividade de grãos são consideradas características de maior importância para a cultura do milho pipoca (GAMA et al., 1990; DOFING et al., 1991; GRANATE et al., 2002).

Assim sendo, o manejo da cultura do milho pipoca deve objetivar satisfazer tanto o produtor, quanto o consumidor. Ao produtor, interessam elevadas produtividades e bons caracteres agrônômicos. Por sua vez, ao consumidor, interessa a alta capacidade de expansão que confere à pipoca melhor textura e maciez (SAWAZAKI, 2001). Entretanto, é necessário destacar que a capacidade expansão é uma característica poligênica, de herança citoplasmática e está negativamente correlacionada com todos os outros caracteres de importância econômica (DOFING et al., 1991), fato que dificulta a obtenção de cultivares que sejam agronomicamente superiores e com elevada capacidade de expansão (VENDRUSCOLO et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Período de realização e localização dos experimentos

Os ensaios foram conduzidos e avaliados durante os períodos de “Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011, em área experimental da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI). A FEI está localizada no distrito de Iguatemi, município de Maringá, região Noroeste do Paraná, na latitude 23°20'48” S e na longitude 52°04'17” W, com altitude aproximada de 510 m.

3.2. Clima e solo

O clima da região de Maringá é classificado de acordo com a classificação de Köppen como do tipo Cfa. Clima subtropical, com temperaturas médias, nos meses mais frios, inferiores a 18 °C, e, nos meses mais quentes, superiores a 22 °C. Apresenta baixa frequência de geadas, verões quentes, tendência de concentração de chuvas no período de verão, e ausência de estação seca definida (GODOY et al., 1976).

Os experimentos foram instalados em área de ocorrência de Nitossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999), caracterizado por ser de textura argilosa. Os resultados das análises químicas do material de solo, provenientes das áreas de ambos experimentos, encontram-se nos Quadro 1 e 2.

Quadro 1 – Resultados de análise química de material de solo da área experimental do cultivo “Safrinha” de 2010

C ²	pH (CaCl ₂)	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	P	C
		(cmol _c dm ⁻³)					(%)	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)
A ³	4,90	0,02	4,13	0,52	3,98	1,49	59,19	12,32	11,81
B ⁴	5,10	0,00	3,61	0,48	4,53	1,83	65,45	7,60	11,91

¹ Análises efetuadas no Laboratório do Departamento de Agronomia da UEM, Maringá, Paraná; ² C: camada; ³ A: 0,00-0,20 m; ⁴ B: 0,20-0,40 m.

Quadro 2 – Resultados de análise química de material de solo da área experimental do cultivo de “Safrinha” 2010/2011

C ²	pH	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	P	C
	(CaCl ₂)(cmol _c dm ⁻³).....				(%)	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	
A ³	4,50	0,02	3,97	0,30	2,90	0,91	50,87	8,50	9,68
B ⁴	4,80	0,00	3,42	0,30	3,65	1,52	61,53	8,20	9,68

¹ Análises efetuadas no Laboratório do Departamento de Agronomia da UEM, Maringá, Paraná;
² C: camada; ³ A: 0,00-0,20 m; ⁴ B: 0,20-0,40 m.

Na Figura 1, encontram-se valores médios mensais de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas observadas no período em que os experimentos foram conduzidos.

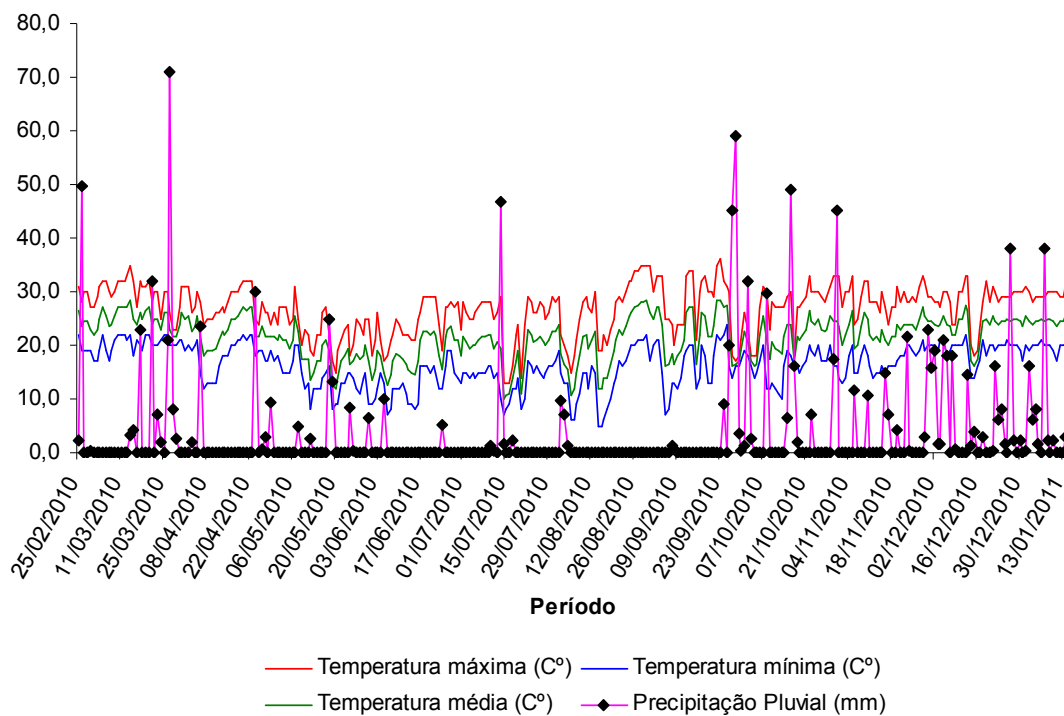


Figura 1 – Precipitação pluvial e temperaturas máximas, médias e mínimas, referentes ao experimento “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011.

3.3. Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos por cinco populações de plantas (40.000; 55.000; 70.000; 85.000 e 100.000 plantas ha⁻¹), combinadas com dois

híbridos de milho pipoca, IAC-112 e IAC-125, utilizando-se o espaçamento de 0,90 m entre linhas. As diferentes populações foram ajustadas através da variação do número de plantas por metro linear de plantio conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Espaçamento entre plantas e número de plantas por metro linear (estande) para obtenção das cinco densidades populacionais

Densidade populacional (plantas ha ⁻¹)	Espaçamento entre linhas (0,90 m)	
	Espaçamento entre plantas (m)	Plantas m ⁻¹ (estande)
40.000	0,28	3,60
55.000	0,20	4,95
70.000	0,16	6,30
85.000	0,13	7,65
100.000	0,11	9,00

3.3.1. Híbrido IAC-112

A cultivar IAC-112 é um híbrido simples modificado que apresenta como características agrônômicas: ciclo super precoce; plantas com altura média de 2,04 m; comprimento médio da espiga de 15,5 cm; número médio de 14 fileiras por espiga; grão duro e redondo de coloração amarela; e capacidade de expansão dos grãos entre 32 e 37 mL g⁻¹ (SAWAZAKI, 2001). Também apresenta boa produtividade e resistência às principais doenças do milho, destacando-se, em relação às cultivares disponíveis no mercado, por apresentar alta capacidade de expansão da pipoca, além de plantas e grãos mais uniformes, bom empalhamento e sanidade das espigas, maior resistência ao complexo de enfezamento, ataque da lagarta do cartucho na espiga e podridão de grãos (SAWAZAKI, 2003).

3.3.2. Híbrido IAC-125

A cultivar IAC-125 é um híbrido *top cross* que apresenta como características agrônômicas: ciclo super precoce; porte médio de 2,04 m; comprimento médio de espiga de 17,4 cm; número médio de 14,8 fileiras por espiga; grão duro médio, tipo pérola, de coloração laranja forte; e bom empalhamento (SAWAZAKI, 2001). A elevada capacidade de expansão do

híbrido IAC 125, que pode chegar a 43,2 mL g⁻¹, é uma característica que desperta grande interesse pelos consumidores sobre o produto. O mesmo é também adaptado às principais regiões produtoras de milho pipoca da região Centro-Oeste e Sul do país, com resistência às principais doenças foliares do milho (SAWAZAKI, 2003).

3.4. Características das unidades experimentais

Cada parcela experimental foi composta por cinco linhas de plantas de 6,0 m de comprimento, espaçadas em 0,9 m. A área útil de cada parcela constituiu-se de três linhas centrais, com exclusão de 0,5 m de cada extremidade, totalizando 27 e 13,5 m² de áreas total e útil, respectivamente.

3.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi blocos completos com tratamentos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial de 5 x 2, resultante da combinação de cinco populações de plantas (40.000, 55.000, 70.000, 85.000 e 100.000 plantas ha⁻¹) e dois híbridos comerciais de milho pipoca (IAC-112 e IAC-125).

3.6. Instalação e condução dos experimentos

Em ambos os períodos de cultivo, inicialmente, procedeu-se a dessecação das plantas daninhas existentes na área experimental com o herbicida Round up (Glyphosate). Posteriormente, aproximadamente 7 dias após a dessecação, realizou-se a adubação de semeadura com o emprego de uma semeadora de plantio direto tracionada por trator. Na adubação de semeadura, utilizou-se adubo nas doses de 20, 80 e 60 kg ha⁻¹ (NPK), sob as formas de sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente.

Na semeadura, utilizaram-se semeadoras manuais (matracas), aplicando os espaçamentos entre covas conforme o Quadro 3, com duas sementes por cova. Posteriormente, no estágio V₂ (2 folhas completamente

expandidas, conforme Ritchie et al., 1993), procedeu-se o desbaste, ajustando-se, dessa forma, as densidades populacionais preestabelecidas.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada no estágio V₄ (4 folhas completamente expandidas, conforme Ritchie et al., 1993), com sulfato de amônio na dose de 90 kg de N ha⁻¹, aplicado a lanço, com distância aproximada de 0,08 m da linha de plantas.

No controle de plantas daninhas empregaram-se os herbicidas Atrazina (Gesaprim 500), em pré-emergência, Nicosulfurom (Sanson 40 SC), em pós-emergência, e capinas complementares. Por sua vez, no controle de pragas iniciais foi realizado o tratamento de sementes com Imidacloprido + Tiodicarbe (Cropstar), enquanto que o controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* Smith) foi realizado por meio da aplicação dos inseticidas Lufenurom (Match CE), Clorpirifós (Lorsban 480 BR) e Metomil (Lannate BR), de forma não simultânea. As dosagens de aplicação, tanto dos herbicidas quanto dos inseticidas, foram adotadas conforme Andrei (2005).

3.7. Irrigação

Durante todo o período de crescimento e desenvolvimento das plantas, adotou-se a prática da irrigação suplementar, por aspersão, de modo a evitar possíveis situações de déficit hídrico à cultura. Esta prática visou priorizar os períodos de ocorrência de estiagens, como apresentado na Figura 1, e os períodos críticos de fornecimento de água pela cultura do milho (MAGALHÃES et al., 1990; BOLAÑOS e EDMEADES, 1996).

3.8. Avaliações fitotécnicas

3.8.1. Características da parte aérea

3.8.1.1. Altura média de plantas (m)

A determinação da altura média das plantas foi efetuada por ocasião do pleno florescimento masculino (estádio fenológico VT), isto é, do pendoamento (RITCHIE et al., 1993). Foi mensurada a distância entre a superfície do solo à base da inflorescência masculina (pendão), mediante o uso de fita graduada (trena), sendo avaliada aleatoriamente cinco plantas por

parcela (MEROTTO JÚNIOR, 1997; SILVA et al., 1999; DEMÉTRIO et al., 2008).

3.8.1.2. Altura média de inserção de espiga (m)

A altura média de inserção de espiga foi avaliada por meio da mensuração com fita graduada, da distância entre a superfície do solo até a inserção da espiga mais alta com o colmo, considerando-se as mesmas cinco plantas utilizadas na avaliação da altura média das plantas.

3.8.1.3. Diâmetro médio do colmo (mm)

Na avaliação do diâmetro médio do colmo, com o auxílio de um paquímetro, foi considerado o diâmetro do segundo internódio, a partir da base das mesmas cinco plantas utilizadas para avaliação de altura de plantas.

3.8.1.4. Índice de área foliar

A mensuração da área foliar (AF) foi realizada logo após a constatação do estágio VT nas plantas. Foram avaliadas 7 plantas de cada parcela, sendo mensurado o comprimento (C) e a maior largura (L) de todas as folhas de cada uma das plantas. Para o cálculo da AF, foi empregada a expressão proposta por Francis (1969): $AF = 0,75 * C * L$. Em seguida, o índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir das medidas de AF, conforme a expressão: $IAF = AF / (e1 * e2)$, em que e1 e e2 referem-se ao espaçamento entre plantas na linha de plantio (m) e entre as linhas de plantio (m), respectivamente.

3.8.2. Componentes de produção

3.8.2.1. Comprimento médio de espiga (cm)

Após a colheita, avaliou-se o comprimento médio das espigas, separando, aleatoriamente, dez espigas, em cada parcela experimental, as quais foram medidas utilizando-se uma fita graduada.

3.8.2.2. Diâmetro médio de espiga (mm)

Avaliou-se o diâmetro da porção mediana das dez espigas utilizadas na determinação do comprimento de espiga, com o uso de um paquímetro.

3.8.2.3. Número médio de grãos por fileira de espiga

O número médio de grãos por fileira foi determinado mediante contagem dos grãos contidos em uma fileira de cada espiga. Para tal, foram utilizadas as mesmas 10 espigas utilizadas para avaliação do comprimento de espiga.

3.8.2.4. Massa de mil grãos (kg)

Após a debulha de todas as espigas colhidas na área útil das parcelas experimentais, determinou-se a massa de mil grãos, de acordo com a metodologia proposta por Brasil (1992). A partir desta metodologia, obteve-se a média da massa de oito amostras de cem grãos cada, de cada parcela, onde foram submetidas à pesagem. Após a pesagem, procedeu-se à determinação imediata da umidade, possibilitando estimar a massa de mil grãos corrigida para 13% de umidade, a qual foi mensurada por meio do determinador de umidade digital, da marca Motomco, modelo 919.

3.8.2.5. Produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$)

A produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$) foi obtida com a pesagem de grãos oriundos de todas as espigas colhidas na área útil, de cada parcela experimental ($kg\ parcela^{-1}$), após a debulha, com posterior correção do teor de umidade para 13%, conforme descrito no item anterior.

3.8.2.6 Capacidade de expansão ($mL\ g^{-1}$)

Em condições de laboratório, no Núcleo de Pesquisa Aplicada a Agricultura (NUPAGRI), após a colheita dos grãos de milho pipoca, dos dois períodos experimentais, foi avaliada a característica de capacidade de expansão, conforme descrito abaixo.

Na realização do teste de expansão do milho pipoca, foi utilizada uma pipoqueira elétrica modelo Embrapa. O índice de capacidade de expansão (ICE) de cada tratamento foi obtido pela razão entre o volume da pipoca expandida e a massa de grãos utilizada na amostra (30 g).

A umidade do milho pipoca utilizada para análise estava entre 13,2 e 13,7%, objetivando-se a obtenção de melhor expansão, como já demonstrado por Krug et al. (1996). O volume da pipoca expandida foi medido em proveta de 2000 mL. As amostras de 30 g de milho pipoca foram submetidas a uma temperatura de 280 °C por dois minutos e dez segundos, sob constante agitação (SAWAZAKI, 1995).

3.9. Análises estatísticas

Os dados experimentais foram submetidos às análises de homocedasticidade das variâncias e normalidade dos erros pelos testes de Levene e Shapiro-Wilks, respectivamente. Atendidas as pressuposições básicas da estatística, procedeu-se a análise de variância individual com os respectivos desdobramentos. Os efeitos das populações de plantas foram estudados por meio da análise de regressão polinomial e os efeitos dos híbridos foram comparados pelo teste F (STEEL e TORRIE, 1960; BANZATTO e KRONKA, 2006), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições climáticas

4.1.1. Condições climáticas “Safrinha” 2010

No período de cultivo da “Safrinha” houve precipitação pluvial acumulada de 370,4 mm (Figura 1). Desse modo, houve fornecimento de água suplementar através da irrigação durante os períodos de restrição hídrica e de maior demanda de água pelas plantas (RITCHIE et al., 1993).

Em relação às temperaturas médias, durante o período de cultivo, foram observados valores entre 16 e 26 °C, de temperaturas mínima e máxima, respectivamente (Figura 1). Vale salientar que os valores registrados são considerados adequados para o crescimento e desenvolvimento da planta de milho, cuja exigência situa-se entre 20 e 30 °C, sendo o limite inferior estimado em aproximadamente 10 °C e o limite superior em até 35 °C (TOLLENAR e WU, 1999).

4.1.2. Condições climáticas “Safrinha” de 2010/2011

Na “Safrinha” a precipitação pluvial acumulada, durante o período de cultivo foi de 708,8 mm (Figura 1), sendo o montante considerado adequado para obtenção de elevada produtividade na cultura de milho. De acordo com Aldrich et al. (1982), na ausência de irrigação, os valores ideais de precipitação são de aproximadamente 500 a 800 mm, bem distribuídos, especialmente nos estádios críticos, os quais correspondem aos períodos de pendoamento e de enchimento de grãos (RITCHIE et al. 1993). Todavia, embora a precipitação pluvial tenha sido satisfatória para o crescimento das plantas de milho, houve o fornecimento de água suplementar nos períodos críticos da cultura (RITCHIE et al. 1993), visando sanar problemas na distribuição das precipitações pluviais (Figura 1).

Em relação à temperatura do ar, durante o cultivo da “Safrinha”, os valores máximos e mínimos estiveram em torno de 28 °C e 18 °C, respectivamente (Figuras 1), sendo tal variação considerada adequada para o

crescimento e desenvolvimento da cultura do milho pipoca no período avaliado (TOLLENAR e WU,1999).

4.2. Características da parte aérea

4.2.1. Altura média de plantas

Os resultados da análise de variância para a característica altura média de plantas estão apresentados no Quadro 4, onde se verifica diferença significativa ($p \leq 0,05$) para efeito de híbridos. Contudo, não foi constatada significância na interação entre os fatores densidade populacional e híbrido, bem como para o desdobramento da densidade populacional dentro dos híbridos estudados, em ambos períodos de cultivo.

Quadro 4 – Resumo da análise de variância referente à altura média de plantas (m) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais, “Safrinha” 2010 e “Safrinha” 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha” 2010/2011
População (P)	4	0,004865 ^{ns}	0,030710 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,764523*	0,526703*
P x H	4	0,051460 ^{ns}	0,026752 ^{ns}
P x H1	4	0,020757 ^{ns}	0,004705 ^{ns}
P x H2	4	0,035567 ^{ns}	0,052757 ^{ns}
Bloco	3	0,065174	0,039097
Resíduo	27	0,025083	0,040249
Média Geral		2,03	1,70
C.V. (%)		7,79	11,74

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Não houve efeito significativo da densidade populacional na altura de plantas dos híbridos IAC-112 e IAC-125 (Figuras 2 e 3). Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva et al. (1999), Silva et al. (2003) e Penariol et al. (2003).

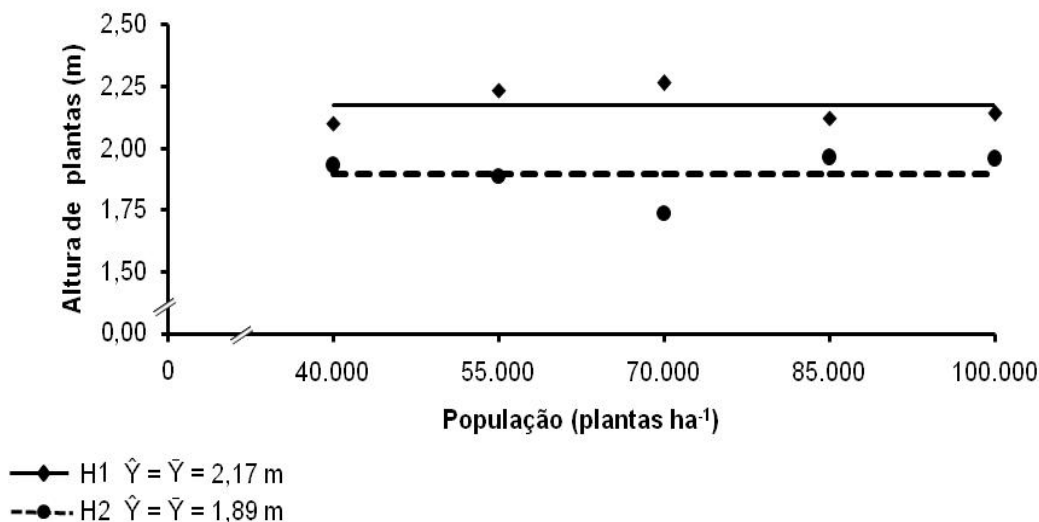


Figura 2 - Altura média de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

Os resultados obtidos no presente estudo diferem daqueles obtidos por Almeida (1996), Merotto Júnior et al. (1997), Silva e Argenta, (2003), Dourado Neto et al. (2003), Scheeren et al. (2004) e Alvarez et al. (2006), ao avaliarem híbridos de milho comum. Tais autores observaram acréscimos positivos na altura média das plantas com aumento da densidade populacional.

No que se refere ao desdobramento do efeito de híbridos em função da densidade populacional, nos períodos de “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011, observou-se que o híbrido IAC-112 foi significativamente superior ao híbrido IAC-125. O híbrido IAC-112 apresenta maior altura média de plantas nas densidades populacionais de 55.000 plantas ha⁻¹ e 70.000 plantas ha⁻¹, no cultivo de “Safrinha” 2010, enquanto que no período de “Safrinha” de 2010/2011, tal efeito foi verificado apenas na densidade populacional de 40.000 plantas ha⁻¹ (Quadro 5).

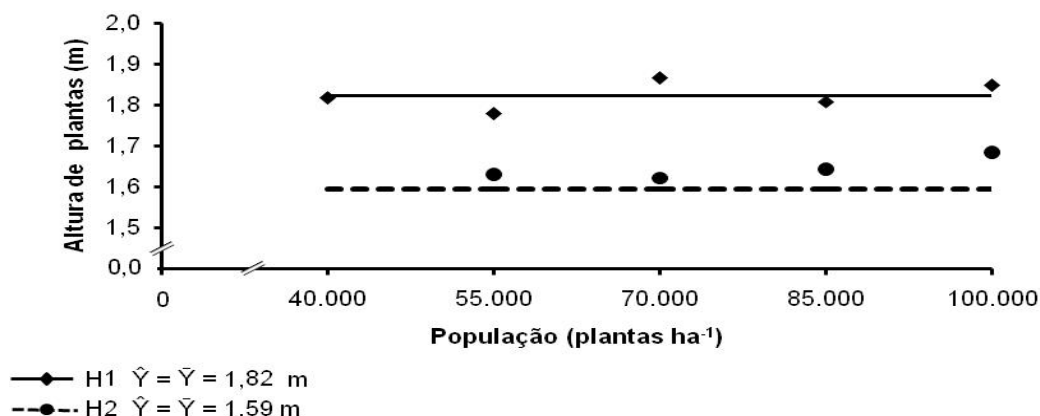


Figura 3 - Altura média de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha 2010 e “Safrinha 2010/2011” de 2010/2011.

De modo geral, as médias de altura de plantas observadas neste estudo assemelham-se as médias reportadas por Sawazaki (1995) e Sawazaki (2001) para IAC-112 e IAC-125, que relatam serem plantas de porte médio, em torno de 2,04 m.

Quadro 5 – Desdobramento do efeito dos híbridos IAC -112 e IAC-125, em função densidade populacional, referente à característica altura média de plantas (AP) (m) “Safrinha 2010 e “Safrinha 2010/2011”

Densidade populacional (plantas ha ⁻¹)	“Safrinha”		“Safrinha 2010/2011”	
	IAC-112	IAC-125	IAC-112	IAC-125
40.000	2,1 a	1,9 a	1,8 a	1,4 b
55.000	2,2 a	1,9 b	1,7 a	1,6 a
70.000	2,3 a	1,7 b	1,8 a	1,6 a
85.000	2,2 a	2,0 a	1,8 a	1,6 a
100.000	2,1 a	1,9 a	1,8 a	1,7 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada período de cultivo, não diferem entre si ($p > 0,05$), pelo teste F.

4.2.2. Altura média de inserção de espiga

A análise de variância para a característica altura média de inserção de espiga apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para os híbridos avaliados, tanto na “Safrinha” como na “Safrinha 2010/2011”. Entretanto, não se observou

efeito significativo na interação entre os fatores densidade populacional e híbrido, bem como para o desdobramento da densidade populacional dentro de IAC-112 e IAC-125, nos dois períodos experimentais (Quadro 6).

Quadro 6 – Resumo da análise de variância referente à altura média de inserção de espiga (m) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	0,221440 ^{ns}	0,014694 ^{ns}
Híbrido (H)	1	0,222010*	0,201640*
P x H	4	0,010060 ^{ns}	0,002784 ^{ns}
P x H1	4	0,012858 ^{ns}	0,012958 ^{ns}
P x H2	4	0,035567 ^{ns}	0,004520 ^{ns}
Bloco	3	0,011967	0,028288
Resíduo	27	0,008817	0,009435
Média Geral		0,999	0,802
C.V. (%)		9,40	12,10

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Nas Figuras 4 e 5, observa-se que a altura média de espiga apresentou comportamento constante com o incremento na densidade de plantas, em ambos períodos de cultivos.

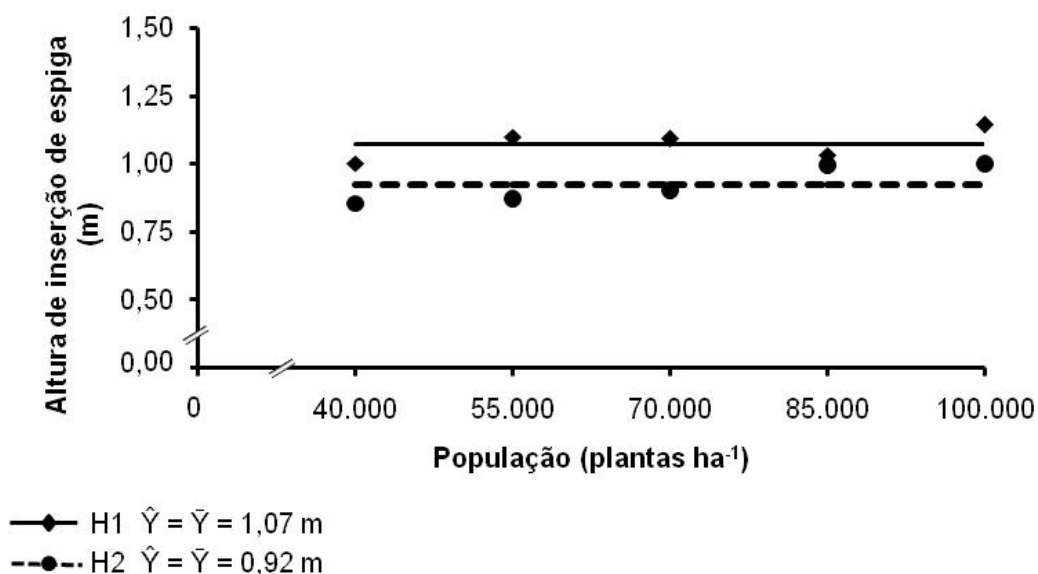


Figura 4 - Altura média de inserção de espigas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

Resultados semelhantes ao obtido no presente estudo foram reportados por Silva et al. (1999) e Silva et al. (2003).

No Quadro 7, observam-se diferença estatística entre os híbridos utilizados para o comprimento médio de espiga, dentro dos níveis de densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ na “Safrinha” de 2010 e com 40.000, 55.000, 70.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ na “Safrinha” de 2010/2011, sendo a média de IAC-112 estatisticamente, superior à de IAC-125.

As médias, observadas no presente estudo, estiveram também em conformidade com a descrição de Sawazaki (1995) e Sawazaki (2001), que relatou valores de altura de inserção de espiga oscilando entre 1,00 e 1,10 m para esta característica.

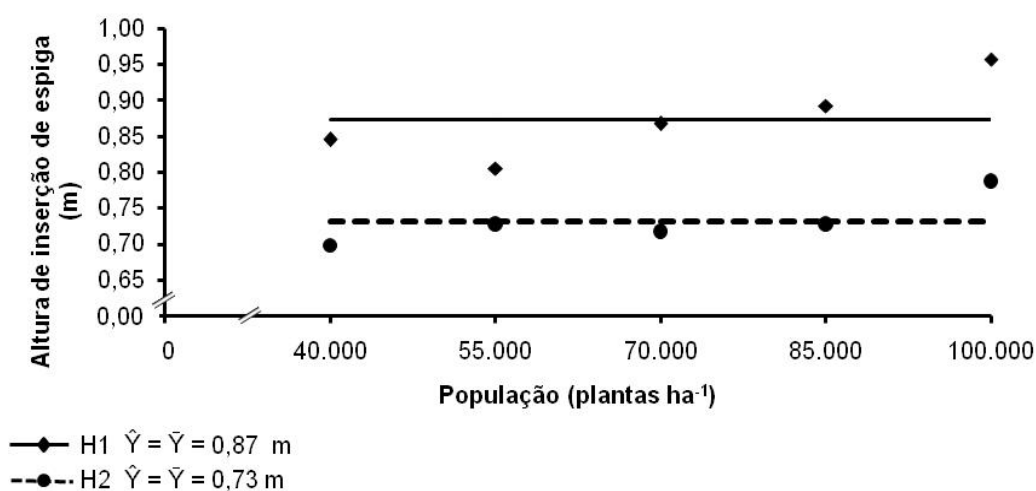


Figura 5 - Altura média de inserção de espigas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010/2011.

4.2.3. Diâmetro médio do colmo

No Quadro 8, encontram-se os resultados da análise de variância, referente ao diâmetro médio do colmo. Verifica-se que houve efeito significativo ($p < 0,05$) para densidade populacional em ambos os períodos de cultivo. Contudo, observa-se efeito não significativo ($p > 0,05$) para a interação entre os fatores densidade populacional e híbridos. Desdobrando-se a densidade de plantas dentro dos híbridos, constata-se que houve efeito significativo para IAC-112 e IAC-125 no período de “Safrinha” 2010/2011.

Quadro 7 – Desdobramento do efeito dos híbridos IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional, referente à característica altura média de inserção de espiga (m) na “Safrinha” 2010 e na “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Densidade populacional (plantas ha ⁻¹)	“Safrinha”		“Safrinha de Verão”	
	IAC-112	IAC-125	IAC-112	IAC-125
40.000	1,00 a	0,85 a	0,84 a	0,69 b
55.000	1,10 a	0,87 a	0,80 a	0,72 b
70.000	1,09 a	0,90 a	0,86 a	0,71 b
85.000	1,03 a	0,99 a	0,89 a	0,72 a
100.000	1,14 a	1,00 b	0,95 a	0,78 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada período de cultivo, não diferem entre si ($p > 0,05$), pelo teste F.

No período de “Safrinha” 2010 (Figura 6), os resultados obtidos discordam daqueles encontrados por Porter et al. (1997) e Marchão et al., (2005), os quais observaram diferença significativa do aumento da densidade populacional para a característica diâmetro do colmo em plantas de milho comum.

Quadro 8 – Resumo da análise de variância referente ao diâmetro médio do colmo de plantas (m) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	11,621300*	27,356500*
Híbrido (H)	1	10,496003 ^{ns}	2,256250 ^{ns}
P x H	4	3,844790 ^{ns}	4,577000 ^{ns}
P x H1	4	7,440520 ^{ns}	23,882000*
P x H2	4	8,025570 ^{ns}	8,052000*
Bloco	3	5,0937693	12,533358
Resíduo	27	3,042973	4,415090
Média Geral		19,423	21,272
C.V. (%)		8,98	9,88

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Na Figura 7, observa-se que, no período de “Safrinha de Verão” de 2010/2011, o modelo polinomial melhor ajustado para o diâmetro médio do

colmo, em função da densidade populacional, foi o linear, com tendência decrescente, tanto para o híbridos IAC-112, como para o IAC-125.

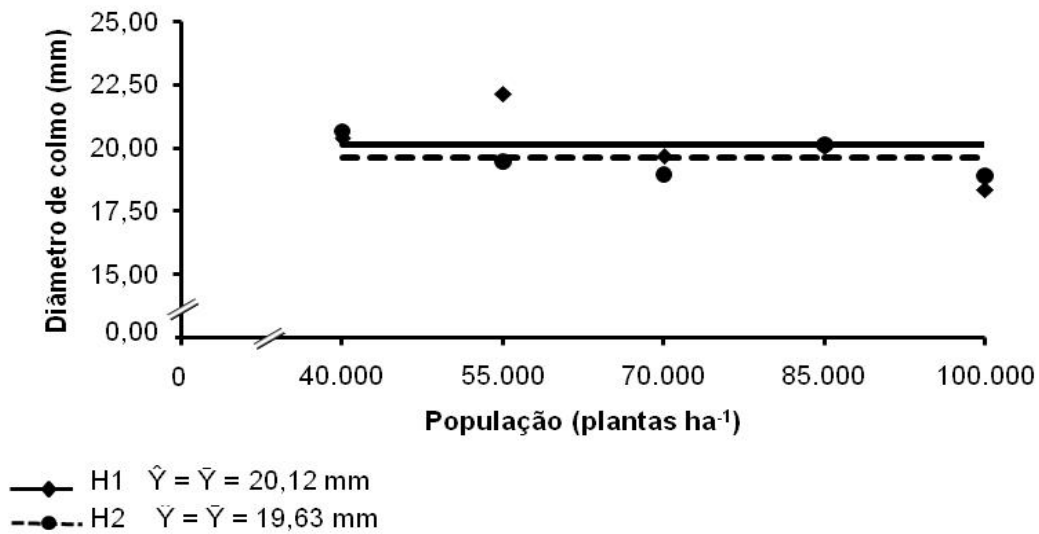


Figura 6 - Diâmetro médio do colmo de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

Observou-se que houve redução de aproximadamente 6 mm (0,06 cm) para o IAC-112, com o aumento da densidade de 40.000 para 100.000 plantas ha⁻¹. Por sua vez, para o híbrido IAC-125, a redução do diâmetro foi de 3,3 mm, em função deste mesmo incremento na densidade de plantas.

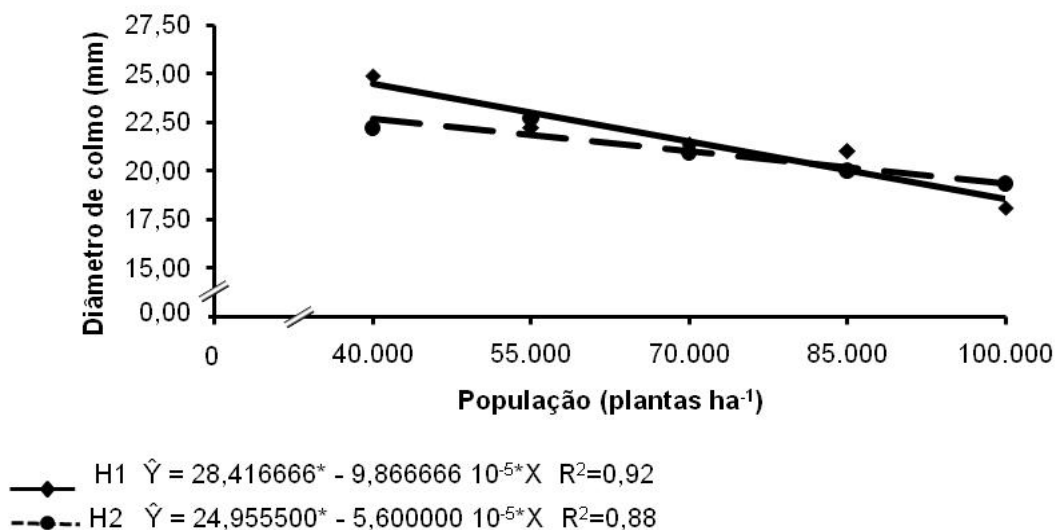


Figura 7 - Diâmetro médio do colmo de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC -112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010/2011.

Resultados verificados por Duncan (1975) assemelham-se ao do presente estudo, adicionalmente o autor afirma que a redução no diâmetro de colmo pode afetar a formação e produção dos grãos, uma vez que o colmo do milho, além de servir de suporte para as folhas e grãos, funciona como órgão de reserva de sólidos solúveis, principalmente, a sacarose. Desta maneira, a capacidade de armazenar sólidos solúveis do colmo pode sofrer redução pela diminuição no diâmetro de colmo.

Conforme Sangoi (1993), em ambientes onde ocorre intensa competição entre plantas de milho, o diâmetro de colmo é diminuído. Ballaré e Cassal (2000) e Rajcan e Swanton (2001) afirmam que o efeito do estiolamento é decorrente das alterações na quantidade e qualidade da radiação incidente em ambientes de alta competição intraespecífica.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Sangoi et al., (2002), Amaral Filho (2002), Dourado Neto et al., (2003), Penariol (2003), que trabalhando com milho comum, obtiveram, em seus estudos, redução do diâmetro do colmo com incremento na densidade populacional.

A redução do diâmetro de colmo pode ser explicada pela maior competição intraespecífica por luz (SANGOI et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; SANGOI et al., 2002). Em altas populações, as plantas alocam seus recursos para um crescimento mais rápido, a fim de evitar o sombreamento. Assim aumenta suas chances de crescer acima do dossel, porém sacrifica o diâmetro do colmo, que por sua vez, pode levar a uma maior taxa de acamamento e/ou quebraimento (SANGOI et al., 2000; ARGENTA et al., 2001; GROSS et al., 2006; BRACHTVOGEL et al., 2009).

4.3.4. Índice de área foliar (IAF)

Os resultados da análise de variância para o índice de área foliar estão apresentados no Quadro 9. Verificou-se diferença significativa para o efeito principal da densidade populacional. Todavia, não houve efeito significativo para as interações entre os fatores densidade populacional e híbridos. Desdobrando-se a densidade populacional dentro dos híbridos, observam-se desdobramento significativo para ambos (IAC-112 e IAC-125), nos dois períodos de cultivo.

Quadro 9– Resumo da análise de variância referente ao índice de área foliar (IAF) de plantas ($m^2 m^{-2}$) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha Verão”
População (P)	4	4,975000*	5,723176*
Híbrido (H)	1	0,225000 ^{ns}	0,275714 ^{ns}
P x H	4	0,350000 ^{ns}	0,114748 ^{ns}
P x H1	4	3,075000*	2,286679*
P x H2	4	2,250000*	3,551245*
Bloco	3	0,625000	0,381750
Resíduo	27	0,236111	0,127767
Média Geral		2,85	2,402
C.V. (%)		17,20	14,88

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

O modelo polinomial melhor ajustado, para o índice de área foliar, em função da densidade populacional, nos dois períodos experimentais, tanto para o híbridos IAC-112, como para o IAC-125, foi o linear. Em ambos os casos, constatou-se aumento do índice de área foliar com o aumento da densidade populacional (Figura 8 e Figura 9).

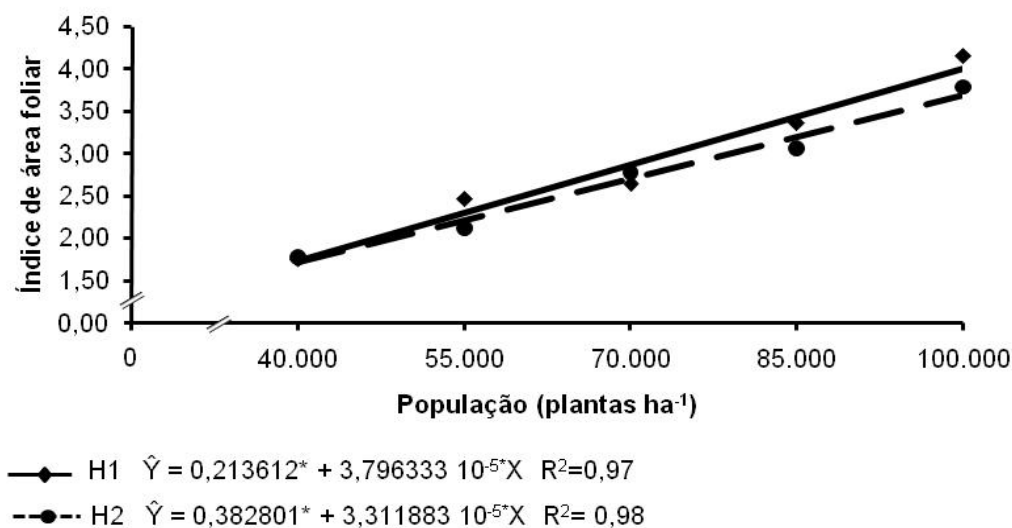


Figura 8 - Índice de área foliar de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

Os valores de IAF na “Safrinha”, para o híbrido IAC-112 aumentaram linearmente, de 1,8 a 4,0 entre as densidades populacionais de 40.000 até 100.000 plantas ha⁻¹ (Figura 8). Para o período de “Safrinha” o híbrido apresentou aumento aproximado de 1,5 a 3,0 (Figura 9).

No que se refere ao híbrido IAC-125, observou-se que os valores para IAF apresentaram-se bastante próximos dos obtidos para o IAC-112, em ambos os períodos de cultivo, sendo até mesmo iguais na população de 100.000 plantas ha⁻¹.

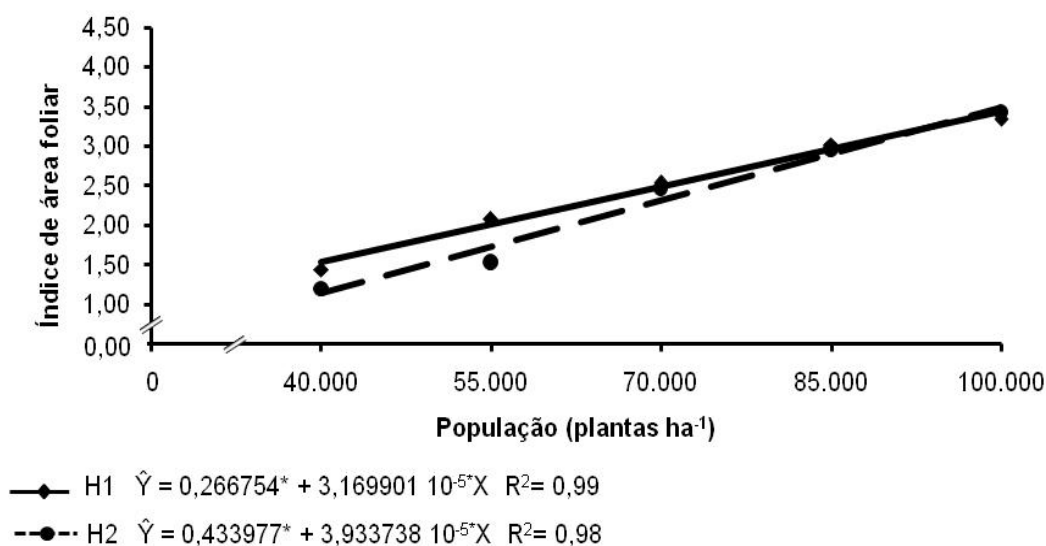


Figura 9 - Índice de área foliar de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010/2011.

Os resultados obtidos no presente estudo estão em conformidade com as respostas encontradas para o IAF por diversos autores, trabalhando com milho comum (GIARDIN e TOLLENAAR, 1994; MADONNI e OTEGUI, 1996; ARGENTA et. al., 2001; KUNZ, et al., 2007; VIEIRA, 2009).

Segundo GARDNER et al. (1985), a cultura do milho necessita de índices de área foliar oscilando entre 4 e 5 para otimizar o aproveitamento da radiação solar, sob condições hídricas e edáficas favoráveis. Por outro lado, Linqvist et al. (1998) coloca que, em milho, valores de IAF entre 3 e 4 podem ser suficientes para maximizar o rendimento de grãos.

Contudo, essa prática pode também conduzir a desvantagens, como diminuição da assimilação líquida de CO₂ por planta, acelerar a senescência foliar e incrementar o sombreamento de folhas (TETHIO-KAGHO e GARDNER, 1988), principalmente daquelas dispostas nos extratos inferiores do dossel.

4.3. Componentes de produção

4.3.1. Comprimento médio de espiga

A análise de variância referente ao comprimento médio de espiga (Quadro 10) apresenta diferença significativa ($p < 0,05$) para o efeito principal de densidade populacional e híbrido, no período de “Safrinha” 2010. Observa-se, no período de “Safrinha de Verão”, efeito significativo de híbrido. Entretanto, não houve efeito significativo para a interação entre densidade populacional e híbridos, nos dois períodos de cultivos. No que se refere ao desdobramento das densidades populacionais dentro de híbridos, verifica-se que houve efeito significativo do desdobramento nos dois híbridos avaliados no período de “Safrinha” 2010.

Quadro 10– Resumo da análise de variância referente ao comprimento médio de espiga (cm) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	1,571969*	0,463375 ^{ns}
Híbrido (H)	1	6,400000*	18,250000*
P x H	4	0,046094 ^{ns}	1,378125 ^{ns}
P x H1	4	0,939813*	1,138250 ^{ns}
P x H2	4	0,678250*	0,703250 ^{ns}
Bloco	3	0,407083	0,805527
Resíduo	27	0,143560	0,510660
Média Geral		15,702	16,390
C.V. (%)		2,76	2,36

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Na Figura 10, observa-se que o modelo polinomial melhor ajustado, para o comprimento médio de espiga, com o aumento da densidade populacional, no período de “Safrinha” 2010, foi o linear. Verificou-se tendência

de redução do comprimento de espiga para os dois híbridos estudados. Esta redução foi de 0,82 cm quando se elevou a densidade de 40.000 para 100.000 plantas ha⁻¹, para IAC-112. Por sua vez, o híbrido IAC-125 apresentou redução de 0,88 cm no comprimento médio de espiga em função do mesmo incremento na densidade de plantas.

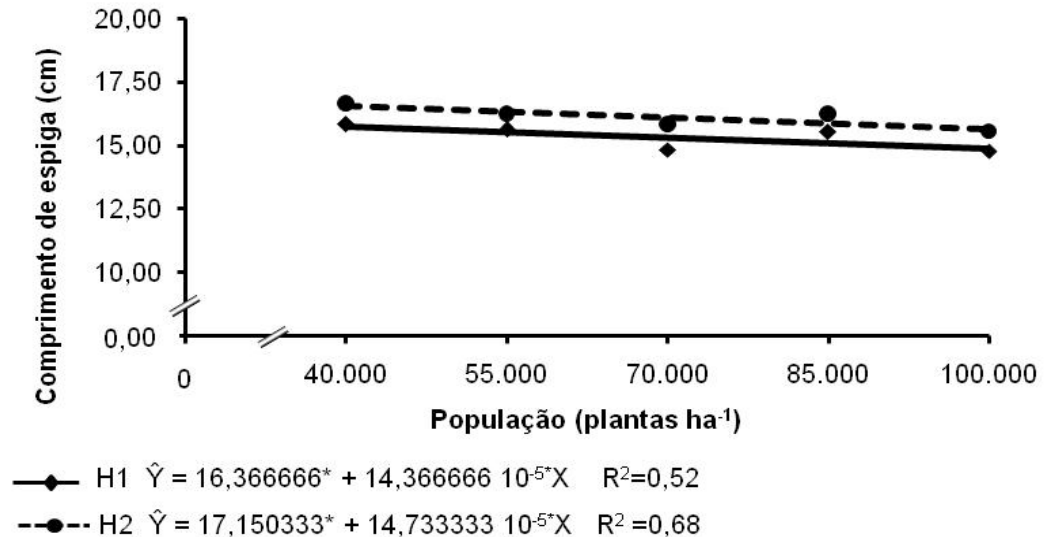


Figura 10 - Comprimento médio de espiga de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, “Safrinha” 2010.

Marchão et al., (2005) observaram redução do comprimento da espiga de 12 % quando se elevou a densidade de 40.000 para 97.000 plantas ha⁻¹. Os híbridos de milho comum utilizados em seu experimento demonstraram de forma bastante clara que o comprimento da espiga é inversamente proporcional ao aumento na densidade de plantas.

O efeito da densidade populacional sobre o comprimento médio de espiga, observados na Figura 10, está em conformidade com resultados obtidos por Sangoi et al. (2002), Brachtvogel (2009), Stacciarini et al. (2010). Uma possível explicação para os resultados encontrados no presente estudo está no fato de que com o aumento na densidade populacional, ocorre uma maior competição por água, luz e nutrientes, que prejudica a manutenção das demais estruturas

do vegetal (SANGOI et al., 2002; DOURADO NETO et al. 2003; BRACHTVOGEL, 2009).

Em relação ao período de cultivo de “Verão” de 2010/2011 (Figura 11), verificou-se, para os dois híbridos utilizados, que o comprimento de espiga não foi influenciado pelo aumento na densidade populacional.

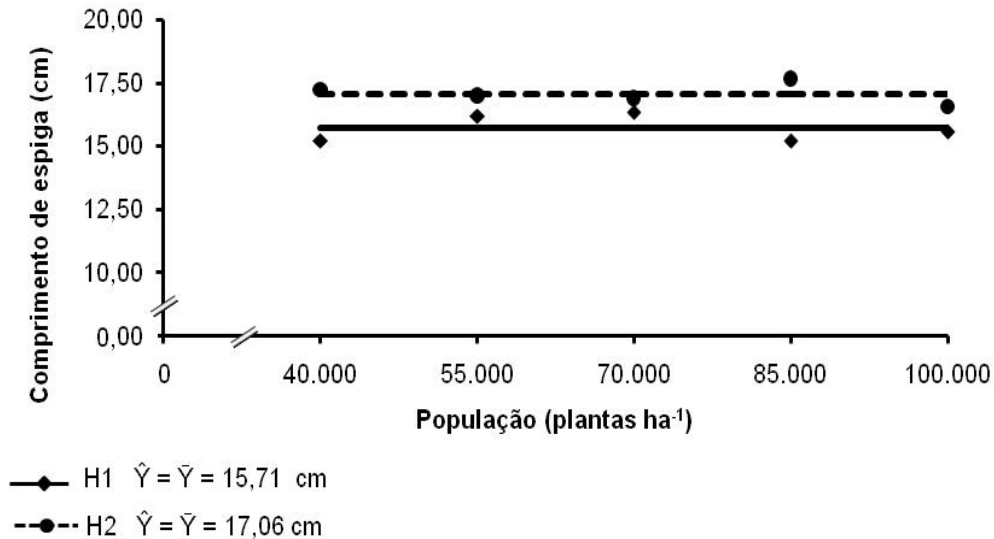


Figura 11 - Comprimento médio de espiga de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, “Safrinha” de 2010/2011.

No Quadro 11, observam-se diferença estatística entre os híbridos utilizados para o comprimento médio de espiga dentro dos níveis de densidade de 40.000, 70.000, 85.000 e 100.000 plantas ha⁻¹ na “Safrinha” de 2010. E com 55.000 e 85.000 plantas ha⁻¹, na “Safrinha” de 2010/2011“. Sendo assim, a média do híbrido IAC-125 é estatisticamente superior à de IAC-112, nestas densidades populacionais.

4.3.2. Diâmetro médio de espiga

Em relação ao diâmetro médio de espiga, observa-se, no Quadro 12, que não houve significância na interação entre os fatores densidade populacional e híbrido, bem como para o desdobramento da densidade populacional dentro de IAC-112 e IAC-125, em ambos os períodos de cultivo.

Quadro 11 – Desdobramento do efeito dos híbridos IAC-112 e IAC-125 em função densidade populacional, referente à característica comprimento médio de espiga (CE) (cm), “Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Densidade populacional (plantas ha ⁻¹)	“Safrinha”		“Safrinha de Verão”	
	IAC-112	IAC-125	IAC-112	IAC-125
40.000	15,8 b	16,7 a	15,2 b	17,2 a
55.000	15,6 a	16,2 a	16,2 a	17,0a
70.000	14,8 b	15,8 a	16,3 a	16,9 a
85.000	15,5 b	16,2 a	15,2 b	17,6 a
100.000	14,8 b	15,6 a	15,6 a	16,5 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada período de cultivo, não diferem entre si ($p > 0,05$), pelo teste F.

Nas Figuras 12 e 13, observa-se que o diâmetro médio de espiga apresentou comportamento constante, com o incremento na densidade de plantas, em ambos os períodos de cultivos.

Quadro 12– Resumo da análise de variância referente ao diâmetro médio de espiga (mm) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	1,799750 ^{ns}	0,358500 ^{ns}
Híbrido (H)	1	3,356400 ^{ns}	11,881000 ^{ns}
P x H	4	1,062750 ^{ns}	1,168500 ^{ns}
P x H1	4	1,696750 ^{ns}	0,415000 ^{ns}
P x H2	4	1,165750 ^{ns}	0,112000 ^{ns}
Bloco	3	0,793000	0,2097278
Resíduo	27	1,343185	0,566697
Média Geral		33,195	34,745
C.V. (%)		3,49	2,17

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Assim como ocorrido com o comprimento de espiga (Quadro 11), o diâmetro de espiga também apresentou valores dentro dos relatos por Sawazaki (2001), em trabalhos desenvolvidos com os híbridos IAC-112 e IAC-125.

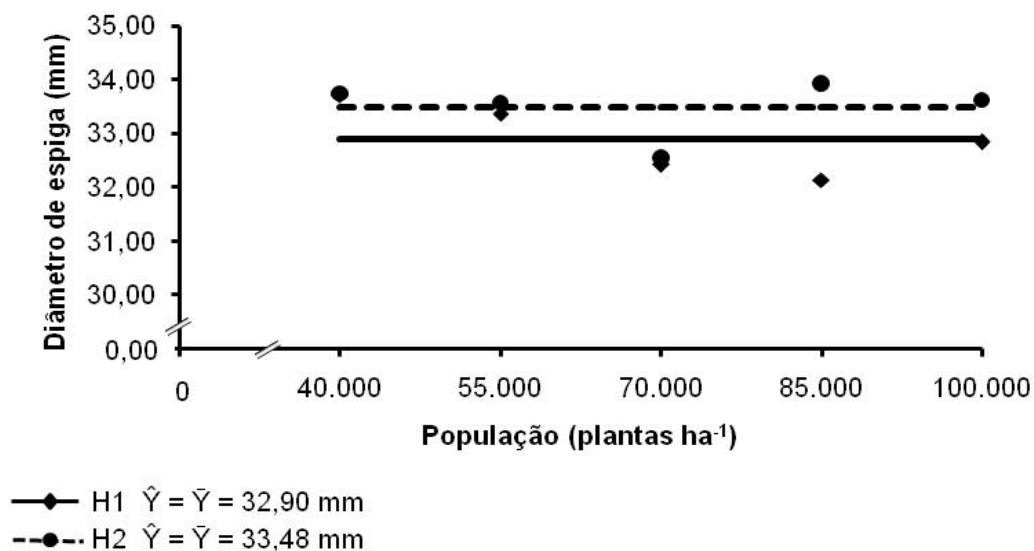


Figura 12 - Diâmetro médio de espiga de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, na “Safrinha” de 2010.

Por outro lado, Brachtvogel et al. (2009) e Vieira et al. (2009) encontraram respostas significativas, evidenciando decréscimo linear do diâmetro de espiga, com o aumento na densidade populacional em milho comum.

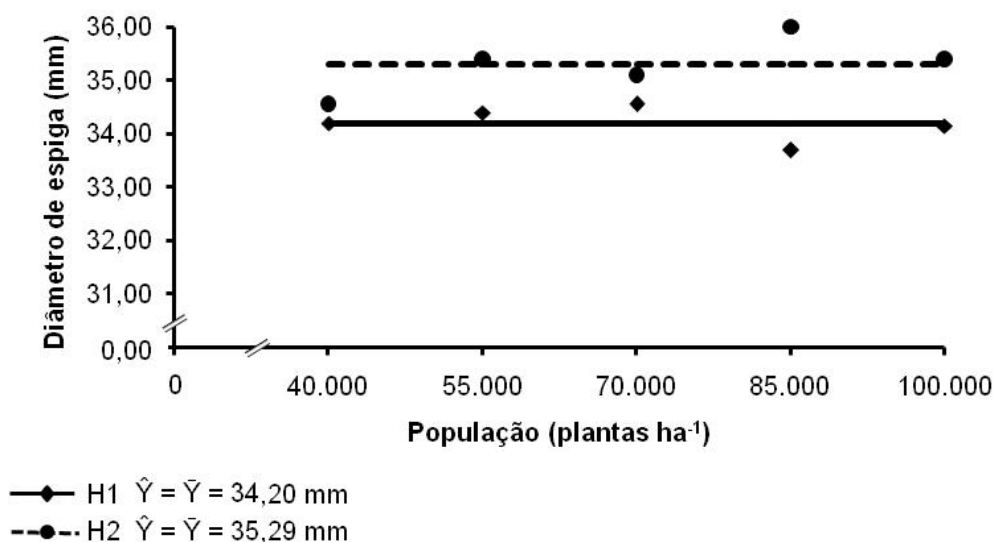


Figura 13 - Diâmetro médio de espiga de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas na “Safrinha” de 2010/2011.

4.3.3. Número médio de grãos por fileira de espiga

A análise de variância para o número de grãos por fileira (Quadro 13) apresentou efeito não significativo na interação entre os fatores densidade populacional e híbrido. Os desdobramentos da densidade populacional dentro dos híbridos foram não significativos em ambos os experimentos avaliados, exceto para IAC-125 na “Safrinha” de 2010/2011.

Quadro 13– Resumo da análise de variância referente ao número de grãos por fileira de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” 2010 e “Safrinha” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha” de 2010/2011
População (P)	4	3,250000 ^{ns}	2,630875 ^{ns}
Híbrido (H)	1	2,025000 ^{ns}	2,970250 ^{ns}
P x H	4	1,650000 ^{ns}	2,042125 ^{ns}
P x H1	4	1,825000 ^{ns}	0,821750 ^{ns}
P x H2	4	3,075000 ^{ns}	3,851250*
Bloco	3	2,891667	0,431196
Resíduo	27	2,113889	1,352367
Média Geral		36,625	34,577
C.V. (%)		3,97	3,36

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Na Figura 14, observa-se comportamento constante para o número de grãos por fileira com o aumento na densidade populacional, em ambos os híbridos utilizados.

No período de cultivo “Safrinha” de 2010/2011 (Figura 15), o modelo polinomial melhor ajustado, para o número de grãos por fileira, em função do aumento na densidade populacional para o híbrido IAC-125, foi o quadrático. O máximo de número de grãos por fileira (35,7) foi verificado na população de 70.037 plantas por hectare. Contudo, para o híbrido IAC-112, não houve ajuste significativo da regressão.

Resultados semelhantes foram encontrados por Flesch e Vieira (2004), e por Marchão et al. (2005), que trabalhando com milho comum constataram que houve uma tendência de diminuição do número de grãos por fileira à medida que se aumentou a densidade de semeadura. Estes autores

observaram de modo geral que menores populações de plantas proporcionaram maiores números de grãos por fileira.

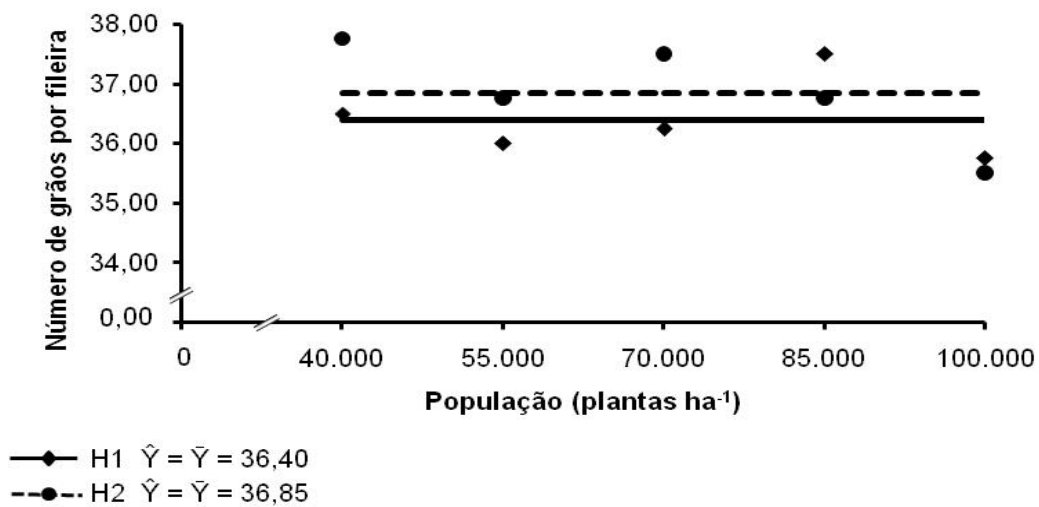


Figura 14 - Número médio de grãos por fileira dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, “Safrinha” 2010.

A competição das plantas pela radiação solar, nutrientes e água, com o incremento na densidade populacional, é considerada responsável pela formação de espigas com menor número de grãos por fileira (PEIXOTO 1996).

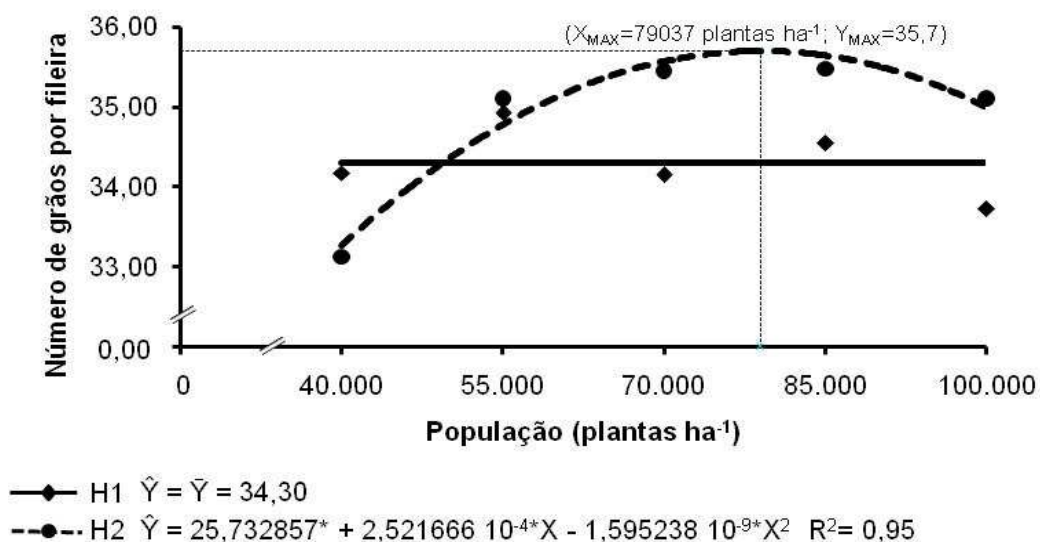


Figura 15 - Número médio de grãos por fileira de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, “Safrinha” de 2010/2011.

Em maiores densidades populacionais ocorre aumento da esterilidade de plantas e decréscimo no número de grãos por fileira, devido à redução na fecundação, principalmente na parte superior da espiga, que muitas vezes, não se desenvolve, ainda que tenha ocorrido a fertilização regular de óvulos (SANGOI, 2001; MARCHÃO, 2005).

4.3.4. Massa de mil grãos

A análise de variância para a característica massa de mil grãos não apresentou efeito significativo da interação entre híbridos e densidade populacional, bem como do desdobramento de densidade populacional dentro dos híbridos utilizados (Quadro 14).

Quadro 14– Resumo da análise de variância referente à massa de mil grãos (g) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	27,263171 ^{ns}	92,893429 ^{ns}
Híbrido (H)	1	458,125923 ^{ns}	84,274090 ^{ns}
P x H	4	91,976941 ^{ns}	64,068084 ^{ns}
P x H1	4	72,009317 ^{ns}	133,503455 ^{ns}
P x H2	4	47,230795 ^{ns}	23,378057 ^{ns}
Bloco	3	140,630543	68,271190
Resíduo	27	164,199163	164,491314
Média Geral		136,457	160,434
C.V. (%)		9,39	7,99

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

As Figuras 16 e 17 apresentam o comportamento da massa de mil grãos na “Safrinha” de 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011. Pode-se constatar que os híbridos apresentaram o mesmo comportamento, quando submetidos às populações variando de 40.0000 a 100.000 plantas ha⁻¹.

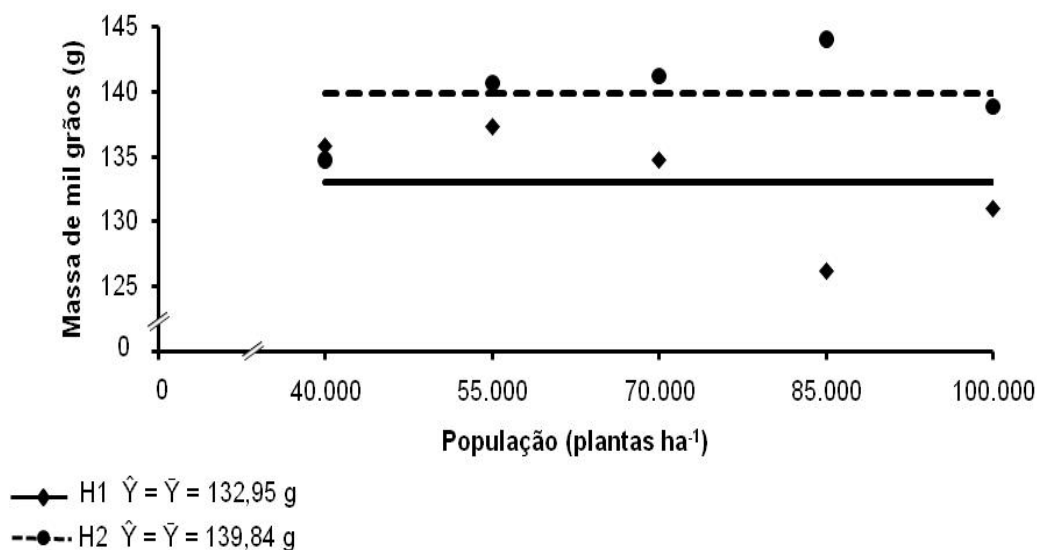


Figura 16 - Massa de mil grãos de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

Resultados semelhantes foram obtidos por Stacciarin (2010), trabalhando com o híbrido de milho comum 30K75. Por sua vez, relatos feitos por Silva e Rezera (1999) e Penariol et al. (2003) contradizem os resultados do presente estudo, pois apresentaram resposta significativa para o peso de mil grãos, com o incremento de plantas por unidade de área, em milho comum.

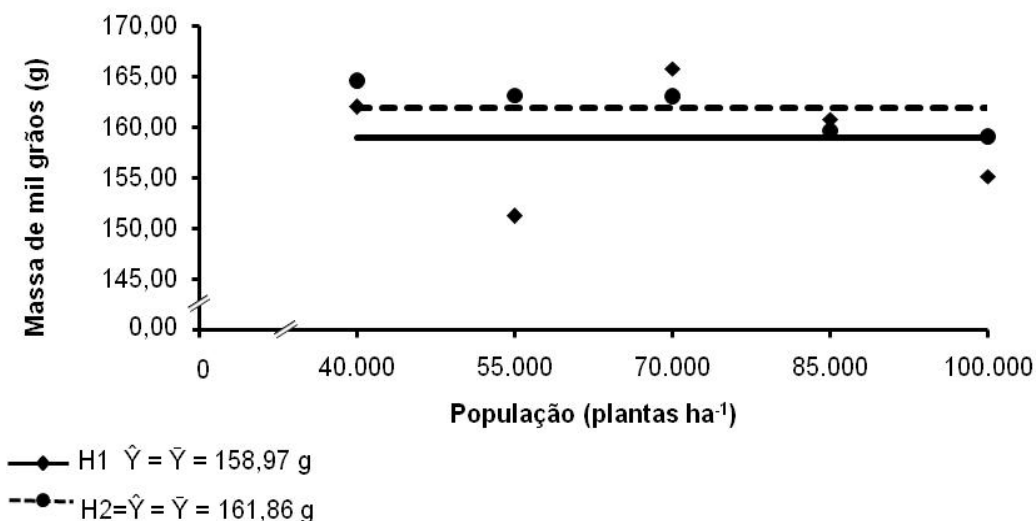


Figura 17 - Massa de mil grãos de plantas dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional na ‘Safrinha’ de 2010/2011.

4.3.5. Capacidade de expansão (CE)

Os resultados da análise de variância para a capacidade de expansão estão apresentados no Quadro 15. Observa-se, no período de “Safrinha” 2010, efeito significativo para o efeito principal de híbridos. Contudo, não houve efeito significativo para a interação entre densidade populacional e híbrido, bem como para o desdobramento da densidade populacional dentro dos híbridos estudados.

Por sua vez, no período de “Safrinha de Verão” de 2010/2011 (Quadro 15), efeito significativo da densidade populacional. No entanto, não se constatou significância para as interações entre densidade populacional e híbridos. Desdobrando-se a densidade populacional dentro dos híbridos, observam-se desdobramento significativo para ambos (IAC-112 e IAC-125).

Quadro 15 – Resumo da análise de variância referente à capacidade de expansão (mL g^{-1}) de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha de Verão” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	10,126278 ^{ns}	11,770816*
Híbrido (H)	1	2,540164*	4,515840 ^{ns}
P x H	4	6,013035 ^{ns}	0,794046 ^{ns}
P x H1	4	5,468620 ^{ns}	6,584908*
P x H2	4	10,670693 ^{ns}	5,979955*
Bloco	3	6,860353	1,281403
Resíduo	27	5,121624	1,247922
Média Geral		32,704	35,28
C.V. (%)		6,92	3,17

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

O modelo polinomial melhor ajustado ao comportamento da capacidade de expansão, em função do aumento na densidade populacional para o híbrido IAC-125, no período de “Safrinha” 2010, foi o cúbico (Figura 18).

Na Figura 18, observa-se que, entre a população que obteve o menor valor de CE ($30,02 \text{ mL g}^{-1}$), $53.419 \text{ plantas ha}^{-1}$, e a que obteve o máximo valor ($34,69 \text{ mL g}^{-1}$), $88.749 \text{ plantas ha}^{-1}$, houve aumento da Capacidade de

expansão, com posterior redução até a população de 100.000 plantas ha⁻¹. Para o híbrido IAC-112, a capacidade de expansão apresentou valor médio de 32,96 mL g⁻¹, que se manteve constante com o incremento de plantas na área.

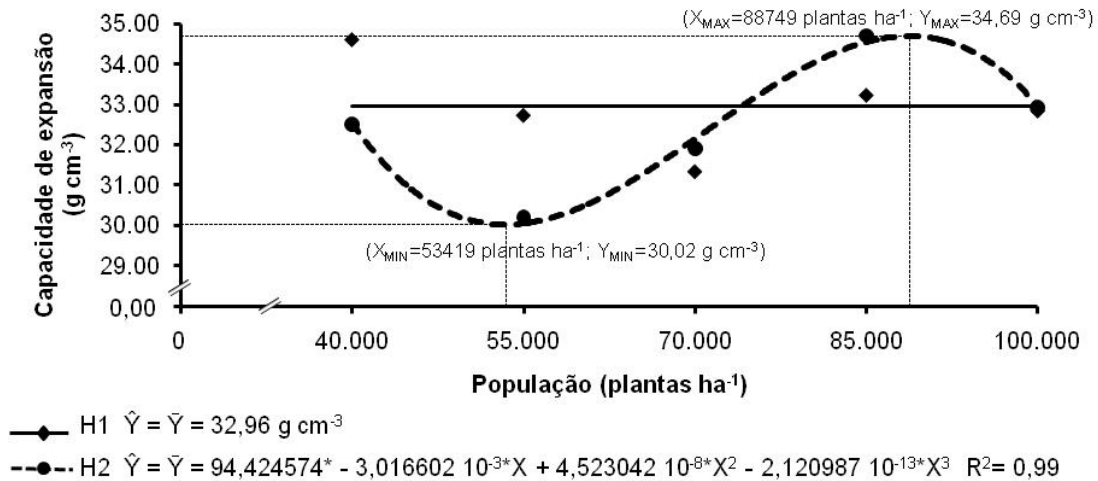


Figura 18 – Capacidade de expansão dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

A Figura 19 apresenta o comportamento da capacidade de expansão na “Safrinha” de 2010/2011, onde se constata que o modelo polinomial melhor ajustado, com o aumento na densidade populacional para ambos os híbridos avaliados, foi o quadrático.

No que se refere ao híbrido IAC-112, constatou-se capacidade máxima de expansão de 36,82 mL g⁻¹ para a população de 67.880 plantas ha⁻¹. O híbrido IAC-125 apresentou máximo valor de capacidade de expansão (36,20 mL g⁻¹) na população de 70.667 plantas ha⁻¹(Figura 19).

A capacidade de expansão apresentada pelos híbridos de milho pipoca nesse estudo esteve em concordância com os valores que constam nos resultados do Ensaio Nacional de Milho Pipoca, realizados por Sawazaki (2001). O autor afirma que o valor da CE para uma pipoca de boa qualidade deve estar acima de 32 mL g⁻¹ e, para pipoca de microondas, o valor da CE deve ser acima de 39 mL g⁻¹. Alguns autores relatam que a diferença genética entre híbridos de milho pipoca pode estar condicionada às características dos

grãos, tais como tamanho, espessura do pericarpo e o teor de umidade (SAWAZAKI, 2001; SAWAZAKI et al., 1995; RUFFATO et al., 2000).

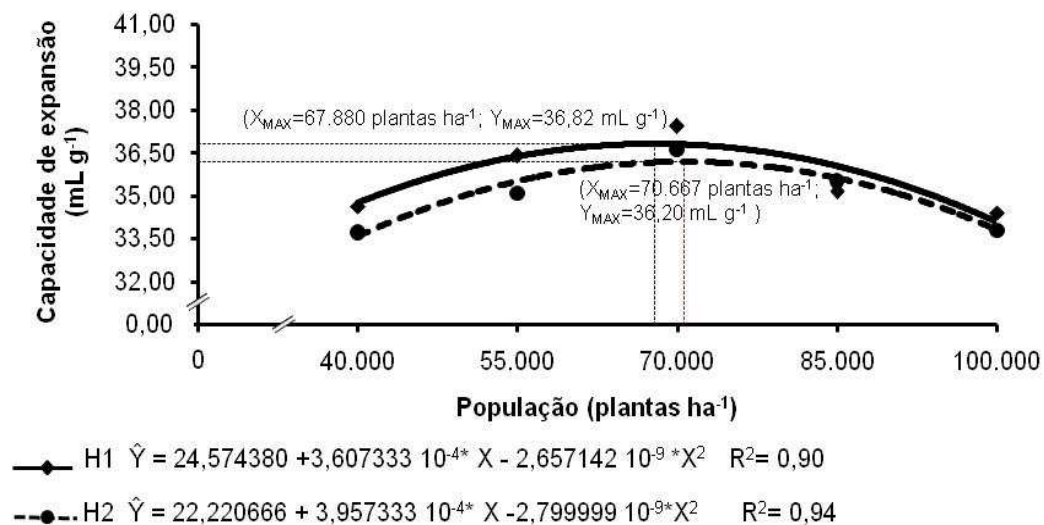


Figura 19 – Capacidade de expansão dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas “Safrinha” de 2010.

4.3.6. Produtividade de grãos

No Quadro 16, encontram-se os resultados da análise de variância para a produtividade de grãos. Verifica-se, no período de cultivo de “Safrinha” 2010, que houve efeito significativo ($p < 0,05$) para os efeitos principais de densidade populacional e híbridos. Contudo, observa-se efeito não significativo ($p > 0,05$) para a interação entre densidade populacional e híbridos. Desdobrando-se a densidade de plantas dentro dos híbridos, constata-se que houve desdobramento significativo para o híbrido IAC-125.

Na “Safrinha”, observa-se efeito significativo para híbrido, bem como para o desdobramento de densidade populacional dentro dos híbridos avaliados (Quadro 16).

O modelo polinomial melhor ajustado, para a produtividade de grãos, com o aumento na densidade de plantas dos híbridos IAC-112 e IAC-125, no período “Safrinha” de 2010, foi o linear. Observa-se que houve aumento na produtividade de grãos com o aumento da densidade populacional (Figura 20). Constatou-se que a cada 10.000 plantas ha^{-1} adicionadas à lavoura de milho pipoca, houve um acréscimo na produtividade de grãos de 0,17 e 0,22 $t ha^{-1}$ para IAC-112 e IAC-125, respectivamente (Figura 20).

Quadro 16– Resumo da análise de variância referente à produtividade de dois híbridos de milho pipoca em cinco densidades populacionais “Safrinha” de 2010 e “Safrinha” de 2010/2011

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios	
		“Safrinha”	“Safrinha de Verão”
População (P)	4	2,275000*	1,699326 ^{ns}
Híbrido (H)	1	2,50000*	5,202000*
P x H	4	0,375000 ^{ns}	0,490099 ^{ns}
P x H1	4	0,825000 ^{ns}	1,153119*
P x H2	4	1,825000*	1,036306*
Bloco	3	1,999663	2,934923
Resíduo	27	1,825000	0,749758
Média Geral		4,150	3,997
C.V. (%)		14,67	18,09

*Significativo ($p < 0,05$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$), pelo teste F. (H1) IAC-112; (H2) IAC-125.

Respostas semelhantes foram encontradas por diversos autores em estudos com milho comum, dentre eles, Porter et al. (1997), Argenta et al. (2001), Penariol et al. (2003), Flesch e Vieira (2004), Scheeren et al. (2004), e Sangoi et al. (2006).

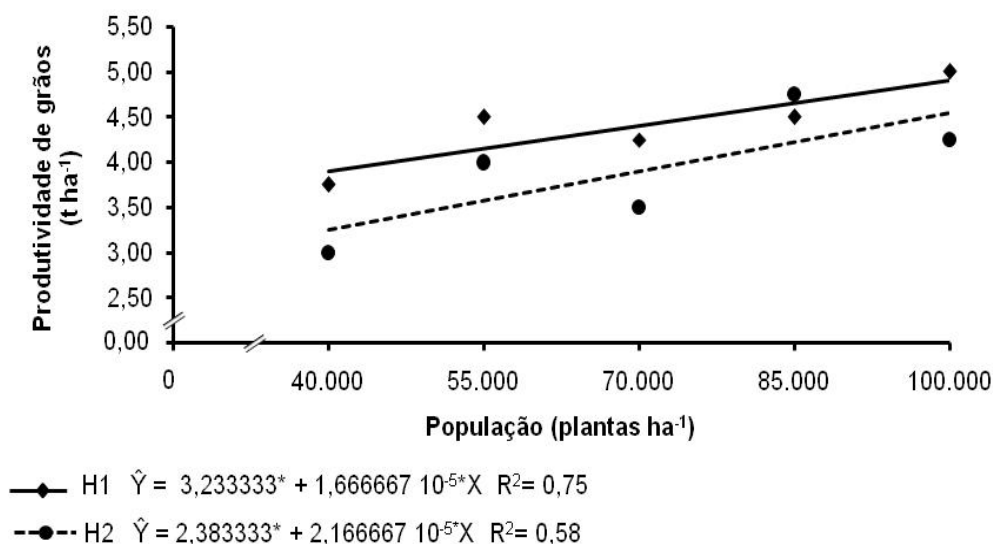


Figura 20 - Produtividade dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, na “Safrinha” de 2010.

A possibilidade de elevação da produtividade de grãos até a população de 100.000 plantas ha⁻¹ pode ser indicativo de que a maior competição intra-específica promovida pelo aumento da população não foi suficiente para prejudicar a produtividade. Assim sendo, apesar de ocorrer redução dos componentes da produção, o maior número de espigas por área, em maiores populações, pode compensar essa perda, refletindo em maior produtividade de grãos, que está de acordo com Flesch e Vieira, 2004, Marchão et al., 2005, Alvarez et al., 2006; Gross et al., 2006.

Por outro lado, constatou-se, no período de “Safrade Verão” (Figura 21), para o híbrido IAC-112, que o modelo polinomial melhor ajustado à produtividade de grãos, com incremento da densidade populacional, foi o quadrático. Houve um acréscimo na produtividade de 40.000 a 67.889 plantas ha⁻¹, onde se obteve o máximo valor na produtividade de grãos de milho pipoca (4,89 t ha⁻¹), com posterior redução até 100.000 plantas por hectare.

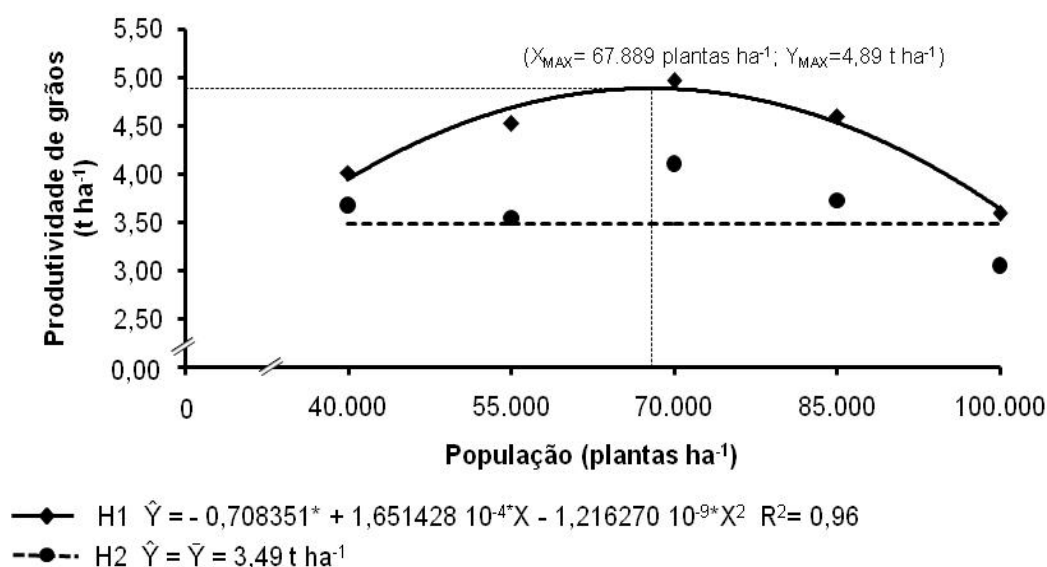


Figura 21 - Produtividade dos híbridos de milho pipoca IAC-112 e IAC-125, em função da densidade populacional de plantas, na “Safrade Verão” de 2010/2011.

Em relação ao híbrido IAC-125 no cultivo de “Verão”, não foi possível ajustes significativos de regressão. O híbrido IAC-125 respondeu por uma produtividade de 3,59 t ha⁻¹, em conformidade com a produtividade de grãos

descrita por Sawazaki (1995), que deve estar em torno de 3,95 t ha⁻¹ (Figura 21).

Os resultados verificados neste estudo revelam concordância com aqueles desenvolvidos por Mundstock (1977), Casal et al. (1985), Silva et al. (1995), Merotto Jr. et al. (1997), Sangoi (1998), Almeida, (2000), Argenta et al. (2001), que obtiveram ganho na produtividade de grãos de milho comum com incremento na densidade de plantas.

Estudos realizados por Kunz (2007) demonstram que o índice de área foliar é altamente correlacionado com produtividade de grãos, por proporcionar maior interceptação da radiação solar. Assim sendo, os resultados encontrados para IAF (Figura 8 e 9), neste estudo, podem justificar os rendimentos de grãos obtidos. Os valores entre 3 e 4 para IAF, com o aumento na densidade populacional, estão em concordância com as exigências da cultura do milho, para otimizar o aproveitamento da radiação solar sob condições hídricas e edafoclimáticas favoráveis, podendo maximizar, conseqüentemente, o rendimento de grãos (OTTMAN e WELCH, 1989; LOOMIS e AMTHOR, 1999).

A diferença estatística entre os híbridos utilizados (Quadro 17), para avaliação da produtividade de grãos, foi observada na densidade populacional de 55.000 plantas ha⁻¹, em ambos os períodos estudados (“Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” 2010/2011). A média do híbrido IAC-112 foi estatisticamente superior à do híbrido IAC-125, na densidade de 55.000 plantas ha⁻¹.

Quadro 17 – Desdobramento do efeito dos híbridos IAC-112 e IAC-125, em função densidade populacional, referente à característica produtividade de grãos (PROD) “Safrinha” 2010 e “Safrinha de Verão” 2010/2011

Densidade populacional (plantas ha ⁻¹)	“Safrinha”		“Safrinha Verão”	
	IAC-112	IAC-125	IAC-112	IAC-125
40.000	3,750 a	3,000 a	4,021 a	3,678 a
55.000	4,500 a	4,000 b	4,527 a	3,522b
70.000	4,250 a	3,500 a	4,974 a	4,114 a
85.000	4,500 a	4,750 a	4,599 a	3,739 a
100.000	5,000 a	4,250 a	3,600 a	3,632 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada período de cultivo, não diferem entre si (p > 0,05), pelo teste F.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido o presente estudo, concluiu-se, para os dois períodos de cultivo, que:

Na “Safrinha” de 2010:

- Houve efeito da densidade populacional para as características da parte aérea, diâmetro do colmo e índice de área foliar;
- Quanto aos componentes de produção, observou-se efeito significativo com incremento na densidade de plantas sobre comprimento médio de espiga, capacidade de expansão e produtividade de grãos.

Na “Safrinha de Verão” de 2010/2011:

- Houve efeito da densidade populacional para as características diâmetro de colmo e índice de área foliar;
- No que se refere aos componentes de produção, observou-se efeito do incremento na densidade de plantas sobre número médio de grãos por fileira, capacidade de expansão e produtividade de grãos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2. ed. Champaign: A & L Publication, 1982, 371 p.

ALEXANDER, D.E.; CREECH, R.G. **Breeding special industrial and nutritional types**. In: SPRAGUE, G.F. (ed.) *Corn and corn improvement*. 2.ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, p.363-390, 1977.

ALLISON, J.C.S.; WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. **Annals of Botany**, Oxford, v.30, n.119, p.365-381, 1966.

ALMEIDA, M.L.; SANGOI, L.; ENDER, M. 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, 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.; PINHO, R.G.; BORGES, I.D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragens 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.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, p. 467-473, 2002.

ANDRADE, F.H.; OTEGUI, M.E.; VEGA, C.R.C. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.1, p.92-97, 2000.

ANDRADE, F.H.; **Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária. Balcarce, Argentina. 34p. 1992 (Boletín Técnico, 106).

ANDRADE, F.H.; UHART, S.; ARGUISSAIN, G. **Rendimiento potencial de maíz en Balcarce: analisis de los factores que lo determinan**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária. Balcarce, Argentina. 11p., 1991. (Boletín Técnico, 101).

ANDRADE, F.H.; VEGA, C.; UHART, S.; Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v.39, n.2, p.453-459, 1999.

ANDRADE, M.F.B.; MORAIS, A.R.; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, M.V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.2, p.242-250, 2001.

ANDRADE, R.A.; CRUZ, C.D.; SCAPIM, C.A.; SILVÉRIO, L.; PINTO, R.J.B.; TONET, A. Análise dialéctica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v.24, n.5, p.1197-1204, 2002.

ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 7 ed. São Paulo: Organização Andrei Editora, 2005. 1133 p.

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.

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.

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.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. ed. 4. Jaboticabal: Funep, 2006. 237p.

BARBANO, M.T.; DUARTE, A.P.; BRUNINI, O. 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.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: I. Absorção da radiação solar fotossinteticamente ativa. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**. Porto Alegre, v.1, n.2, p.185-199, 1995.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; RADIN, B.; ROSA, L.M.G.; BERGONCI, J.I.; ARAGONÉS, R.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; LANGENSIEPEN, M. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, Buenos Aires, v.1, p.23-27, 2001.

BERGER, J. Maize production and the manuring of maizes. **Center d'Estudo de L' Azote**, Geneva, p. 38-41. 1962.

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

BERLATO, M.; MATZENAUER, R.; SUTILI, V.R. Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.20, p.111-132, 1984.

BIGNOTTO, L.S. Desempenho agrônômico de novos híbridos de milho-pipoca no Noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.1, p.29-36, 2009.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.31, n.2, p.233-252, 1996.

BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRAI, F.R.S.; CRUZ, 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.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. **SNDA/DNDV/CLAV**. Brasília, DF, 1992. 365p.

BROWN, R.H.; HATTERSLEY, P.W. Leaf anatomy of C3-C4 species as related to evolution of C4 photosynthesis. **Plant Physiology**, Washington, v.91, p.1543-1550, 1989.

BRUNS, H.A.; ABBAS, H.K. Ultra-high plant populations and nitrogen fertility effects on corn in the Mississippi valley. **Agronomy Journal**, Madison, v.9 p.1136-1140, 2005.

BRUNSON, A.M. Popcorn. In: SPRAGUE, G.F. (ed). **Corn and corn improvement**. New York, Academic Press, 1955. p.423-439.

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.

CANTARERO, M.G.; CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Night temperature at silking affects kernel set in maize. **Crop Science**, Madison, v.39, n.3, p.703-710, 1999.

CARDWELL, V.B. Fifty years of Minnesota corn production: sources of yield increase. **Agronomy Journal**, Madson, v.74, n.6, p.984-995, 1982.

CARNEIRO, V.; ARAÚJO, E.F.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C.; REIS, M.S.; DAVID, A.M.S.S. Efeito da debulha e da classificação sobre o tamanho e a qualidade de sementes de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.1, p.97-105, 2003.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; RINALDI, D.A.; LIMA, V.E.N. Adaptabilidade e estabilidade de populações de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.87-90, 2005.

CARVALHO, J.A.; PEREIRA, G. M.; ANDRADE, M. J.B.; ROQUE, M. W. Efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.3, p.710-717, 2000.

CASAL, J.J.; DEREGIBUS, V.A.; SÁNCHEZ, R.A. Variations in tiller dynamics and morphology in *Lolium multiflorum* Lam. vegetative and reproductive plants as affected by differences in red/far-red irradiation. **Annals of Botany**, London, v.56, p.533-559, 1985.

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

CODY, M.L. **Introduction to long-term community ecological studies**. Long-term studies of vertebrate communities. San Diego: Academic Press; p.1-15, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2010/2011, terceiro levantamento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_12_09_16_39_39_bol_etim_portugues_-dez_de_2010.pdf. Acesso em: 30 Jun 2010.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390p.

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).

DAYNARD, T.B.; TANNER, J.W.; DUNCAN, W.G. Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v.2,n.1, p.45-8, 1971.

DELVIN, R.M. Water relations. In: DELVIN, R.M. (ed.) **Plant physiology**. 3 ed. New York: D.van Nostrand, 1975. p.43-86.

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, v.43, n.12, p.1691-1697, 2008.

DOFING, S.M.; D'CROZ-MASON, N.; THOMAS-COMPTON, M.A. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent corn crosses. **Crop Science**, Madison, v.31, p.715-718, 1991.

DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.28, p.361-405, 1976.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. 197p. (**Irrigation and Drainage Paper, 33**)

DOURADO NETO, D.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**, v. 2, p. 63-77, 2003.

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

DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; GOMES, E.E.; OLIVEIRA, A.C. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.355-361, 2005.

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.

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

EHLERINGER, J.R.; CERLING, E.T.; HELLIKER, B. R. C₄ photosynthesis, atmospheric CO₂, and climate. **Oecologia**, Oxford, v. 12, n.112, p. 285-299, 1997.

ELDREDGE, J.C. **Better popping popcorn**. Iowa Farm Science, Ames, 3(9):6-7, 1949.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1999. 412p.

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

FANTINI, J.L.; FUSON, M.M.; EVANS, T.A. Popping popcorn kernels: expanding relevance with linear thinking. **Journal of Chemical Education**, Whashington, v.83, n.3, p.414-416, 2006.

FERREIRA, D.F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: Ufla, 2000. 63p.

FIGUEIREDO, E.; ASCENCIO, F.; SAVIO, G. M. Características agronômicas de três cultivares de milho sob quatro populações de plantas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Ano VII, n. 13, 2008. Disponível em: <http://www.revista.inf.br/agro13/artigos/AnoVII-Edic13-Art02.pdf>. Acesso em: 03/06/2010.

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.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. Acesso em: 30 Jun 2010.

FREITAS Jr., S.P.; AMARAL Jr., A.T.; PEREIRA, M.G.; CRUZ, C.D.; SCAPIM, C.A. Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1599-1607, 2006.

FULTON, J.M. Relationship among soil moisture stress, plant population, row spacing and yield of corn. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 50, n. 1, p. 31-38, 1970.

FURBANK, R.T.; TAYLOR, W.C. Regulation of Photosynthesis in C3 and C4 Plants: A Molecular Approach. **Plant Cell**. 1995 Jul; Dordrecht, 7(7):797–807.

GADIOLI, J.L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A.G.; BASANTA, M.V. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

GALLAGHER, J.N.; BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cerea. **Journal of Agricultural Science**, New York, v.91, n.1, p.47-60, 1978.

GALVÃO, J.C.C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, G.V. Comportamento de híbridos de milho-pipoca em Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 47, p. 201-218, 2000.

GAMA, E.E.G.; MAGNAVACA, R.; SILVA, J.B.; SANS, L.M.A.; VIANA, P.A.; PARENTONI, S.N.; PACHECO, C.A.P.; CORREA, L.A.; FERNANDES, F.T. Milho-pipoca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, p.12-16, 1990.

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

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

GRANATE, M.J.; CRUZ, C.D.; PACHECO, C.A.P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho-pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.101-108, 2002.

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

HAMMER, G.L.; DONG, Z.; MCLEAN, G.; DOHERTY, A.; MESSINA, C.; SCHUSSLER, J.; ZINSELMEIER, C.; PASZKIEWICZ, S.; COOPER, M. Can

changes in canopy and/or root system explain historical maize yield trends in the U.S. Corn Belt. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 299- 312, 2009.

HATTERSLEY, P.W. Characterization of C4 type leaf anatomy in grasses (Poaceae). Mesophyll:bundles sheath area ratios. **Annual of Botany**, Oxford, v.53, p.163-179, 1984.

HORTON, P. Prospects for crops improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: Morphological and biochemical aspect of light capture. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 51, p. 475-485, 2000.

HUELSEN, W.A.; BEMIS, E.W.P. **Artificial drying and rehydration of popcorn and their effects on popping expansion**. Urbana, Illinois, Agric. Agricultural Experiment Station., 1955. 68p. (Bulletin, 593.).

HUNTER, R.B.; KANNENBERG, L.W.; GAMBLE, E.E. Performance of five maize hybrids in plant populations and row widths. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, p.255-256, 1970.

IAPAR – FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina- PR, 1982. 177p. (IAPAR, Circular 29).

JACOBS, B.J.; PEARSON, C.J. Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ears. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.27, n.2, p.281-298, 1991.

JUGENHEIMER, R.W. **Corn improvement, seed production and uses**. New York, John Wiley, 1976. 670p.

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

KVITSCHAL, M.V.; MANTINE, E.; VIDIGAL FILHO, P.S.; VIDIGAL, M.C.G.; SCAPIM, C.A. Arranjo de plantas e produção de dois híbridos simples de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 122-131, 2010.
KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

KIRINY, J.R.; OTEGUI, M.E. Processes affecting maize grain yield potential in temperate conditions. In: OTEGUI, M.; SLAFFER, G.A. (Eds.). **Physiological bases for maize improvement**. . New York: Haworth Press, 2000. cap.3, p.31-46.

KIRINY, J.R.; BONHOMME, R. **Predicting maize phenology**. In: Hodges, T. (ed.). **Predicting crop phenology**. Boca Raton, CRC Press, Ann Arbor. Boston. p. 115-131, 1991.

KLAR, S.R. Transpiração. In: KLAR, S.R. (ed.) **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 347-385.

KRUG, C.A.; CONAGIN, A.; JUNQUEIRA, A.A.B. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, SP: Ed. Instituto de Potassa. 1996. p. 96 - 8.

KUNZ, R.P.; BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; HECKLER, B.M.M.; COMIRAN, F. Uso da radiação solar pelo milho sob diferentes preparos do solo, espaçamento e disponibilidade hídrica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1511-1520, nov. 2007

LANGDALE, J.A.; ZELITCH, I.; MILLER, E.; NELSON, T. Cell position and light influence C4 versus C3 patterns of photosynthetic gene expression in maize. **Embo Journal**, Oxford, 7: 3643–3652, 1988.

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

LIU, W.; TOLLENAAR, M.; STEWART, G.; DEEN, W. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. **Crop Science**, Madison, v.44, n.3, p.847-857, 2004.

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

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

LOZADA, B.I.; ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.31-36, 1999.

LUZ, M.L.S.; DALPASQUALE, V.A.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; ROYER, M.R.; MORA, F. Influência da umidade das sementes na capacidade de expansão de três genótipos de milho-pipoca (*Zea mays L.*), **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.3, p.549-553, 2005.

MADONNI, G.A.; CHELLE, M.; DROUET, J.L.; ANDRIEU, B. Light interception of contrasting azimuth canopies under square and rectangular plant spatial distributions: simulations and crop measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.70, p.1-13, 2001.

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

MADONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf area, light interception, and crop development in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, p.81-87, 1996.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. Fisiologia do milho. Sete Lagoas, p.65-88. dez. 2002. (Circular Técnica 22)

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final dos grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.1747-1754, 1990.

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.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MALU J.R.T.;BARNI, N.A.; BUENO, A.C.; DIDONE, I.A.; ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A.; SAMPAIO, M.R. Consumo de água e disponibilidade hídrica para **milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (BOLETIM Fepagro, 10).

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, p.1207-1214, 1983.

Mc CREE K.J.; RICHARDSON, S.G. Stomatal closure VS adjustemnt: A comparison of stress responses. **Crop Science**, Madison, v.27.p. 539-543, 1987.

MEROTTO JR., A.; SANGOI, L.; GUIDOLIN, A.; ENDER, M. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos do milho, principalmente em alta população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 595-601, 1999.

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, out. 1997.

MORGAN, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, New York, 35:299-319.

MORIZET, J.; TOGOLA, D. Effect et arrière-effect de la sécheresse sur la croissance de plusieurs génotypes de maïs. In: CONFERENCE INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE, 1984, Versailles. **Les besoins en eau des cultures**. Paris : INRA, 1984. p.351-360.

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

MUNDSTOCK, C. M. Aspectos fisiológicos da tolerância do milho a frio. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 3., 1995, Assis. Campinas: IAC, 1995. p.45-49.

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura de milho para o Rio Grande do Sul**. Porto Alegre:UFRGS:ASCAR, 1977. 35 p (Boletim Técnico n. 1).

NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Short and long-term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 107-113, 1992.

NOBRE R.G.; FILHO, J.L.; PRAÇA, E.F.; DIAS, N.S.; NETO, M.F. Avaliação da qualidade de diferentes marcas comerciais de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 133-135, 2000.

NUNES, H.V. Comportamento de cultivares de milho-pipoca em diferentes épocas de semeadura. **Ceres**, Viçosa, v.50, n.290, p. 445-460, 2003.

OTEGUI, M.E.; ANDRADE, F.H. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: Westgate, M.E.; Boote, K.J. (ed.), **Physiology and modeling kernel set in maize**. Madison, CSSA, 2000. Cap. 4, p. 89-102.

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

PACHECO, C.A.P.; GAMA, E.E.G.; GUIMARÃES, P.E.D.; SANTOS, M.X.; FERREIRA, A.S. Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-43 de milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n.12, p. 1995-2001, 1998.

PACHECO, C.A.P.; GAMA, E.E.G.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X.; GUIMARÃES, P.E.O. Avanços no processo seletivo da variedade de milho pipoca BRS Ângela. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.4, n.3, p.436-444, 2005.

PANDEY, R.K.; MARANVILLE, J.W.; ADMOU, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.46, n.1, p.1-13, 2000.

PAYERO, J.O.; KLOCKE, N.L.; SCHNEEKLOTH, J.P.; DAVISON, D.R. Comparison of irrigation strategies for surface-irrigated corn in West Central Nebraska. **Irrigation Science**, v.24, n.4, p.257-265, 2006.

PEIXOTO, C.M. **Resposta de genótipos de milho à densidade de plantas, em dois níveis de manejo**. Porto Alegre, 1996, 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996

PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; COIVEV, L. 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, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T. Estimation of genetic components in popcorn based on nested design. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2001.
- PINHO, R.G.V.; BRUGNERA A.; PACHECO, C.A.P.; GOMES, M.S. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.1, p.53-61, 2003.
- PINTO, R.J.B.; KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; FRACARO, M.; BIGNOTTO, L.S.; SOUZA NETO, I.L. Análise dialéctica parcial de linhagens de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.3, p.325-337, 2007.
- 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, 1997.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- 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, São Paulo: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RAJCAN, I.; SWANTON, C.J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 71, n. 1, p. 139-150, 2001.
- 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.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Special Report n. 48. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**. Cooperative Extension Service, 1993.
- RIZZARDI, M.A; BOLLER, W. DALLOGLIO, R.C. Distribuição de plantas de milho na linha de semeadura e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1994. v.29, n.8, p. 1231-1236.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D. Crescimento e desenvolvimento de milho: efeito da temperatura na duração e na taxa de crescimento de grãos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 40 p. (**Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa, 7**).
- RUFFATO, S.; CORREA, P.C.; MARTINS, J.H.; MANTOVANI, B.H.M.; SILVA J.N. Efeito das condições de colheita, pré-processamento e armazenagem na qualidade do milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.591-597, 2000.
- RUSSEL, W.A. Genetic improvement of maize yields. **Advances in Agronomy**, Londres, v.46, n.1, p.245-298. 1991.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4.ed. Belmont: Wadsworth Publishing, Rockville, 1992, 681p.

SANGOI, L. Aptidão dos campos de Lages (SC), para produção de milho em diferentes épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.1, p.51-63, 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., SALVADOR, R.J. Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p.297-306, 1998.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Bases morfo-fisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.2, p.101-110, 2002.

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

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.E.; SILVA, P.R.F.; HORN, D.; SCHIMITT, A.; SCHWEITZER, C.; MOTTER, F. Rendimento de grãos e margem bruta de cultivares de milho com variabilidade genética contrastante em diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.747-755, 2006.

SANGOI, L.; SALVADOR, R.J. Dry matter production and partitioning of maize hybrids and dwarf lines at four plant populations. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.1-6, 1997.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; SALDANHA, A.; FIORENTIN, C.F.; PLETSCH, A. J.; VIEIRA, J.; GATTELLI, M.A. Rendimento de grãos de híbridos de milho em duas densidades de plantas com e sem a retirada dos perfilhos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.2, p.325-331, 2009.

SAWAZAKI, E.; CASTRO, J.L.; GALLO, P.B.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; SILVA, R.M.; LUDERS, R.R. Potencial de híbridos temperados de milho pipoca em cruzamentos com o testador tropical IAC 12. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.2, p.14-23, 2003.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and Procedures of Statistics**, New York: McGraw-Hill Book Company. Inc., 1960, 481p.

SAWAZAKI, E. A cultura do milho-pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, Campinas, v.53, n.2, p.11-13, 2001.

SAWAZAKI, E. **Melhoramento do milho pipoca**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. 21p. (Documento IAC, 53).

- SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B.; AMARAL Jr., A.T.; RODOVALHO, M.A.; SILVA, R.M.; MOTERLE, L.M. Componentes genéticos de médias e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.36-41, 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.
- SCHOPER, J.B.; JOHNSON, R.R.; LAMBERT, R.J. Maize yield response to increased assimilate supply. **Crop Science**, Madison, v.22, p.1184-1189, 1982.
- SCHUSSLER, R.J.; WESTGATE, M.E. Maize kernel set at low potential. I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth. **Crop Science**, Madison, v.31, p.1189-1195, 1991.
- SCHWANTES, D.O.; SCHULTER, A.R; FONTOURA, D.; MAROCHIO, J. Características agronômicas de híbridos de milho safrinha. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.8, n.3, p.343-239, 2007.
- SEIFERT, A.L.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; FERREIRA, J.M.; GERAGE, A.C. Análise combinatória de populações de milho pipoca em topcrosses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.771-778, 2006.
- 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. 64p.
- SILVA, P.R.F.; RIZZARDI, M.; TREZZI, M.M. Densidade e arranjo de plantas em girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.6, p.797-810, 1995.
- SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho à densidade de plantas, em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.4, p.585-595, 1999.
- SILVA, R.N.; MONTEIRO V.N.; ALCANFOR, J.D.X.; ASSIS, E.M.; ASQUIERI, E.R. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 337-341, set./dez., 2003.
- SINCLAIR, T.R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 2, p. 638-643, 1998.
- SLAFFER, G.A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future genetic improvement of maize yields In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI (ed.). **Physiological bases for maize improvement**. New York: Haworth Press, 2000, cap.1, p.1-14.
- SONG, A.; ECKHOFF, S.R. Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. **Cereal Chem.**, St Paul, v.71, n.5, p.458-460, 1994.

- STACCIARINI, T.C.V.; CASTRO, P.H.C.; BORGES, M.A.; GUERIN, H.F.; MORAES, P.A.C.; GOTARDO, M. Avaliação de caracteres agronômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.4, p.516-519, 2010.
- STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A.A.; ENDRIGO, P.C.; JANDREY, D.B. Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.346-353, 2008.
- SUNG, F.J.; KRIEG, D.R. Relative sensitivity of photosynthetic assimilation and translocation of ¹⁴carbon to water stress. **Plant Physiology**, Rockville, v.64, n.1, p. 852-856, 1979.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: Eliane Romanato Santarém et al. Porto Alegre: ARTMED, 3ª ed., 2004, cap.7, p.139-145.
- TETHIO-KAGHO, F.P.; GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. I - Canopy development, light relationships, and vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.935-940, 1988.
- TOKATLIDIS, I.S.; KOUTROUBAS, S.D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 103-114, 2004.
- TOLLENAAR, M.; BRUULSEMA, T.W. Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.580-585, 1988.
- TOLLENAAR, M.; DIBO, A.A.; AGUILERA, A. Effect of crop density on weed interference in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.591-595, 1994.
- TOLLENAAR, M.; AGUILERA, A. Radiation use efficiency of an old and new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 3, p. 536-541, 1992.
- TOLLENAAR, M.; LEE, E.A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.75, n.1, p.161-169, 2002.
- TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1597-1604, 1999.
- URIBELARREA, M.; DIBO, A.A.; AGUILERA, A. Pollen production, pollination dynamics, and kernel set in maize. **Crop Science**, Madison, v.42, n.6, p.1910-1918, 2002.
- VALENTINUZ, O.R.; TOLLENAAR, M. Vertical profile of leaf senescence during the grain filling period in older and newer maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 44, p.827-834, 2004.
- VAVILOV, N.I. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. **Chronica Botanica**, v.13, 1951, 366 p.

VEGA, C.R.C.; ANDRADE, F.H.; SADRAS, V.O. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 72, p. 165-173, 2001.

VENDRUSCOLO, E.C.; SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; OLIVEIRA, V.R.; BRACCINI, A.L.; GONCALVES-VIDIGAL, M.C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho-pipoca na região centro-sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.123-130, 2001.

VIEIRA, R.A.; RODOVALHO, M.A.; SCAPIM, C.A.; TESSMANN, D.J.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; BIGNOTTO, L.S. Desempenho agrônômico de novos híbridos de milho-pipoca no Noroeste do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.1, p.29-36, 2009.

VILELA, F.O.; AMARAL Jr., A.T.; PEREIRA, M.G.; SCAPIM, C.A.; VIANA, A.P.; FREITAS Jr., S.P. Effect of recurrent selection on the genetic variability of the UNB-2U popcorn population using RAPD markers. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v.30, n.1, p.25-30, 2008.

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

ZIEGLER, K.E.; ASHMAN, B. **Popcorn**. In: HALLAUER, A.R. (ed.). Specialty corns. Ames, CRC Press, 1994. p.189-223.

ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M.E.; JONES, R.J. Kernel set at low water potential does not vary with source/sink ratio in maize. **Crop Science**, Madison, v.35, n.1, p.158-163, 1995.

ZINSLY, J.R.; MACHADO, J.A. **Milho-pipoca**. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (ed.). Melhoramento e produção de milho. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v. 2, p. 413-421.