

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ESCOLHA DE GENITORES E DESEMPENHO
AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Paulo Roberto da Silva

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

ESCOLHA DE GENITORES E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO

Paulo Roberto da Silva

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dilson Antônio Bisognin, PhD.

Santa Maria, RS, Brasil
2012

S586e Silva, Paulo Roberto da

Escolha de genitores e desempenho agrônomo de híbridos de milho /
por Paulo Roberto da Silva. - 2012.

95 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Dilson Antônio Bisognin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro
de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2012

1. Cultura agrícola 2. Cultura do milho 3. Zea mays L. 4. Cruzamentos
recíprocos 5. Efeito recíproco 6. Caracteres agrônomo 7. Estabilidade
8. Adaptabilidade I. Bisognin, Dilson Antônio II. Título.

CDU 633.15

Ficha catalográfica elaborada por Simone G. Maisonave - CRB 10/1733
Biblioteca Central da UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

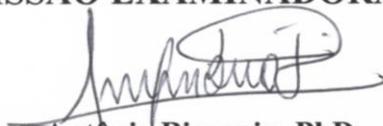
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESCOLHA DE GENITORES E DESEMPENHO AGRONÔMICO
DE HÍBRIDOS DE MILHO**

elaborada por
Paulo Roberto da Silva

como requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Agronomia**.

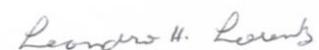
COMISSÃO EXAMINADORA:



Dilson Antônio Bisognin, PhD.
(Presidente/Orientador)



Ana Beatriz Locatelli, Dra. (PIONEER)



Leandro Homrich Lorentz, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 29 de fevereiro de 2012.

Aos meus pais Nelson e Vilma,
e à minha esposa Kleise,

Dedico...

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e saúde.

Aos meus pais Nelson Boff da Silva e Vilma da Silva, pelo amor, carinho, apoio, princípios e ensinamentos.

A minha esposa Kleise da Silva Paiva, pelo amor, carinho, apoio incondicional a realização desse curso e compreensão da ausência em alguns momentos.

Ao meu irmão Alexandre, minha irmã Ana Paula e meu “amigão” Arthur pela amizade, apoio e convívio.

Ao professor Dilson Antônio Bisognin, pela orientação, amizade, confiança e contribuição para minha formação intelectual e científica.

Ao professor Lindolfo Storck, pela amizade, co-orientação e ajuda na realização das análises estatísticas.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo conhecimento a mim transferido.

À pesquisadora Ana Beatriz Locatelli, pela amizade, co-orientação e contribuição para minha formação.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e à empresa Du Pont do Brasil S.A. – Divisão Pioneer Sementes, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao colega de trabalho Roger Luis Weiser, pela ajuda e dedicação na condução dos experimentos.

Aos amigos do Departamento de Fitotecnia Maurício, Carina e Francisco, pelo apoio, ajuda, convívio e amizade.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para o meu crescimento, seja ele acadêmico ou pessoal, e não estão nominalmente citados, meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ESCOLHA DE GENITORES E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE HÍBRIDOS DE MILHO

AUTOR: PAULO ROBERTO DA SILVA

ORIENTADOR: DILSON ANTÔNIO BISOGNIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de fevereiro de 2012.

A cultura do milho tem papel fundamental na agricultura brasileira, devido à importância econômica e social para o país. O rendimento de grãos vem aumentando gradativamente ao longo dos anos, em parte, graças ao melhoramento genético. Os objetivos deste trabalho foram avaliar o comportamento de alguns caracteres agronômicos em genitores e em seus híbridos simples e recíprocos e a relação destes caracteres com o rendimento de grãos e a densidade de plantas; e estudar o desempenho de híbridos de milho em ambientes manejados para altos níveis de rendimento, através da análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A primeira parte do trabalho foi conduzida em área experimental localizada no município de Cruz Alta/RS, no ano agrícola 2010/2011. Foram estudados cinco genitores endogâmicos e oito híbridos simples sintetizados a partir dos genitores. Os experimentos foram conduzidos em um trifatorial (genótipos x densidades x épocas de semeadura) em blocos completos ao acaso, com quatro repetições. As avaliações realizadas foram: altura média de planta, índice de área foliar, índice de espiga, massa de mil grãos, grãos por espiga e rendimento de grãos. A heterose foi obtida em relação à média dos genitores. Na segunda parte do trabalho, 48 ambientes foram utilizados para a avaliação do rendimento de grãos de dez híbridos de milho. O comportamento dos híbridos foi estudado em função do rendimento médio nos ambientes inferiores e/ou superiores, das estimativas dos parâmetros da equação bi-segmentada descontínua, e da qualidade do ajustamento. A densidade de plantas foi uma prática de manejo muito importante para maximizar o rendimento de híbridos de milho e as estimativas de heterose comprovaram que os genitores possuem uma maior tolerância ao aumento da densidade de plantas do que os híbridos. O potencial de rendimento dos híbridos foi influenciado pela capacidade específica de combinação e houve efeito recíproco para os caracteres altura de planta, índice de área foliar, massa de grãos, grãos por espiga e rendimento de grãos. Dependendo do caráter, o efeito recíproco foi controlado pelo genitor masculino ou pelo feminino, ou seja, não houve um comportamento padrão. Se não houver efeito recíproco, pode-se escolher o genitor feminino de maior rendimento de sementes para um determinado cruzamento, caso contrário, o genitor deve ser escolhido de acordo com a melhor combinação específica. Houve estabilidade fenotípica muito boa em híbridos simples, de alto potencial produtivo. A adaptabilidade e estabilidade são intrínsecas a cada combinação híbrida.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Cruzamentos recíprocos. Efeito recíproco. Caracteres agronômicos. Adaptabilidade. Estabilidade.

ABSTRACT

Master Thesis
Graduate Program of Agronomy
Federal University of Santa Maria

CHOOSING PARENTS AND AGRONOMIC PERFORMANCE OF CORN HYBRIDS

AUTHOR: PAULO ROBERTO DA SILVA

ADVISER: DILSON ANTÔNIO BISOGNIN

Place and Date of defense: Santa Maria, February 29th, 2012.

Corn crop is essential for Brazilian agriculture, due to economic and social importance for the country. Grain yield has been increasing gradually over the years, in part due to genetic gain from selection. The objectives of this work were to evaluate the behavior of some agronomic traits in parents and their single-cross hybrids and reciprocals, and the relationship of these characters with grain yield and plant density; and to study the performance of corn hybrids in high yield environments based upon the analysis of phenotypic adaptability and stability. The first part of the work was conducted in an experimental field in Cruz Alta/RS, during 2010/2011 growing season. Five inbred parents and eight hybrids synthesized from the inbred lines were evaluated. The experiments were carried out in a factorial (genotype x densities x planting dates) in a randomized complete block design with four replications. The evaluations were: plant height, leaf area index, ear index, thousand grain weight, number of grains per ear and grain yield. Heterosis was obtained from the parent's average. In the second part of the work, 48 environments were used to evaluate the grain yield from ten maize hybrids. The hybrid's behavior was studied according to the average yield in poor and/or high-quality environments, the parameters estimates of the discontinuous bi-segmented equation, and the equation adjustment. The plant density was an important management practice to maximize the maize hybrids yield and heterosis estimates showed that the inbreds have a higher tolerance to increased plant density. The yield potential of hybrids was influenced by the specific combining ability and reciprocal effect was observed for the traits plant height, leaf area index, grain weight, number of grains per ear and grain yield. The reciprocal effect was randomly controlled, sometimes by male or female parent, thus there was not a standard behavior for all traits. If there is no reciprocal effect, we can choose the female parent with higher seeds yield for a particular cross, otherwise, the parent needs to be chosen according to the best specific combination. There was a really good phenotypic stability in single-cross hybrids, with high yield potential. Adaptability and stability characteristics are intrinsic from each hybrid combination.

Key words: *Zea mays* L. Reciprocal crosses. Reciprocal effect. Agronomic traits. Adaptability. Stability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Rendimento médio de milho e os principais tipos de híbridos utilizados nos Estados Unidos, de 1880 a 2011 (USDA-NASS, 2012)..... 21
- Figura 2 - Rendimento médio de milho e os principais tipos de híbridos utilizados no Brasil, de 1981 a 2010 (CONAB, 2012)..... 22
- Figura 3 - Tipos de híbridos de milho mais utilizados no Brasil nos últimos anos. Adaptado de Kleffmann Group, 2010..... 23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento em cada época de semeadura, no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	39
Tabela 2 - Quadro de análise de variância de 13 genótipos de milho em dois ambientes e quatro densidades de plantas, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	42
Tabela 3 - Sigla, graus de liberdade, e descrição das comparações realizadas	42
Tabela 4 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) referente aos caracteres estudados: altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), índice de espiga (IE), massa de mil grãos (MG), grãos por espiga (GE) e rendimento de grãos (RG), em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	44
Tabela 5 - Média dos caracteres em dois ambientes e 13 genótipos, nas densidades de 50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	45
Tabela 6 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) da heterose em relação à média das populações genitoras (H_{MP}), referente aos caracteres estudados: altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), índice de espiga (IE), massa de mil grãos (MG), grãos por espiga (GE) e rendimento de grãos (RG), em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	53
Tabela 7 - Efeito recíproco da heterose nos caracteres de acordo com as médias dos oito híbridos simples e recíprocos nos dois ambientes e quatro densidades de plantas, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	53
Tabela 8 - Comparação entre as heteroses médias em dois ambientes e quatro densidades de plantas, para quatro grupos pré-determinados de híbridos, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	54
Tabela 9 - Comparação entre as heteroses médias de dois ambientes e quatro densidades de plantas, para os oito híbridos simples e recíprocos, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	55
Tabela 10 - Heterose média para os caracteres de oito genótipos em dois ambientes, nas densidades de 50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	56
Tabela 11 - Comparação das médias dos cinco genitores com as médias dos oito híbridos para cada caractere estudado, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	57

Tabela 12 - Efeito recíproco dos caracteres de acordo com as médias dos oito híbridos simples e recíprocos nos dois ambientes e quatro densidades de plantas, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	57
Tabela 13 - Efeito recíproco (ER) nos caracteres avaliados do genitor P1 quando fêmea (1) e quando macho (2) (1=feminino; 2=masculino), dentro de cada densidade de plantas (50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare), em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	58
Tabela 14 - Comparação entre as médias de dois ambientes e quatro densidades de plantas, para os oito híbridos simples e seus recíprocos, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	59
Tabela 15 - Comparação entre as médias dos caracteres dos cinco genitores utilizados no ensaio em dois ambientes e quatro densidades de plantas, conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.....	60
Tabela 16 - Estado, município, latitude, longitude e altitude das áreas que compõe cada local onde foram conduzidos os ensaios de milho.....	67
Tabela 17 - Nome comercial, tipo de híbrido, ciclo e empresa produtora de sementes dos dez híbridos de milho.....	67
Tabela 18 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R^2) e variância dos desvios ($\hat{\sigma}_{\alpha}^2$) do modelo bi-segmentado descontínuo para dez híbridos de milho em 48 ambientes.....	70
Tabela 19 - Estado, município, ano, rendimento médio (RM), índice ambiental (IA) e coeficiente de variação (CV) nos 48 ambientes em que os ensaios de competição foram conduzidos.....	71
Tabela 20 - Estimativas dos parâmetros do modelo bi-segmentado descontínuo, média geral (MG), média nos ambientes inferiores (MI) e média nos ambientes superiores (MS), em $t\ ha^{-1}$, referentes aos dez híbridos de milho.....	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 OBJETIVOS	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Importância econômica do milho	17
3.2 Melhoramento genético de milho	20
3.3 Densidade de plantas e caracteres agronômicos no milho	25
3.4 Efeito recíproco	28
3.5 Heterose	29
3.6 Interação genótipo x ambiente	31
4 CAPÍTULO I – ANÁLISE DE CARACTERES AGRONÔMICOS E ESCOLHA DE GENITORES EM CRUZAMENTOS RECÍPROCOS	37
4.1 Introdução	37
4.2 Material e métodos	38
4.3 Resultados e discussão	43
4.4 Conclusões	62
5 CAPÍTULO II - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO SOB MANEJO PARA ALTO RENDIMENTO ...	64
5.1 Introdução	64
5.2 Material e métodos	66
5.3 Resultados e discussão	69
5.4 Conclusões	77
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

Abrangendo uma área estimada de 15,32 milhões de hectares cultivados e uma produção nacional de 60,83 milhões de toneladas de grãos na safra 2011/12 (CONAB, 2012), a cultura do milho (*Zea mays* L.) tem papel fundamental na agricultura brasileira. Presente desde propriedades onde o cultivo é para subsistência, até propriedades com adoção do mais elevado nível de tecnologia, os resultados de rendimento vem aumentando gradativamente ao longo dos anos. A adoção da transgenia, com um primeiro evento (Bt) aprovado em 2008 no Brasil, deverá contribuir para elevar ainda mais o rendimento no Brasil.

Os principais fatores ambientais que contribuem para o crescimento e o desenvolvimento da cultura são o calor e a umidade (regime hídrico). Assim, o milho necessita de calor e umidade adequada, uma vez que é uma cultura de origem tropical. Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais como as variações na disponibilidade térmica e de radiação solar, exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho.

A temperatura do ar é o elemento meteorológico que melhor explica a duração dos períodos de desenvolvimento desta cultura, havendo relação linear entre a duração destes períodos e o desenvolvimento da planta (LOZADA; ANGELOCCI, 1999). O ciclo de desenvolvimento pode ser resumidamente descrito pelas fases vegetativa, reprodutiva e de formação e enchimento de grãos. A duração de cada uma dessas fases depende da cultivar, da fertilidade do solo e da época de semeadura, além de fatores ambientais como a temperatura e a disponibilidade hídrica (BERNARDON, 2005) sendo que, como já mencionado, a temperatura é a principal variável climática que determina a duração dos eventos fenológicos da planta (ALMEIDA, 2007). Sendo assim, relatos da duração do ciclo em dias são inconsistentes, já que em cada local e época de semeadura, ocorrem variações de temperatura. Para contornar esse problema, a soma térmica em graus-dia, que mede o acúmulo térmico acima da temperatura base da cultura num determinado período, tem sido amplamente utilizada para estimar o ciclo. Para o milho, a temperatura base é de 10°C, abaixo da qual a cultura diminui muito o metabolismo e não cresce. Temperaturas acima de 30°C também paralisam o crescimento do milho, devido à elevada taxa de respiração. Assim, o acúmulo térmico em graus-dia é calculado com base no intervalo de temperaturas entre 10 e 30°C. Períodos com temperaturas fora desse intervalo não são contabilizados para o cálculo da soma térmica.

A disponibilidade de água também tem papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas de milho, assim como em outros vegetais. Praticamente todos os processos metabólicos, que envolvem o crescimento e o desenvolvimento do milho, são dependentes da água, por isso sua importância. A necessidade hídrica do milho varia de acordo com a fase de desenvolvimento e é maior nos estádios de florescimento e de enchimento de grãos, devido às diferenciações que ocorrem de forma muito mais rápida nessas fases. Portanto, pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início de enchimento de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004).

Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento. Assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que poderá garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos. Por outro lado, se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, ou seja, da pré-floração ao início do enchimento de grãos, a recuperação da capacidade produtiva da cultura poderá não ocorrer de forma satisfatória (MORIZET; TOGOLA, 1984). Nesses estádios fenológicos, o milho é extremamente sensível ao déficit hídrico, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (ZINSELMEIER; WESTGATE; JONES, 1995), além da elevada transpiração, decorrente da máxima área foliar e da elevada carga energética proveniente da radiação solar.

A utilização da irrigação suplementar à precipitação, no período crítico da cultura, torna-se uma prática de manejo importante para minimizar as perdas de rendimento em situações de déficit. O adequado suprimento hídrico, próximo ao pendoamento-espigamento do milho, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados (BERGAMASCHI et al., 2004). Existem argumentos de que a prática de irrigação suplementar demandaria grande disponibilidade de água (mananciais) e elevados custos de implantação dos sistemas, criando alguns empecilhos na adoção da prática da irrigação em milho (BERGAMASCHI et al., 2006). No entanto, há aumento significativo na eficiência de uso da água (redução de custos), se a irrigação for feita somente no período crítico, com doses de rega entre 60 e 80% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo (BERGONCI et al., 2001).

O milho, por ser uma planta de metabolismo C₄, apresenta características fisiológicas favoráveis, de acordo com a eficiência da conversão do gás carbônico da atmosfera em compostos orgânicos como o carboidrato (DEMÉTRIO, 2008). Isso ocorre porque no

processo fotossintético destas plantas, o gás carbônico (CO_2) é continuamente concentrado nas células da bainha vascular das folhas (fonte) sendo redistribuído para locais onde serão estocados ou metabolizados (dreno). Essa relação fonte-dreno pode ser alterada pelas condições de solo, clima, estágio fenológico e nível de estresse da cultura. Ao redor do período da antese, geralmente a produção de fotoassimilados do milho é maior que aquela demandada pelos órgãos reprodutivos (DUNCAN, 1975), sendo o seu excesso armazenado como reserva, principalmente nos colmos e bainhas.

Posteriormente, durante o período de crescimento intenso dos grãos, se a produção de fotoassimilados for insuficiente para atender a demanda dos grãos, as reservas podem ser remobilizadas e utilizadas como fonte suplementar (MACHADO et al., 1982; TOLLENAAR, 1977). Desta forma, o colmo é uma importante estrutura de armazenamento temporário de açúcares nas primeiras semanas após a fertilização dos grãos, quando a capacidade fotossintética da planta é máxima e a demanda da espiga por fotoassimilados é pequena (RUGET, 1993; TOLLENAAR, 1977). Pode-se então dizer que o eficiente transporte de materiais produzidos e acumulados nas folhas, em direção aos grãos em formação, é de grande importância para garantir altos rendimentos. No entanto, havendo um dreno forte, é possível alcançar rendimentos satisfatórios mesmo com efeito da competição intra e interespecífica das plantas, causada pelo aumento da densidade populacional e diminuição do espaçamento entre as linhas, mediante a redistribuição de assimilados acumulados em outros órgãos da planta. Neste contexto, os colmos são estruturas modeladoras de grande importância para a definição do rendimento dos grãos quando a planta passa por qualquer tipo de estresse na fase reprodutiva (RAJCAN; TOLLENAAR, 1999). Isso significa dizer que o colmo pode atuar como órgão equilibrador da limitação de fonte, promovendo a remobilização dos carboidratos de reserva armazenados até o início do enchimento dos grãos.

O rendimento de grãos do milho, no entanto, é um complexo que depende de fatores genéticos, ambientais e de manejo. Dessa forma, o potencial produtivo do milho pode ser melhor explorado pela adoção e implementação criteriosa de aspectos técnicos como a escolha de genótipos melhores adaptados às condições de cultivo, a época de semeadura preferencial para a região, o emprego de espaçamento e densidade de semeadura que proporcionem populações de plantas compatíveis com a tecnologia empregada, o controle eficiente de plantas daninhas e o manejo adequado do solo (PALHARES, 2003).

Devido às características da espécie, alógama de elevada heterose, o que possibilita a sua exploração comercial em cruzamentos controlados, o milho têm sua produção de sementes em grande parte oriunda de empresas multinacionais, com destaque no Brasil para a

Monsanto, a Du Pont do Brasil S.A. - Divisão Pioneer Sementes, a Dow Agrosiences e a Syngenta. Isso ajuda explicar o fato de se concentram os programas de melhoramento de milho do Brasil, principalmente nessas instituições privadas, com pouca participação de instituições públicas, como a Embrapa.

Em programas de melhoramento, geralmente um genótipo é desenvolvido e conduzido até o final do processo, direcionado para ser genitor masculino ou feminino, mas não ambos. No entanto, há situações em que, devido a dificuldades que o genitor feminino apresenta para ser multiplicado num cruzamento (como baixo rendimento, baixa resistência à doenças ou qualquer que seja outro problema relacionado a fatores intrínsecos e que levam à baixa eficiência de produção), observa-se um aumento considerável dos custos de produção de sementes. Assim, em algumas circunstâncias, um cruzamento que origina um híbrido de milho em fase final de avanço, ou até mesmo em nível comercial, necessita ser invertido, e um genitor que avançou como fornecedor de pólen (macho) até dado momento, é usado como genitor feminino ou vice-versa. As implicações dessa mudança são pouco compreendidas e podem trazer alterações significativas nos caracteres agronômicos que possivelmente irão afetar o rendimento do híbrido que teve seus genitores invertidos. Portanto, estudos neste tema podem auxiliar os melhoristas na tomada de decisão no momento de inverter os genitores dos híbridos, quando essa ação for necessária.

Assim, as hipóteses que sustentam parte desse trabalho são de que existem caracteres agronômicos nos híbridos simples que são herdados majoritariamente do genitor feminino e outros do genitor masculino; que o rendimento de grãos pode ser afetado quando na combinação recíproca, fundamental para a escolha do genitor masculino e feminino do híbrido; e, que o comportamento da progênie de uma determinada combinação híbrida específica poderá ser diferente do seu recíproco.

Além disso, a existência da interação genótipo x ambiente é determinante para desenvolvimento de novos genótipos, em programas de melhoramento, influenciando o ganho de seleção e dificultando a recomendação de genótipos com ampla estabilidade. Por isso, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais torna-se possível a identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações ambientais em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Notadamente, nos últimos anos a agricultura brasileira tem experimentado um sistema de produção com a adoção de tecnologias de ponta para manejo de pragas e doenças, utilização de maiores quantidades de fertilizantes, e cultivo de genótipos de milho com elevado potencial de rendimento de grãos, principalmente pela valorização e a sabida

importância desse grão. No entanto, a literatura carece de estudos de interações entre genótipos e ambientes e da adaptabilidade e estabilidade de genótipos envolvendo essas condições superiores de manejo, que vem sendo bastante difundidas entre os agricultores brasileiros. Esses estudos, além de auxiliar os produtores, servem de base para os melhoristas na busca e lançamento de novos genótipos.

Sendo assim, um genótipo de milho de elevado potencial genético, cultivado em condições de alto padrão de manejo (irrigação suplementar, adubação, tratamentos culturais) pode ter um comportamento diferenciado ao ser submetido à comparações em diferentes anos e/ou locais. Portanto, também faz-se necessário o estudo de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diversos ambientes, sob condições superiores de manejo visando à obtenção de altos rendimentos, sob hipótese de que os híbridos responderão de forma diferenciada quando cultivados em diferentes ambientes com elevada tecnologia de manejo.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- a) avaliar o comportamento de caracteres agronômicos nos genitores e em seus híbridos simples e os recíprocos, que envolvem um genitor elite do Programa de Melhoramento, o qual chamamos de P1, bem como a relação dos caracteres com a densidade de plantas;
- b) determinar a heterose nos híbridos e relacioná-la com o efeito recíproco;
- c) entender as implicações geradas quando se inverte os genitores de um híbrido de milho e obter subsídios para escolher o genitor masculino e feminino de um determinado cruzamento; e
- d) descrever a variação do rendimento de grãos obtido de híbridos simples e triplos de milho em relação à ambientes manejados para altos níveis de rendimento, através da análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância econômica do milho

Se consideradas as dimensões mundiais, o milho é cultivado entre as latitudes 58° Norte e 40° Sul, nas mais diversas altitudes, encontrando-se desde localidades situadas abaixo do nível do mar até regiões com mais de 2.500 m de altitude (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Em função do rendimento de grãos, composição química e valor nutritivo, a cultura do milho é uma das mais importantes no mundo (FANCELLI; DOURADO NETO, 1996), sendo utilizado na alimentação animal na forma in natura (silagem) e na forma de grãos, este último utilizado na alimentação de aves e suínos, sendo que o Brasil é o maior exportador mundial de carnes de aves. Fornece também produtos para a alimentação humana (amido, farinha, óleo, etc.) e matérias-primas para a agroindústria, principalmente devido à quantidade de reservas acumuladas nos grãos (DEMÉTRIO, 2008).

Dentre os cereais cultivados no mundo, o milho coloca-se em segundo lugar, sendo superado apenas pelo trigo. A importância desse cereal não se restringe ao fato de ser produzido em grande volume e sobre imensa área cultivada, mas, também, pelo papel sócio-econômico que representa. É usado diretamente na alimentação humana e de animais domésticos, que em última análise chegam à nossa mesa na forma de carne, ovos, leite, queijos, etc. Constitui matéria-prima básica para uma ampla série de produtos industrializados, criando e movimentando grandes complexos industriais, onde milhares de empregos são gerados. Na atividade agrícola, ou seja, na produção propriamente dita, centenas de milhares de pessoas encontram seu sustento, número este grandemente aumentado se levarmos em consideração as pessoas envolvidas no transporte, armazenamento e comercialização desse cereal. Por outro lado, se atentarmos para os elementos necessários à produção, encontra-se grandes indústrias de máquinas, fertilizantes e defensivos, que tem sua atividade em grande parte orientada em função da produção do milho.

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

também assume importante papel econômico para o milho nos Estados Unidos, onde cerca de 37% do total produzido no ano de 2010, foi destinado para essa finalidade (USDA-NASS, 2012).

O mercado mundial de milho é abastecido principalmente por dois países: os Estados Unidos e a Argentina. O Brasil participa deste mercado, porém, a instabilidade cambial e a estrutura deficiente de transporte até os portos, têm prejudicado o País na presença mais constante no comércio internacional de milho. Além disso, o Brasil utiliza grande parte do milho que produz para consumo interno, com destaque para a cadeia produtiva de carne de aves, suínos e bovinos. Portanto, para tornar-se grande exportador, se faz necessário melhorar a infra-estrutura de transporte e aumentar a produção do grão no País.

Por ser uma das plantas mais eficientes na conversão de energia radiante em fitomassa (FANCELLI, 2000), o milho é importante para o Brasil, que está situado em uma região tropical, fato que facilita o aproveitamento da luz solar. Outro ponto relevante é aproveitar o grande potencial que a espécie tem para a alimentação, já que uma parcela representativa da população brasileira ainda vive em condições de desnutrição. No Brasil, o milho destaca-se pela grande quantidade produzida, sendo superado apenas pela cultura da soja (SOUZA; BRAGA, 2004). Na safra 2010/2011, a produção mundial de milho foi de 827 milhões de toneladas. O Brasil produziu 57,5 milhões de toneladas do grão nesta safra (milho total: primeira e segunda safra), sendo o terceiro maior produtor mundial, depois dos Estados Unidos (primeiro lugar) e China (segundo lugar) (USDA, 2012).

O milho é cultivado em praticamente todo o território brasileiro, sendo que na safra 2011/2012, cerca de 88% da produção total se concentrou na região Centro-Sul do País (CONAB, 2012). Historicamente, devido ao baixo preço de mercado do milho, os custos de transporte afetam muito a remuneração da produção obtida, principalmente em regiões distantes dos pontos de consumo, reduzindo o interesse no deslocamento da produção a maiores distâncias ou em condições em que a logística de transporte é desfavorável, segundo Matoso et al. (2006).

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

visando o aproveitamento das chuvas remanescentes antes do período da seca, com predomínio na região Centro Oeste e nos estados de Paraná e São Paulo. Essa modalidade de cultivo tem adquirido importância nos últimos anos em consequência das poucas alternativas econômicas viáveis para a safra de outono/inverno, constituindo-se em instrumento fundamental para o complemento no abastecimento do milho no País (SHIOGA; OLIVEIRA; GERAGE, 2004). Atualmente, a produção de milho safrinha alcança patamares muito elevados, sendo previsto que 42,4% do total produzido no Brasil na safra 2011/2012, seja oriundo da safrinha (CONAB, 2012). Apesar de apresentar um potencial produtivo menor que a do milho semeado na primeira safra (DUARTE, 2004), nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná, a produção na safrinha já é a principal.

No caso específico do Rio Grande do Sul, a área cultivada com milho é estimada pela Conab (2012) na safra 2010/11, foi de 1,1 milhões de hectares, com rendimento médio de 5255 Kg ha⁻¹. A semeadura do milho se concentra nos meses de agosto e setembro, e continua até meados de fevereiro, em proporções muito menores, sendo que não há uma divisão clara entre safra normal e safrinha. A maior área de safrinha no RS está situada nos locais onde se concentra o cultivo de fumo no estado, sendo o milho semeado após a colheita do fumo, na região conhecida como Vale do Rio Pardo, na encosta inferior do nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Nas demais regiões, a semeadura tardia de milho é voltada para fins de produção de silagem, principalmente nas regiões produtoras de leite, com destaque para o Noroeste do estado. Por apresentar área reduzida, a safrinha no RS não é contabilizada pela Conab, mas estima-se que a área de safrinha no estado seja em torno de 50 mil hectares.

A cultura do milho tem apresentado importantes mudanças tecnológicas, com aumentos significativos no rendimento de grãos (RAIJ et al., 1996). Nos últimos 20 anos, a área brasileira cultivada com milho praticamente se manteve estagnada e os ganhos de produção se devem ao aumento do rendimento de grãos, com destaque para a região do Cerrado (SOUZA; BRAGA, 2004). Conforme o quinto levantamento de intenção de plantio de grãos, realizado em fevereiro de 2012, a previsão para a safra 2011/2012 (milho total), é que sejam produzidas em torno de 60,8 milhões de toneladas em 15,3 milhões de hectares, obtendo rendimento médio de 3970 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012), representando um aumento significativo da ordem de 11% na área cultivada, em relação à safra anterior (2010/2011).

Em contraste com a produção total, o rendimento de grãos médio nacional é muito baixo quando comparado aos rendimentos superiores a 15.000 kg ha⁻¹ obtidos por Argenta et al. (2003), Forsthofer (2004) e por Sangoi et al. (2003) em trabalhos de pesquisa conduzidos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ou aos rendimentos de 10.000 a 12.000 kg

ha⁻¹ registrados em lavouras comerciais conduzidas sob alto nível de manejo, no estado de Paraná. Algumas lavouras brasileiras chegam a ultrapassar o rendimento médio de grãos obtido pelos Estados Unidos na safra 2005, que foi de 9.947 kg ha⁻¹ (CARVALHO, 2007).

O rendimento médio de grãos do milho nacional não reflete o bom nível tecnológico já alcançado por boa parte dos agricultores brasileiros voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos, finalidades e nível tecnológico (DEMÉTRIO, 2008). De modo geral, o resultado do baixo rendimento de grãos das lavouras de milho no Brasil tem sido atribuído a densidade inadequada de plantas por unidade de área, a fatores ligados à fertilidade do solo e ao arranjo espacial de plantas, a desuniforme profundidade de semeadura e ao uso de genótipos inadequados para a região (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; SANGOI et al., 2006).

3.2 Melhoramento genético de milho

No âmbito mundial, fazendo referência aos Estados Unidos, onde iniciaram-se os principais programas de melhoramento de milho, os primeiros híbridos duplos foram lançados entre os anos de 1920 e 1930 e superavam as variedades de polinização aberta. A partir de então, o rendimento, que estava estagnado, aumentou consideravelmente. Por volta dos anos de 1960, quando os híbridos simples foram disponibilizados aos agricultores, verificaram-se incrementos ainda maiores, evidenciando o êxito com a utilização de híbridos de milho na agricultura norte-americana (Figura 1).

Atualmente, o rendimento médio de milho nos Estados Unidos é da ordem de 10.000 kg ha⁻¹, ou seja, muito superior ao rendimento médio no início do século XX. Esse enorme sucesso tem sido atribuído, em grande parte, ao melhoramento genético. Alguns pesquisadores quantificaram que mais de 50% dos ganhos em rendimento observados, se devem à inclusão das cultivares híbridas no sistema produtivo (DUVICK, 2005; TROYER, 1999).

O primeiro programa de milho híbrido no Brasil teve início no Instituto Agrônomo de Campinas, em 1932. A partir desta pesquisa, Krug e colaboradores produziram, no mesmo ano, o primeiro híbrido duplo brasileiro (SANTOS, 2009). O intercâmbio de material genético com pesquisadores de várias regiões do País foi amplo no início do século XX. Naquele

período, também foram introduzidos genótipos de outros países, especialmente dos Estados Unidos, que serviram de base para o desenvolvimento de populações mais produtivas que as antigas populações crioulas. Este intercâmbio genético resultou em incremento do rendimento de grãos devido à melhoria das características morfo-fisiológicas da planta. A principal delas foi a maior uniformidade entre plantas, especialmente em estatura, altura de inserção da espiga e tamanho de espiga. Dessa maneira tornou-se possível a utilização de densidades um pouco mais altas que as anteriores, o que elevou os rendimentos de grãos (MUNDSTOCK, 2005).

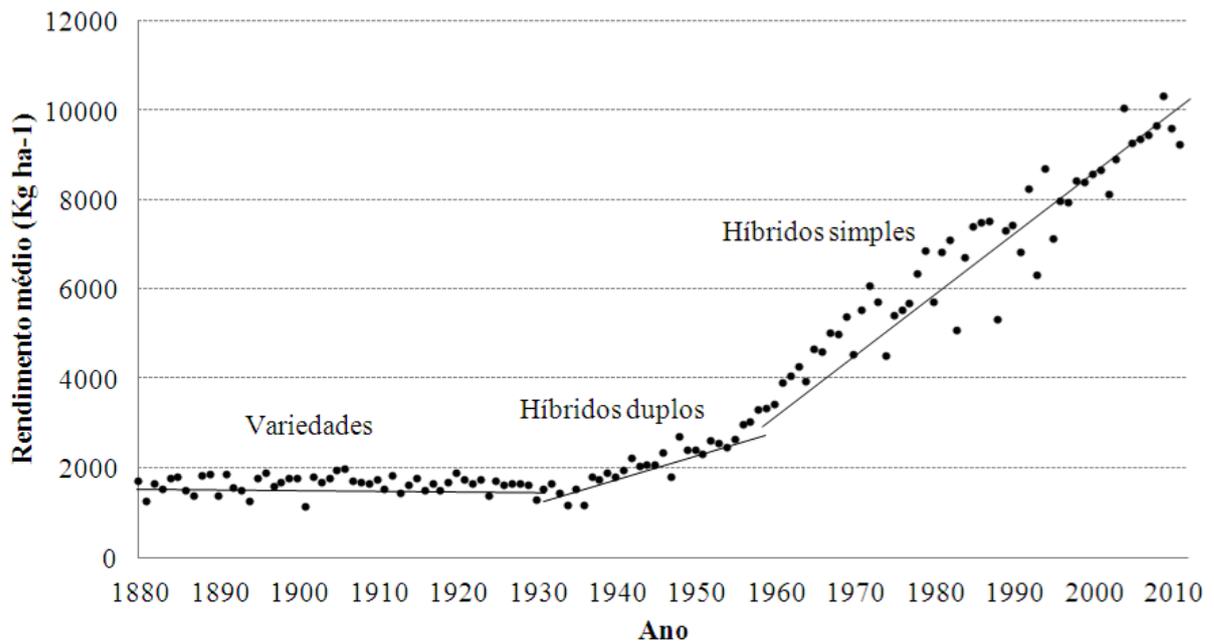


Figura 1 – Rendimento médio de milho e os principais tipos de híbridos utilizados nos Estados Unidos, de 1880 a 2011 (USDA-NASS, 2012).

O estado de Rio Grande do Sul (RS) foi um dos pioneiros na revolução do melhoramento genético pela introdução comercial de híbridos duplos de milho, que teve início na década de 1950, sendo que o estado contava com dois programas de melhoramento. Um deles foi o da Secretaria de Agricultura do RS, na Estação Experimental no município de Veranópolis. O outro pertencia à empresa Agrocere, no município de Não Me Toque. Os híbridos AG ainda continuam sendo muito cultivados nas principais regiões produtoras de milho no Estado. No entanto, as décadas de 1980 e 1990 foram marcadas pela desativação do programa de produção de milho híbrido da Secretaria de Agricultura do RS e o ingresso de

empresas privadas no mercado de sementes de milho. Na segunda metade da década de 1990, foram disponibilizados os primeiros híbridos simples e triplos de alto potencial de rendimento, pois os primeiros híbridos simples, introduzidos no final da década de 1980, não apresentavam maiores vantagens sobre os bons híbridos duplos então disponíveis. A mudança na visão estratégica das empresas ao introduzirem híbridos simples adaptados às condições de ambiente do RS, especialmente aos tipos de solo, aos estresses de água e de temperatura, responsivos à adubação química e a altas densidades de plantas, possibilitou a obtenção de rendimentos de grãos acima de 10 t ha^{-1} , a nível de lavoura (MUNDSTOCK, 2005).

O benefício dos programas de melhoramento de milho no Brasil pode ser comprovado pelos resultados apresentados na figura 2, envolvendo dados de rendimento e tipos de híbridos utilizados. Fazendo uma analogia com o que aconteceu nos Estados Unidos em décadas anteriores, o rendimento médio anual brasileiro vinha estável até a década de 1990, a partir da qual, intensificaram-se o uso de híbridos duplos e triplos, gerando ganhos significativos. Depois do ano de 2000, quando os híbridos simples ganharam mais espaço na agricultura brasileira, os rendimentos vêm aumentando significativamente ano após ano (Figura 2).

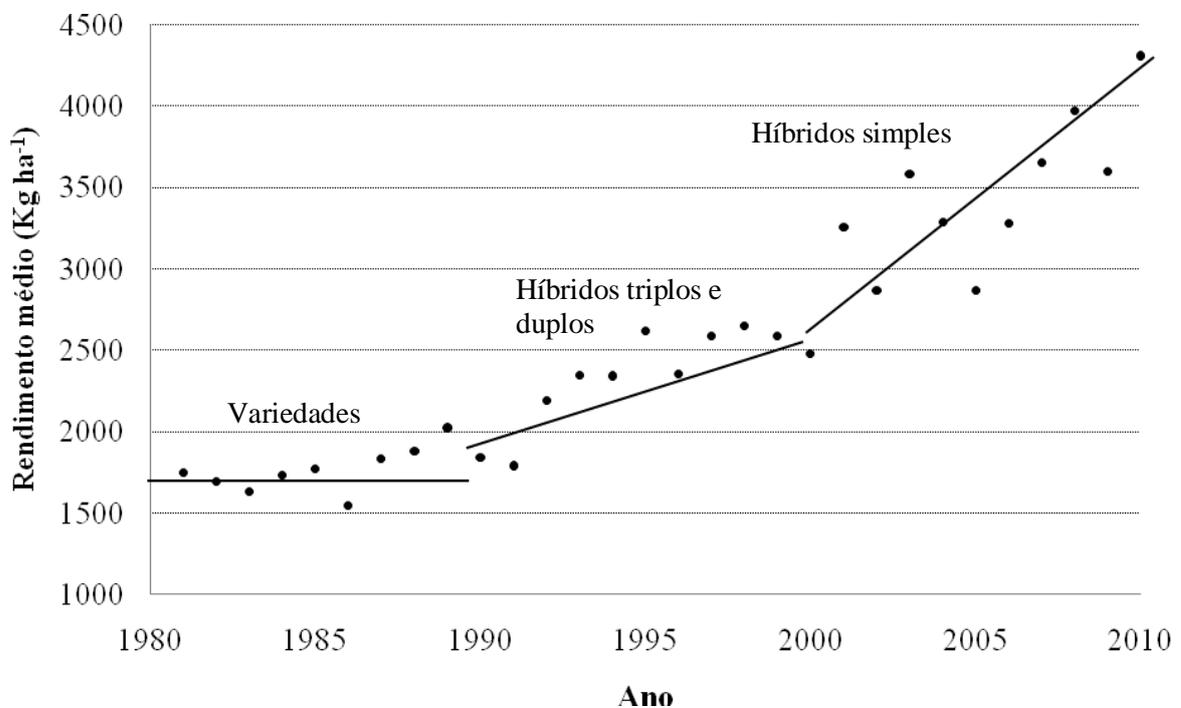


Figura 2 - Rendimento médio de milho e os principais tipos de híbridos utilizados no Brasil, de 1981 a 2010 (CONAB, 2012).

Dessa forma, acompanhando a tendência do mercado, os melhoristas de milho estão voltados cada vez mais a desenvolver cultivares de híbridos simples, os quais estão se perpetuando rapidamente entre os agricultores brasileiros. Uma pesquisa encomendada pela Du Pont do Brasil S.A. - Divisão Pioneer Sementes à empresa de consultoria Kleffmann & Partner Comércio e Assessoria Mercadológica e Representação (KLEFFMANN GROUP, 2010), indica que mais de 60% dos híbridos comercializados no Brasil no ano de 2008, foram híbridos simples, e que os demais tipos de híbridos (duplos, triplos e variedades) demonstram perda de aceitação por parte dos agricultores no mercado brasileiro (Figura 3).

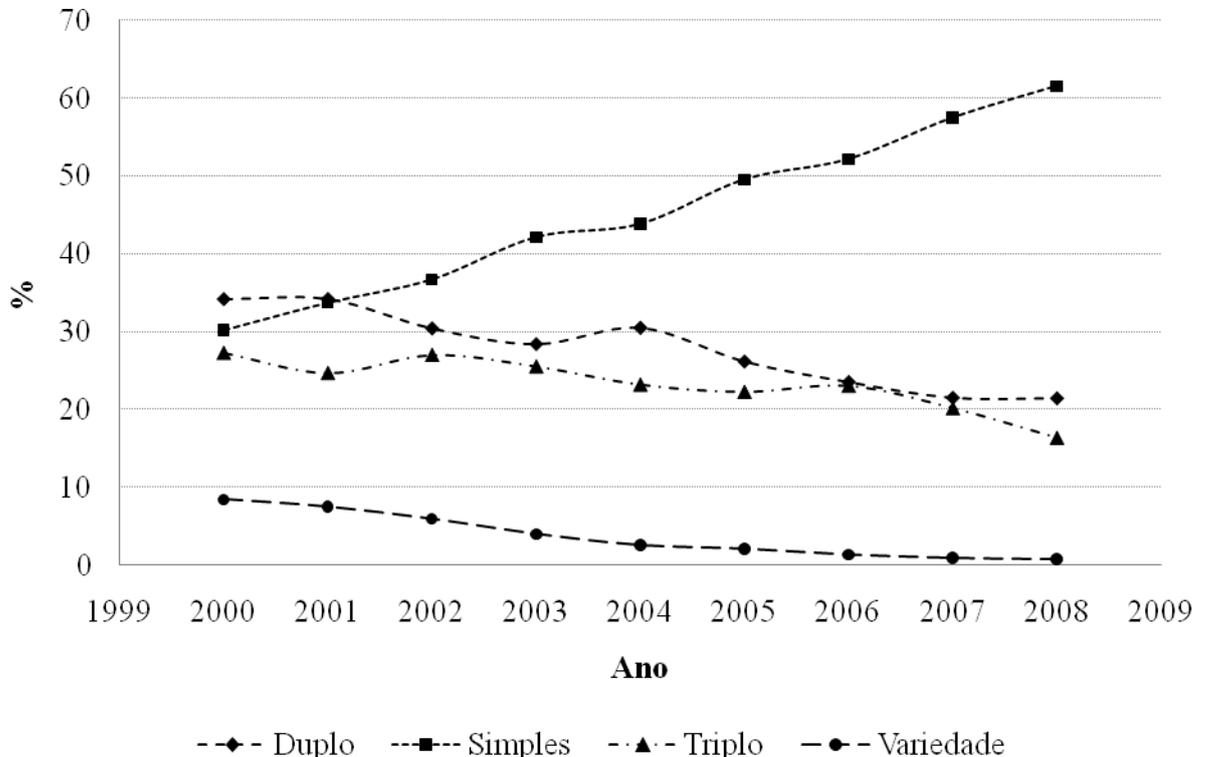


Figura 3 - Tipos de híbridos de milho mais utilizados no Brasil nos últimos anos. Adaptado de Kleffmann Group, 2010.

Freqüentemente, novos programas de melhoramento de milho são iniciados e, para se ter sucesso, é imprescindível partir de populações com desempenho médio elevado e com alta variabilidade genética. Assim, a utilização de híbridos comerciais poderia ser uma boa alternativa, pois são adaptados, apresentam elevado rendimento médio e, provavelmente, concentram alta freqüência de alelos favoráveis, devido ao longo processo de melhoramento e à pressão de seleção durante as etapas de desenvolvimento (PFANNI, 2009). As possíveis

vantagens de se utilizar híbridos estão relacionadas a possibilidade de associar caracteres de interesse que se encontram separados nos genitores e utilizar interações alélicas na geração híbrida para obter cultivares superiores e uniformes em um prazo relativamente curto. (MIRANDA FILHO; VIÉGAS, 1987).

Em programas de melhoramento genético, melhoristas de milho têm a responsabilidade de desenvolver novas cultivares com melhor arquitetura de plantas, alta resistência às doenças e aos insetos, melhor sistema radicular e rendimento superior de grãos (VACARO et al., 2002). Para que os esforços dessa equipe de profissionais tenham sucesso, é essencial uma boa escolha do germoplasma, que resultará em novos genitores e híbridos (JUMBO; CARENA, 2008). O melhoramento genético do milho é muito intenso e voltado, principalmente, para elevar o rendimento de grãos (AGUIAR et al., 2003). No entanto, estudando o ganho genético anual, Storck; Bisognin; Cargnelutti Filho (2005), concluíram que as substituições anuais de cultivares indicadas de milho são dinâmicas e nem sempre resultam em ganho genético para o rendimento de grãos. Essas substituições podem estar associadas a outros caracteres agronômicos de interesse, como por exemplo, resistência à doenças, redução de ciclo, transgenia, entre outros.

De qualquer maneira, a identificação de híbridos superiores é importante para o sucesso de um programa de melhoramento genético de híbridos de milho. A avaliação em nível de campo, de todos os cruzamentos possíveis entre os genitores, exige alto emprego de recursos financeiros e elevada dedicação humana. Por isso, esforços têm sido feitos para prever o desempenho do híbrido, usando dados de campo de genótipos relacionados, além da técnica de marcadores moleculares (SCHRAG et al., 2010).

Um grande desafio para os programas de melhoramento no Brasil surgiu quando efetivada a aprovação do cultivo de plantas de milho geneticamente modificadas, com a liberação do primeiro evento em 2008, pela CTNBio (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança). Plantas geneticamente modificadas são aquelas cujo genoma foi alterado pela introdução do DNA exógeno, que pode ser derivado de outros indivíduos da mesma espécie ou de outra espécie completamente diferente, podendo ser inclusive artificial, isto é, sintetizado em laboratório.

Esse primeiro evento aprovado em 2008 foi um evento denominado Milho Bt, que é o milho geneticamente modificado, no qual foram introduzidos genes específicos da bactéria de solo *Bacillus thuringiensis* que levam à produção de proteínas tóxicas a determinadas ordens de insetos considerados pragas (insetos que causam danos econômicos) para a cultura.

Ainda se discute sobre as vantagens ou necessidades do uso de plantas transgênicas. No entanto, independente de serem avaliados os ganhos reais para a agricultura, existe grande impacto dessa metodologia para o melhoramento genético. A transgenia abre a possibilidade da inserção de genes de interesse produtivo ou qualitativo que antes não estavam disponíveis em uma determinada espécie, aumentando-se assim as perspectivas do melhoramento genético.

Os híbridos transgênicos de milho tem sido desenvolvidos, na sua maioria, de forma a disponibilizar aos produtores novas alternativas de controle de pragas e plantas daninhas. Além disso, diversas instituições de pesquisa estão desenvolvendo variedades geneticamente modificadas com maior qualidade nutricional e com outras características que dificilmente poderão ser obtidas por meio do melhoramento genético clássico (BORÉM; MIRANDA, 2005).

3.3 Densidade de plantas e caracteres agronômicos no milho

Num sistema de cultivo, o arranjo espacial de plantas (forma como as plantas estão distribuídas na área) pode ser manipulado pelas alterações na densidade, no espaçamento entre as linhas e na distribuição de plantas na linha (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI et al., 2001). O estande afeta a arquitetura das plantas, altera o crescimento e o desenvolvimento e influencia na produção de fotoassimilados (ALMEIDA; SANGOI, 1996). Isso ocorre porque o milho não possui mecanismos eficientes de compensação de espaços, pois o perfilhamento é escasso e pouco efetivo, e a capacidade de expansão foliar e prolificidade são limitadas (ANDRADE et al., 1999).

O número de grãos por espiga e a massa de grão não têm plasticidade suficiente para compensar possíveis reduções no número de plantas e, conseqüentemente, de espigas por área, provocadas por densidades inadequadas (EMYGDIO; TEIXEIRA, 2008). As características de perfilhamento pobre e ausência de ramificação, fazem da planta de milho, a poácea mais sensível à variação da densidade de plantas (SANGOI; SILVA, 2005). Por isso, a escolha adequada do arranjo de plantas pode favorecer a interceptação da radiação solar recebida pela cultura.

A elevação do rendimento de grãos, proporcionada pela melhor distribuição das plantas dentro e entre as linhas de semeadura, é atribuída à melhor eficiência na interceptação

de radiação solar e ao decréscimo da competição entre plantas por luz, água e nutrientes, em virtude da distribuição mais equidistante das plantas proporcionando competição mínima pelos fatores de produção (JOHNSON; HOVERSTAD; GREENWALD, 1998; LAÜER, 1994; SANGOI, 2001).

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa exerce grande influência no rendimento de grãos da cultura do milho (MADDONNI; OTEGUI; CIRILO, 2001). O rendimento da cultura pode ser incrementado maximizando a sua eficiência fotossintética (MARCHÃO; BRASIL; XIMENES, 2006). A maximização da eficiência fotossintética poderia ser atingida por elevadas densidades populacionais, que no milho está diretamente relacionada com o maior índice de área foliar, ou seja, em mesmas condições, quanto maior a densidade de plantas, maior será o índice de área foliar, dentro das densidades utilizadas atualmente pelos agricultores brasileiros, que variam de 50 a 80 mil plantas ha⁻¹.

No entanto, a alta densidade populacional causa diversas alterações fisiológicas e morfológicas no milho, com respostas bem diferentes para cada genótipo. Densidades muito elevadas podem reduzir a atividade fotossintética da cultura e a eficiência da conversão de fotoassimilados em produção de grãos, proporcionando uma série de conseqüências negativas para o desempenho agrônômico da cultura. Primeiramente, a diferenciação da espiga é retardada em relação à diferenciação do pendão. Espigas diferenciadas tardiamente apresentam uma taxa reduzida de crescimento, transformando poucos primórdios de espiguetas em flores funcionais durante o florescimento (SANGOI, 2001). Em conseqüência disso, há um aumento de esterilidade feminina e, com isso, uma redução do número de grãos por espiga e do rendimento de grãos (PEREIRA, 2006).

Além do adensamento excessivo aumentar a esterilidade feminina de plantas, há uma maior competição intraespecífica, o que estimula a dominância apical da planta, aumentando o número de plantas sem espiga (FORNASIERI FILHO, 1992). Espigas menores, plantas com maior altura e colmos mais finos são resultantes da utilização de alta densidade de plantas (PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002a) e juntamente com a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo e o solo (ARGENTA et al., 2001), contribuem para o aumento do acamamento (FORNASIERI FILHO, 1992). Esse aumento da estatura de plantas é decorrente da alongação celular devido à menor oxidação das auxinas (RUGET, 1993).

O efeito das diversas densidades de plantas sobre a distribuição e acúmulo de matéria seca nos grãos pode diferir em função da exigência calórica do genótipo para florescer. Híbridos superprecoces, por produzirem uma quantidade de fitomassa menor, são

considerados mais tolerantes ao adensamento do que os híbridos tardios (ALMEIDA; SANGOI, 1996; SANGOI, 2001). Esta afirmação tem sido feita com base no rendimento final da cultura, havendo poucos registros de trabalhos que avaliem os efeitos da variação da densidade sobre a taxa e acúmulo de matéria seca na planta de híbridos contrastantes em ciclo, durante todo o período de enchimento dos grãos. Apesar de ocorrerem ganhos de rendimento de grãos com o aumento da densidade de plantas, normalmente os componentes da produção, como a massa de mil grãos, número de grãos por espiga e índice de espigas (número de espigas por planta) são afetados negativamente (PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), independente do ciclo do híbrido (FLESCHE; VIEIRA, 2004).

Alguns trabalhos mostram que densidades mais elevadas só devem ser recomendadas sob condições de alta precipitação pluvial ou sob irrigação, e com alto nível de manejo (SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999), pois com maior densidade aumenta-se o índice de área foliar e, conseqüentemente, o consumo de água. Enquanto isso, a utilização de densidades menores é recomendada em locais sujeitos ao déficit hídrico e com manejo deficiente. Assim, o incremento na densidade até 90 a 110 mil plantas ha⁻¹ é uma estratégia eficiente para aumentar o potencial de rendimento de grãos de milho cultivado sob alto nível de manejo, com irrigação suplementar em semeadura precoce, na região da Depressão Central do RS (PIANA et al., 2008), condições essas parecidas às utilizadas neste trabalho.

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

De maneira geral, a densidade populacional ótima para um determinado híbrido corresponde ao menor número de plantas por unidade de área que induz o maior rendimento de grãos. Portanto, esses fatores devem ser trabalhados em conjunto, possibilitando melhor utilização da luz, da água e dos nutrientes (RIZZARDI; BOLLER; DALLOGLIO, 1994). Assim, o rendimento de grãos tende a aumentar com a elevação da densidade populacional, até atingir o considerado ponto ótimo, a partir do qual decresce, conforme destacaram Dourado Neto; Fancelli; Lopes (2001).

3.4 Efeito recíproco

Um cruzamento recíproco ocorre quando, os mesmos dois genitores são usados, mas com a inversão da função de feminino e masculino. Cruzamentos recíprocos podem ser facilmente promovidos no milho, por ser uma planta monóica, a qual pode ser usada tanto como genitor masculino (fornecedor de pólen) quanto como genitor feminino. Diferenças entre cruzamentos recíprocos têm sido relatadas por vários pesquisadores para diversos caracteres agrônômicos em diferentes tipos de cultivares de milho, com a finalidade de uso como grão (MANN; POLLMER, 1981; MELCHINGER; GEIGER; SCHNELL, 1985) e como silagem (SEITZ et al., 1995). Talvez as evidências mais convincentes para as diferenças recíprocas foram obtidas por Schnell; Singh (1978) que trabalhando com híbridos de milho, observaram diferença recíproca considerável em vantagem dos híbridos simples produzidos num único cruzamento de genitores, em comparação com suas formas recíprocas. Isso por que essas diferenças podem mais facilmente serem detectadas em combinação simples, devido a maximização da capacidade específica de combinação (CEC).

Geneticistas e melhoristas de milho têm reconhecido os efeitos recíprocos como uma fonte de variabilidade genética (MANN; POLLMER, 1981; SEITZ et al., 1995). No entanto, há pouco consenso na literatura sobre a importância relativa e sistemática da exploração destes efeitos na síntese de novos híbridos em programas de melhoramento. Isso é atribuído ao fato de que as diferenças recíprocas geralmente não são consistentes em ambientes e não há um comportamento uniforme para todos os híbridos testados entre grupos heteróticos (MELCHINGER; GEIGER; SCHNELL, 1985). No entanto, atuais estudos moleculares já poderiam fornecer alguma introspecção de como os efeitos recíprocos são modificados por causas ambientais e genéticas.

Vários fatores genéticos podem contribuir para as diferenças entre cruzamentos recíprocos no milho. Os grãos de milho são formados a partir de três tecidos geneticamente distintos: o pericarpo (tecido materno que compreende apenas as camadas de células mais externas do grão), o endosperma e o embrião. O endosperma é um tecido triploide composto de dois conjuntos de cromossomos, recebidos de cada um dos genitores. O tecido do endosperma tem um papel importante nos primeiros estágios de crescimento e é diferentemente herdado em função do genitor feminino (GONZALO et al., 2007). Fatos como esse, já pode explicar em parte as diferenças encontradas nos híbridos recíprocos.

Quando a herança de um determinado caráter é controlada por genes nucleares, os resultados de um cruzamento e do seu recíproco serão similares. Caso haja efeitos citoplasmáticos, os resultados dos cruzamentos recíprocos serão diferentes, onde o fenótipo dos descendentes será influenciado pelo genitor feminino, que contribuiu com o citoplasma. Dois mecanismos explicam esse tipo de herança: efeito materno, em que a herança é controlada por genes nucleares do parental feminino, independente dos genes doados pelo parental masculino, e dessa forma, o gene nuclear do genitor define o fenótipo dos descendentes; e herança extracromossômica, em que a herança é devido a genes localizados no citoplasma (principalmente mitocôndrias e cloroplastos) (BORDALLO et al., 2005). O efeito materno e a herança extracromossômica são importantes componentes, especialmente quando as características estudadas são maternalmente determinadas. No milho, qualidade de grãos e espigas são exemplos de caracteres que apresentam considerável efeito recíproco, afetados pela herança extracromossômica (JUMBO; CARENA, 2008).

Nesta pesquisa, qualquer diferença encontrada entre o híbrido simples e o seu recíproco será simplesmente denominada de efeito recíproco.

3.5 Heterose

O sucesso do desempenho dos híbridos de milho é, em grande parte, resultado do efeito heterótico, alcançado pelo cruzamento entre genitores que possuem alta capacidade combinatória (GOMES et al., 2000). Por causa da diferença genética entre os genitores, o híbrido apresentará muitos loci em heterozigose, podendo com isso apresentar heterose. Há mais de um século, melhoristas têm conhecimento de que os descendentes de cruzamentos entre indivíduos de diferentes grupos heteróticos, freqüentemente, resultam em vigor híbrido ou heterose, fenômeno do desempenho superior da progênie (GUO et al., 2004). As maneiras mais habituais de se estimar os valores da heterose ou vigor híbrido é através da chamada heterose média, onde a heterose é calculada com base na média dos genitores, ou da heterobeltiose, onde a heterose é determinada sobre o desempenho do melhor genitor. A heterose ocorre sempre que a interação alélica for não aditiva, ou seja, só ocorre se existir dominância, sobredominância ou epistasia. A heterose também é dependente do desempenho dos genótipos heterozigóticos em relação aos homozigóticos, logo só há heterose se existir heterozigose (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

Apesar de muito bem utilizada na produção de alimentos, a heterose é um fenômeno pouco compreendido (MACHADO, 2007). Apesar de sua importância, a base genética da heterose tem sido debatida por quase um século e continua sem uma explicação satisfatória (GARCIA et al., 2008). As principais hipóteses que tentam explicar o fenômeno da heterose são da dominância, da sobredominância e da epistasia. A hipótese da dominância atribui a heterose ao efeito cumulativo de alelos favoráveis com dominância parcial ou completa. A hipótese da sobredominância indica que a heterose é devida a uma ação gênica a qual leva ao desempenho superior do heterozigoto em relação aos seus genitores, que são genótipos homozigotos. Finalmente, a hipótese da epistasia explica heterose com base nas interações entre genes de diferentes locos (SCHÖN et al., 2010).

As evidências empíricas indicam que a heterose é função do papel da dominância parcial e ou dominância completa, porém a conclusão sobre as causas genéticas da heterose é difícil, pois os genes quantitativos envolvidos no controle dos caracteres são ainda pouco conhecidos (MACHADO, 2007). Em trabalho conduzido por Ferro (2008), um modelo genético, incluindo efeitos aditivos, dominantes e epistáticos explicou a maior parte da variação genética para os caracteres avaliados. Os quadrados médios do efeito aditivo foram maiores que os devidos ao efeito da dominância, exceto para a produção de grãos. O mesmo autor ainda relata que, em média, o efeito de dominância foi favorável para a maioria dos caracteres agrônômicos e de qualidade de grãos. De maneira semelhante, estudos revelam que os efeitos aditivos foram mais importantes que os efeitos não aditivos na expressão do caráter *stay-green* (maturação fisiológica da espiga com o restante da planta em retardado processo de envelhecimento, sendo uma característica desejável em híbridos atuais) (COSTA et al., 2008).

Durante o século XX, e no início deste século, muitos dados experimentais foram coletados em relação ao comportamento dos caracteres agrônômicos e da heterose no milho. A magnitude do efeito aditivo, de dominância, dos efeitos epistáticos e variâncias foram estimadas. Os resultados foram inconsistentes, mas em resumo, mais experimentos apoiaram a hipótese de que a heterose é atribuída à ação cumulativa de um grande número de genes dominantes favoráveis (HALLAUER; MIRANDA 1981). Garcia et al. (2008), estudando as bases genéticas da heterose em milho, concluíram que a heterose se dá principalmente devido à ação do gene dominante, embora a sobredominância não pode ser completamente descartada devido à limitações do modelo de estudo. Recentemente, em estudo semelhante, encontrou-se alta correlação entre a heterose e a heterozigose de híbridos em marcadores que confirmam a base genética complexa e o papel da dominância na heterose (LARIÈPE et al., 2011).

Uma compreensão mais profunda da base genética da heterose é esperada com o uso de marcadores moleculares auxiliados por análises genéticas, pois o mapeamento de locos de características quantitativas (QTL) pode ser empregado para elucidar a base genética da heterose, da mesma maneira como marcadores moleculares têm se mostrado útil na identificação de QTLs envolvidos na expressão de caracteres complexos (SCHÖN et al., 2010).

Surpreendentemente, aumentos na heterose não têm sido os principais responsáveis pelos rendimentos alcançados. Alguns trabalhos têm demonstrado que a heterose se manteve constante ao longo dos anos. Dessa forma, o desenvolvimento de híbridos superiores tem sido atribuído ao progresso genético com o melhoramento dos genitores (linhagens) endogâmicos (DUVICK, 2001; TROYER, 2006).

Assim, percebe-se que estamos no início do entendimento dos complexos mecanismos subjacentes à base genética da heterose. A identificação de regiões genômicas envolvidas na manifestação da heterose entre populações dentro de padrões heteróticos estabelecidos, é o ponto de partida para apoiar ou rejeitar algumas das hipóteses genéticas que foram apresentadas pela clássica genética quantitativa e por estudos envolvendo marcadores (SCHÖN et al., 2010). De acordo com o mesmo autor, o próximo passo será a geração de populações experimentais para análises comparativas e específicas de segmentos genômicos dentro e entre diferentes grupos heteróticos e a próxima geração de seqüenciamento deve gerar informações sobre a colinearidade dos genomas, entre e dentro dos grupos heteróticos e, portanto, fornecer informações adicionais sobre os mecanismos genéticos que controlam a heterose.

3.6 Interação genótipo x ambiente

Amplamente manipulado pelos melhoristas, o rendimento de grãos em milho é uma variável resposta que vem sendo estudada há várias décadas. Caracteres como esse, são denominados quantitativos ou poligênicos e com distribuição normal. De maneira geral, tais caracteres são controlados por vários genes, cada um com um pequeno efeito sobre o fenótipo e, com isso, são muito influenciados pelas condições ambientais. O fenótipo, por sua vez, é influenciado pelo genótipo, que é a constituição genética do indivíduo, e pelo ambiente, que pode ser definido como o conjunto das condições externas ao organismo que afetam o

crescimento e desenvolvimento. Contudo, avaliando-se o genótipo em mais de um ambiente, o fenótipo será influenciado por um novo componente, resultante da interação dos genótipos por ambientes. Assim, o fenótipo é definido pela resultante do genótipo, pelo ambiente em que ele se encontra e pela interação genótipo x ambiente. Dessa forma, é fato comum de acontecer, ao se avaliar genótipos em vários ambientes, não se notar um comportamento consistente os mesmos. Isso significa que os efeitos genéticos e ambientais não são independentes, uma vez que as respostas dos genótipos podem diferir com as variações ambientais (SOUZA JÚNIOR; VENCOVSKY, 1989).

Para a determinação da interação genótipo x ambiente, é necessário que genótipos diferentes sejam avaliados em dois ou mais ambientes contrastantes, pois a avaliação em apenas um ambiente não permite que o componente da interação seja isolado, acarretando uma superestimativa da variância genética. Conseqüentemente, a herdabilidade também fica superestimada, comprometendo o ganho esperado com a seleção, o qual é diretamente proporcional à herdabilidade (TERASAWA JÚNIOR; VENCOVSKY; KOEHLER, 2008). Portanto, para se obter estimativas da interação genótipos por ambientes, é necessário que, na avaliação, sejam considerados, no mínimo, dois genótipos em dois ambientes (BRUZI, 2006).

Quando surge uma interação, a mesma pode ser atribuída a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo. Em termos genéticos, a interação ocorre quando a contribuição dos alelos dos diferentes genes que controlam o caráter ou o nível de expressão dos mesmos não é coincidente entre os ambientes (KANG; GAUCH JÚNIOR, 1996). Isso porque a expressão dos genes é influenciada e ou regulada pelo ambiente. A interação genótipo x ambiente resulta, então, da resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental e não deve ser vista como um simples efeito estatístico e, sim, como um fenômeno biológico em suas aplicações no melhoramento de plantas (CHAVES, 2001). No entanto, pode-se dizer que é com ferramenta estatístico, juntamente com conhecimento do fenômeno no âmbito biológico, que se podem tirar melhores informações para entender a interação genótipo x ambiente e propor alternativas para minimizá-la ou aproveitá-la em benefício dos agricultores.

Percebe-se então que, se não houvesse a interação genótipo x ambiente, um dado genótipo poderia se adaptar à maioria dos ambientes de cultivo (locais, safras, condições de clima e solo), de maneira que um único ensaio poderia ser a base para uma recomendação generalizada (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Partindo desse ponto de vista, a interação genótipo x ambiente não deve ser considerada apenas como um problema, mas como uma oportunidade a ser aproveitada.

A interação genótipo x ambiente pode ser simples ou complexa. A interação simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, de forma que a posição relativa destes genótipos não é alterada, não acarretando problemas ao melhorista, uma vez que os melhores genótipos em um ambiente também o são em outros. A interação complexa ocorre pela falta de correlação genética entre o desempenho dos genótipos nos ambientes considerados, apresentando diferentes respostas às variações ambientais, o que resulta na alteração da classificação frente aos diversos ambientes (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Dessa forma, interações complexas têm grande importância no melhoramento, influenciando na eficiência da seleção e na precisão das recomendações de cultivo (BAKER, 1988; CROSSA; CORNELIUS, 1997).

Num elevado número de ambientes e de genótipos, a presença de interação complexa quase sempre indica a existência de genótipos especificamente adaptados a ambientes particulares, bem como de outros com adaptação mais ampla, porém, nem sempre com alto potencial produtivo (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). Pela importância dessa interação, cabe ao melhorista avaliar sua magnitude e significância, quantificar seus efeitos e fornecer subsídios que possibilitem adotar procedimentos para minimizar e/ou aproveitar a interação genótipo x ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Na maioria dos casos, apesar de surgir interação genótipo x ambiente, é possível a seleção de genótipos de adaptação ampla ou específica. Assim, podem ser tomadas algumas medidas para atenuar ou minimizar os efeitos da interação genótipo x ambiente. Entre as alternativas, tem sido recomendado o emprego de cultivares com ampla adaptabilidade e boa estabilidade. Porém, são demandados grandes esforços na avaliação de materiais em uma vasta gama de ambientes e anos. Nos EUA, os híbridos comerciais são testados entre 120 e 2.100 locais antes da sua liberação comercial (BERNARDO, 2002). Estima-se que os programas de melhoramento no Brasil estão dentro do intervalo citado, quando se trata de número de locais avaliados antes do lançamento comercial dos híbridos.

Atualmente, existe mais de uma dezena de métodos freqüentemente utilizados no melhoramento de plantas para se avaliar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica. As principais diferenças entre eles estão nos parâmetros adotados para a avaliação, nos procedimentos biométricos empregados para avaliá-los ou na informação e detalhamento da análise (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Assim, há métodos baseados na variância da interação genótipo x ambiente, na regressão linear, na regressão linear bissegmentada, na regressão não-linear, em métodos não-paramétricos, em métodos multivariados e aqueles que integram métodos univariados e multivariados. Esses métodos deverão ser empregados

quando a interação genótipo x ambiente for significativa, sendo complementares às análises de variância, individuais e conjunta, realizadas em uma série de ambientes. No entanto, para a aplicação de qualquer uma das metodologias, o primeiro ponto a ser considerado é a definição de estabilidade.

A estabilidade pode ser definida como a capacidade dos genótipos apresentarem desempenho o mais constante possível, em função das variações ambientais, enquanto a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos de responderem vantajosamente à melhoria do ambiente (MARIOTTI et al., 1976). Esse conceito de estabilidade é definido por Morais (1980) como estabilidade de comportamento e não fenotípica, e é o que interessa ao melhorista, uma vez que está associado ao conceito de adaptabilidade, ou seja, a estabilidade de um dado genótipo determina, também, a confiabilidade nos parâmetros estimados de adaptabilidade.

Neste contexto, a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos em assimilarem vantajosamente o estímulo ambiental, uma vantagem do ponto de vista do rendimento agrícola, ou seja, a adaptabilidade é avaliada pelo desempenho médio do genótipo. Já a estabilidade é definida como a capacidade dos genótipos de exibirem um desempenho, o mais constante possível, em função das variações da qualidade do ambiente (MACHADO et al., 2008). Alguns autores denominaram adaptabilidade como sendo o desempenho de um genótipo no espaço (local) e estabilidade, o desempenho no tempo (anos) (VENCOVSKY; TORRES, 1988). Portanto, um genótipo é considerado estável se o desempenho é relativamente constante em ambientes variados (ALWALA et al., 2010).

Outros autores têm sugerido que, na maioria das vezes, a sensibilidade do genótipo aos efeitos de ambientes está relacionada com a estrutura genética e que, geralmente, populações com maior base genética interagem menos com o ambiente e, portanto, são mais estáveis (ALLARD; BRADSHAW, 1964; TORRES, 1988). As cultivares de milho diferem basicamente em dois aspectos: no grau de heterozigosidade e na heterogeneidade genética. Por exemplo, uma variedade de polinização aberta, por ser constituída de uma mistura de genótipos, apresenta maior heterogeneidade que uma linhagem ou híbrido simples. Já os híbridos duplos são mais heterogêneos que os híbridos simples (BECKER; LEON, 1988).

Vários estudos têm sido realizados, no intuito de verificar o controle genético da estabilidade. O grau de determinação genética e a repetibilidade do rendimento de grãos são maiores que os da estabilidade e, assim, é de esperar maiores dificuldades em selecionar para esse último caráter (TORRES, 1988). Estudos relacionados aos componentes genéticos da estabilidade verificam que esse caráter é herdável, preditível e com predominância de efeitos

gênicos aditivos (LEE; DOERKSEN; KANNENBERG, 2003). Entretanto, não há nenhum resultado conclusivo em relação ao número de locos que o controlam, mas acredita-se que seja um número grande e de herança complexa, o que dificultaria a seleção (ROSSE, 1999).

A amplitude fenotípica é a forma com que a expressão fenotípica de um dado caráter (determinado por um genótipo) é alterada por diferentes ambientes (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Dessa forma, um genótipo ou caráter possui plasticidade fenotípica se este se flexibiliza ou varia a resposta fenotípica para se ajustar às variações ambientais. Esses autores relataram também que o grau de expressão da plasticidade fenotípica está sob controle genético, uma vez que espécies e populações mostraram níveis diferenciados de plasticidade para uma mesma característica em resposta às mesmas variáveis ambientais. Por isso, é esperado que a estrutura genética das populações influencie a magnitude da interação genótipos x ambientes. Vários autores têm demonstrado que os genótipos heterozigóticos são menos sensíveis às influências ambientais em relação aos homozigóticos (BECKER; LEON, 1988; MACHADO et al., 2008). Assim, pode ser obtido melhor ajustamento (tamponamento) por meio da homeostase genética individual ou populacional (BRUZI, 2006).

Um genótipo ou caráter é homeostático se este tem resposta estável, ou seja, expressão fenotípica pouco variável de um ambiente para outro, o que corresponde a uma resposta relativamente constante em ambientes diferentes, e que, para os melhoristas, corresponde à estabilidade biológica. Uma opção para avaliar a influência da heterogeneidade genética na estabilidade é realizar a comparação de diferentes tipos de híbridos. Nesse intuito, alguns trabalhos vêm sendo realizados com a cultura do milho no Brasil (MACHADO et al., 2008; MUNIZ, 1995; NASPOLINI FILHO, 1976), porém com cultivares oriundas de diferentes conjuntos gênicos.

Atualmente tem-se buscado relacionar a estabilidade de produção com a base genética dos diferentes genótipos de milho disponíveis no mercado (híbridos simples, híbridos duplos, híbridos triplos e cultivares). Costa et al. (2010), em trabalho onde compara o desempenho produtivo, a adaptabilidade e a estabilidade de híbridos simples, triplos e duplos originados de um mesmo conjunto de genitores (linhagens) de milho, verificaram que, em média, os híbridos duplos foram os que menos contribuíram para a interação genótipos x ambientes, seguidos pelos híbridos triplos e simples. Por outro lado, foram encontradas importantes variações de rendimento, estabilidade e responsividade entre os diferentes genótipos testados, dentro dos diferentes tipos, indicando não existir uma relação direta entre a estabilidade de rendimento e os tipos de híbridos (ALVES et al., 2006). Além disso, já foram identificados híbridos simples tão estáveis quanto os duplos para o mesmo caráter (CARVALHO et al.,

2000). Dessa forma, estratégias utilizadas para o desenvolvimento de cultivares de melhor adaptação às diferentes condições ambientais requerem cuidadosa escolha da estrutura genética das populações a serem recomendadas aos agricultores.

4 CAPÍTULO I – ANÁLISE DE CARACTERES AGRONÔMICOS E ESCOLHA DE GENITORES EM CRUZAMENTOS RECÍPROCOS

4.1 Introdução

Alguns caracteres agronômicos do milho são amplamente estudados e relacionados com o rendimento de grãos. Geralmente, os objetivos dos pesquisadores que trabalham com isso é fornecer subsídios para programas de melhoramento, servindo de ferramenta para a seleção de genótipos superiores, através da análise de correlações entre os caracteres. Além disso, o comportamento de caracteres agronômicos avaliados em genótipos submetidos a algum estresse (por exemplo, aumento de densidade de plantas), serve para fundamentar e explicar a oscilação na principal variável resposta, o rendimento de grãos. Nesses trabalhos, caracteres como altura de planta, índice de área foliar, massa de grãos, grãos por espiga e índice de espiga são relacionados com o caráter principal que é o rendimento de grãos.

Cruzamentos recíprocos são bastante difundidos em pesquisas com milho, devido a síntese facilitada dos mesmos pela monoiccia. Esses cruzamentos são utilizados para estudar os efeitos recíprocos que podem ser gerados ao se inverter os genitores no cruzamento. Diferenças entre cruzamentos recíprocos têm sido relatados por vários investigadores para diversos caracteres e tipos de híbridos de milho (MANN; POLLMER, 1981; MELCHINGER et al., 1985; SEITZ et al., 1995). Se as diferenças recíprocas têm um componente genético hereditário, essas diferenças devem ser passíveis de modelagem e mapeamento numa população adequada e utilizadas no melhoramento genético. A principal vantagem desse conhecimento está na possibilidade de determinar qual genitor deve ser utilizado como masculino ou feminino, ou se a escolha pode simplesmente ter como base o rendimento de sementes, nesse caso para o genitor feminino.

Associado com o estudo dos cruzamentos recíprocos, as estimativas de heterose fornecem subsídios importantes para os melhoristas identificarem genótipos superiores. A análise de cruzamentos recíprocos e da heterose oferece ao pesquisador grande número de informações genéticas, que podem ser utilizadas visando avaliar o potencial heterótico, de variedades e de populações de milho em combinações híbridas, possibilitando a escolha de populações ou combinações específicas mais promissoras, com base na capacidade de combinação dos parentais. Assim, o uso desses métodos tem possibilitado a escolha de

populações e híbridos superiores, com base na capacidade de combinação dos parentais e no potencial heterótico das combinações.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento de caracteres agronômicos nos genitores e em seus híbridos simples e recíprocos, bem como a relação desses caracteres com a densidade de plantas, além de determinar a heterose nos híbridos e relacioná-la com o efeito recíproco.

4.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido com cinco genitores endogâmicos, denominados neste trabalho simplesmente de P1, P2, P3, P4 e P5. Esses genitores estão em fase avançada de um programa de melhoramento e prestes a serem multiplicadas em escala comercial para a produção de sementes de milho híbrido. O genitor P1 é considerado elite e participou da formação de todos os híbridos simples sintetizados, ou seja, P1P2, P2P1, P1P3, P3P1, P1P4, P4P1, P1P5 e P5P1. As sementes dos cinco genitores foram multiplicadas e utilizadas para a síntese dos híbridos simples e de seus recíprocos na estação de pesquisa de Palmas/Tocantins no mês de março de 2010. Para cada cruzamento, as espigas foram debulhadas em conjunto e as sementes misturadas, de forma a representar uma amostra única para o preparo dos experimentos de avaliação.

O experimento de avaliação dos híbridos e dos genitores endogâmicos foi conduzido em duas épocas de semeadura na safra agrícola 2010/11, na cidade de Cruz Alta/RS (altitude de 450 m, a 28°38'51" de latitude sul e 53°28'16" de longitude oeste). A área experimental é cultivada em sistema de preparo convencional do solo há mais de três anos e irrigada por aspersão com sistema do tipo pivô central fixo. No período de inverno de 2010, a área foi cultivada com aveia preta.

O solo predominante no local é do tipo latossolo vermelho escuro, com mais de 55% de argila e com relevo levemente ondulado, profundo e bem drenado. Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo na área do experimento, na camada de 0 a 0,2 m, para análise conforme metodologia descrita no manual de calagem e adubação para os estados do RS e SC, e os procedimentos foram executados conforme descrito no mesmo para obtenção dos mais elevados níveis de rendimento.

Foram estabelecidos 52 tratamentos com quatro repetições, para cada data de semeadura, os quais resultaram da combinação dos fatores genótipos de milho e densidades de plantas (Tabela 1). As parcelas foram constituídas por quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas a 60 cm, perfazendo área total de 12 m² (2,4 x 5 m). Para coleta dos dados foram utilizadas somente as duas linhas centrais, ou seja, a área útil de cada parcela experimental foi de 6 m². Assim, o experimento resultou num trifatorial (treze genótipos x quatro densidades de plantas x duas épocas de semeadura) com quatro repetições, distribuídos no delineamento de blocos completos ao acaso.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento em cada época de semeadura, no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Tratamento	Densidade*	Genótipo	Tratamento	Densidade*	Genótipo
1	50000	P1	27	70000	P1
2	50000	P2	28	70000	P2
3	50000	P3	29	70000	P3
4	50000	P4	30	70000	P4
5	50000	P5	31	70000	P5
6	50000	P1P2	32	70000	P1P2
7	50000	P2P1	33	70000	P2P1
8	50000	P1P3	34	70000	P1P3
9	50000	P3P1	35	70000	P3P1
10	50000	P1P4	36	70000	P1P4
11	50000	P4P1	37	70000	P4P1
12	50000	P1P5	38	70000	P1P5
13	50000	P5P1	39	70000	P5P1
14	60000	P1	40	80000	P1
15	60000	P2	41	80000	P2
16	60000	P3	42	80000	P3
17	60000	P4	43	80000	P4
18	60000	P5	44	80000	P5
19	60000	P1P2	45	80000	P1P2
20	60000	P2P1	46	80000	P2P1
21	60000	P1P3	47	80000	P1P3
22	60000	P3P1	48	80000	P3P1
23	60000	P1P4	49	80000	P1P4
24	60000	P4P1	50	80000	P4P1
25	60000	P1P5	51	80000	P1P5
26	60000	P5P1	52	80000	P5P1

*plantas ha⁻¹

A semeadura da primeira época ocorreu no dia 30/09/2010 e, da segunda, no dia 04/11/2010. Na semana que antecedeu a semeadura, a área foi preparada sob sistema convencional, com uma subsolagem e posterior gradagem para uniformização do terreno. No momento da semeadura, foram utilizadas sementes em excesso para posterior desbaste, realizado no estádio fenológico V₄, garantindo assim a densidade final de plantas de 50.000, 60.000, 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹. Logo após a semeadura, a área foi irrigada por aspersão com uma lâmina de água de aproximadamente 10 mm para promover a germinação e emergência uniforme das plântulas, a qual ocorreu seis dias após a semeadura na primeira época e cinco dias após a semeadura na segunda época. Na contagem final de plantas, no momento da colheita, as densidades reais foram de 51.812, 60.893, 70.726 e 80.951 plantas ha⁻¹.

Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura (SILVA; CRUZ; SILVA, 1987), incluindo manejo da irrigação, adubação de base e cobertura, controle de plantas invasoras, pragas e doenças. Durante a condução da cultura, foram realizadas as práticas fitotécnicas de acordo com a necessidade (BARBOSA, 2007).

A adubação base foi realizada de acordo com os resultados da análise do solo que foi coletado no local alguns dias antes da instalação dos experimentos. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada em três etapas, quando 50% das plantas apresentavam três, cinco e sete folhas completamente desdobradas, aplicando-se 67 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, em cada etapa, totalizando aproximadamente 200 pontos de N por hectare, após as três aplicações. As aplicações do fertilizante nitrogenado foram realizadas de forma manual em cobertura superficial, com auxílio de regadores previamente calibrados e sem incorporação, seguidas de irrigação por aspersão (lâmina de aproximadamente 10 mm), para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia. Esta operação é comum nos sistemas de produção de milho irrigado quando se utiliza a uréia como fonte de nitrogênio.

O manejo fitossanitário foi realizado com produtos específicos para cada caso, visando manter a cultura em condições adequadas de sanidade sem interferir em seu crescimento e desenvolvimento. As aplicações dos produtos fitossanitários foram realizadas manualmente mediante o uso de pulverizadores costais, com bicos leques, regulados para aplicar 120 litros ha⁻¹ de calda.

As avaliações realizadas tanto nos genitores quanto nos híbridos, foram as que seguem:

i) altura média de planta (AP), determinada por ocasião do pleno florescimento, pela medição do comprimento do colmo (da superfície do solo até a base da folha “bandeira”) com

auxílio de régua graduada de metal. Foram avaliadas cinco plantas ao acaso nas duas linhas centrais de cada parcela, sendo que essas mesmas cinco plantas foram utilizadas para determinação do índice de área foliar.

ii) índice de área foliar (IAF), determinado em cinco plantas por parcela, onde foram tomadas as medidas de comprimento e largura de todas as folhas da mesma planta no momento do florescimento, sendo que a área foliar (AF) por planta foi o somatório da área de todas as folhas da planta. A área de cada folha foi estimada pela fórmula $AF = \text{comprimento} \times \text{largura} \times 0,75$ (adaptado de FRANCIS et al., 1969). A área foliar média para o genótipo em cada parcela foi obtida a partir da média das cinco plantas. O índice de área foliar, ou seja, a relação da área foliar total por unidade de área explorada pela cultura foi obtido pela equação $IAF = \text{área foliar média (m}^2) \times \text{densidade de plantas (plantas ha}^{-1}) / 10.000\text{m}^2$;

iii) índice de espiga (IE), também denominado de prolificidade, foi determinado através da contagem do número total de espigas dividido pelo número total de plantas, nas duas linhas centrais de cada parcela, obtendo-se assim, o número médio de espiga por planta. Foram consideradas apenas espigas que apresentavam grãos formados;

iv) a massa de mil grãos (MG) foi determinada em uma amostra homogênea de cada parcela, com 250 gramas de massa, submetida à contagem total de grãos, através de um equipamento eletrônico marca Sanick 2008. Sabendo-se a quantidade de grãos em 250 gramas, foi possível estimar a massa de mil grãos;

v) o número de grãos por espiga (GE) foi determinado pelo número total grãos dividido pelo número total de espigas da parcela, obtido através da contagem do número de grãos numa amostra homogênea de 250 gramas, para posterior estipulação do número total de grãos de acordo com a massa total de grãos da parcela; e

vi) o rendimento de grãos (RG) foi obtido a partir da massa dos grãos oriundos das espigas colhidas na área útil das parcelas, corrigido para 12% de umidade;

Além disso, a heterose foi obtida em relação à média dos genitores: $H_{MP} = (F1 - MG) / MG$, onde, H_{MP} é a estimativa da heterose em relação à média dos genitores; F1 é a média do híbrido; MG é a média dos genitores (GARDNER; EBERHART, 1966).

Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa computacional NTIA/Embrapa. A análise de variância foi procedida, de acordo com a tabela 2, onde temos o quadro da análise da variância dos 13 genótipos de milho, em dois ambientes e quatro densidades de plantas. A significância estatística dos valores dos caracteres e da heterose foi verificada por meio do teste “F”, e as médias comparadas pelo teste Duncan.

Tabela 2 - Quadro de análise de variância de 13 genótipos de milho em dois ambientes e quatro densidades de plantas, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

FV	GL	SQ	QM	Fc
Bloco (Amb)	6	SQB	QMB	QMB/QME
Ambiente (A)	1	SQA	QMA	QMA/QME
Densidade (D)	3	SQD	QMD	QMD/QME
A vs D	3	SQAD	QMAD	QMAD/QME
Genótipos (G)	12	SQG	QMG	QMG/QME
CGH	1	SQCGH	QMC5G/GL	QMC5G/QME
C5G	4	SQC5G	QMC4H/GL	QMC4H/QME
C4H	3	SQC4H	QMC8H/GL	QMC8H/QME
C8H	7	SQC8H	QMER/GL	QMER/QME
ER	1	SQER	QMER/GL	QMER/QME
A vs G	12	SQAG	QMAG	QMAG/QME
D vs G	36	SQDG	QMDG	QMDG/QME
A vs D vs G	36	SQADG	QMADG	QMADG/QME
Erro	306	SQE	QME	

Dentro da variável genótipo, foram realizadas sete comparações entre genitores e híbridos e as siglas utilizadas, os graus de liberdade e a descrição estão representados na tabela 3. Assim, para fins de análise de comparações, foram utilizados todos os genótipos, onde comparou-se os genitores com os híbridos (CGH), os cinco genitores entre eles (C5G), os quatro grupos de híbridos simples e recíprocos (C4H), os oito híbridos entre eles (C8H), o efeito recíproco entre os híbridos simples e recíprocos (ER), as quatro duplas de híbridos dentro de cada densidade [C4H(D)] e o efeito recíproco dentro de cada densidade [ER(D)].

Tabela 3 - Sigla, graus de liberdade, e descrição das comparações realizadas.

Sigla	GL	Descrição
CGH	1	Comparação entre o grupo de cinco genitores e grupo de oito híbridos
C5G	4	Comparação entre os cinco genitores
C4H	3	Comparação entre as quatro duplas de híbridos
C8H	7	Comparação entre os oito híbridos
ER	1	Efeito recíproco
C4H(D)	12	Comparação das quatro duplas de híbridos dentro de cada densidade (na média de bloco e ambiente)
ER(D)	4	Efeito recíproco para cada densidade (na média de bloco e ambiente)

Dessa maneira, por exemplo, no contraste CGH, foram possíveis apenas duas comparações, onde a primeira foi formada pelo conjunto de cinco genitores (P1, P2, P3, P4 e P5) e a segunda pelo conjunto de oito híbridos (P1P2, P2P1, P1P3, P3P1, P1P4, P4P1, P1P5 e P5P1). As comparações C5G e C8H utilizam-se dos cinco genitores e dos oito híbridos, respectivamente. A comparação C4H utiliza-se das quatro duplas de híbridos simples e recíprocos para as constatações, e o efeito recíproco (ER) foi feito em apenas duas instâncias: quando o genitor é utilizado como genitor feminino ou quando é utilizado como genitor masculino no cruzamento. As comparações CGH, C5G, C8H, C4H (D) e ER(D) não foram calculados para a heterose. As demais foram calculadas da mesma maneira para os caracteres estudados e para os parâmetros da heterose em cada caráter.

4.3 Resultados e discussão

A análise da variância conjunta realizada para os experimentos instalados em dois ambientes e quatro densidades de plantas em Cruz Alta/RS, na safra agrícola 2010/11, indicou efeito de blocos (significativo pelo teste F a 5%) para os caracteres altura de planta e índice de área foliar, e não significativo para os demais caracteres. O efeito de ambiente foi significativo para todos os caracteres avaliados. Como o efeito de ambiente é aleatório, as interações não foram desdobradas e discutidas dentro de cada ambiente. Já o efeito densidade não foi significativo apenas para altura de planta. Para todos os demais caracteres houve pelo menos uma interação dupla, ambiente x genótipo, ambiente x densidade, ou densidade x genótipo (Tabela 4).

O efeito genótipo foi significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F, para todos os caracteres avaliados. Houve interação tripla significativa dos quadrados médios de ambiente x densidade x genótipo para os caracteres índice de área foliar, grãos por espiga e rendimento de grãos. Para os demais caracteres, não houve a significância da interação tripla. O coeficiente de variação máximo foi de 8,2 para IE e mínimo de 3,1 para MG (Tabela 4).

Tabela 4 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) referente aos caracteres estudados: altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), índice de espiga (IE), massa de mil grãos (MG), grãos por espiga (GE) e rendimento de grãos (RG), em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

FV	GL	QM					
		AP	IAF	IE	MG	GE	RG
Bloco (Amb)	6	467,7*	0,5*	0,0 ^{ns}	93,8 ^{ns}	846,8 ^{ns}	0,3 ^{ns}
Ambiente (A)	1	54305,3*	25,1*	0,2*	19067,6*	45752,8*	257,3*
Densidade (D)	3	214,7 ^{ns}	87,0*	0,3*	3173,8*	15260,0*	87,8*
A vs D	3	147,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,0*	71,0*	708,9 ^{ns}	0,9*
Genótipos (G)	12	32843,4*	253,0*	0,3*	137891,1*	247765,7*	580,4*
LH	1	339168,6*	274,1*	0,4*	1140931,0*	2391909,1*	6698,9*
C5L	4	4537,3*	3,3*	0,6*	44375,9*	39545,8*	50,4*
C4H	3	11955,3*	5,1*	0,2*	111585,8*	139719,2*	18,8*
C8H	7	5257,7*	2,3*	0,1*	48036,9*	60442,3*	9,1*
ER	1	278,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,0 ^{ns}	1156,8 ^{ns}	1,0 ^{ns}
A vs G	12	876,0*	0,5*	0,1*	460,5*	5373,6*	4,1*
D vs G	36	192,1 ^{ns}	0,3*	0,0*	322,2*	1878,5*	0,8*
A vs D vs G	36	183,6 ^{ns}	0,2*	0,0 ^{ns}	113,6 ^{ns}	752,6*	0,5*
Erro	306	156,0	0,1	0,0	111,5	479,6	0,3
Média	-	245,0	5,2	1,1	335,4	301,6	11,7
CV(%)	-	5,1	7,0	8,2	3,1	7,3	4,7

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os caracteres foram estudados dentro de cada densidade e as suas médias comparadas pelo teste de Duncan à 5% de probabilidade. Os resultados para todos os caracteres avaliados estão dispostos na tabela 5 e foram discutidos individualmente. Para isso, considerou-se de efeito aleatório as épocas e os genótipos, isolando-se os caracteres somente em função da densidade de plantas.

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

Tabela 5 - Média dos caracteres em dois ambientes e 13 genótipos, nas densidades de 50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Densidade	Caracteres					
	AP	IAF	IE	MG	GE	RG
50	243,4 a*	4,2 d	1,1 a	341,3 a	311,3 a	10,5 d
60	244,6 a	4,8 c	1,1 a	338,6 a	309,4 a	11,4 c
70	246,8 a	5,6 b	1,1 a	332,2 b	301,1 b	12,2 b
80	245,2 a	6,3 a	1,0 b	329,4 b	284,7 c	12,6 a

* Médias não seguidas pela mesma letra na coluna, diferem pelo teste de Duncan (5%).

Neste trabalho, observando a média do caráter dentro de cada densidade de plantas (Tabela 5), percebe-se que não houve diferença significativa pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, dentre as densidades estudadas para o caráter altura de planta, conforme já observado na análise da variância (Tabela 4). Essa constatação permite inferir que não houve diferença no padrão de desenvolvimento das plantas nas diferentes densidades avaliadas e que, dentro dos limites populacionais estudados, não houve maior alongamento dos entrenós, proporcionado pelo efeito combinado da competição intraespecífica por luz e estímulo da dominância apical das plantas de milho, conforme observado por Kunz, 2005.

Resultados semelhantes foram obtidos por Kappes et al. (2011), onde não houve incremento para altura de planta em função do incremento na densidade de plantas, corroborando com vários trabalhos de pesquisa (KUNZ, 2005; MATEUS et al., 2004; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002a; SCHEEREN et al., 2004). Ao avaliar o comportamento de híbridos de milho cultivados em diferentes densidades populacionais (40 mil, 53 mil, 71 mil, 84 mil e 97 mil plantas ha⁻¹) e sob espaçamento reduzido (0,45 m), Marchão et al. (2005) observaram que a elevação da densidade de plantas provocou um comportamento quadrático na altura final das plantas, e não necessariamente a maior densidade de plantas resultou na maior altura de plantas. O aumento da densidade de plantas no híbrido de milho P30K75, no Estado de Goiás, provocou aumento linear no porte das plantas à medida que se aumentou a densidade de 40.000 para 80.000 plantas ha⁻¹ (SILVA et al., 2008).

Estes fatos comprovam que na cultura do milho, a influência de variações na densidade populacional sobre a altura de planta apresenta resultados contrastantes, que podem estar relacionados ao genótipo, ao local e à época de semeadura.

A quantificação da área foliar numa cultura permite inferir o potencial fotossintético, e o valor do número, do tamanho das folhas e do estágio de desenvolvimento das plantas. A área foliar, em geral, aumenta até um limite máximo, no qual permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, em razão da senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (MANFRON et al., 2003). As folhas inseridas nas várias posições do caule contribuem diferentemente no suprimento de metabólitos para as demais partes da planta. Em geral, as raízes recebem produtos fotossintetizados, principalmente das folhas basais, enquanto os órgãos e tecidos, localizados na parte apical, são supridos pelas folhas superiores. Cerca de 50% dos carboidratos acumulados nos grãos de milho são provenientes das folhas localizadas no terço superior do colmo, aproximadamente 30% das folhas localizadas no terço médio e o restante das folhas distribuídas na parte basal (FORNASIERI FILHO, 2007). O potencial de rendimento de grãos de milho dependerá principalmente da quantidade de radiação solar incidente, da eficiência de interceptação, da conversão da radiação interceptada em fitomassa e da eficiência de partição de assimilados à estrutura de interesse econômico (FORSTHOFER et al., 2006).

O índice de área foliar, por expressar a proporção de cobertura do solo, implica em importante fator a ser considerado para a definição das práticas de manejo. Existem estudos detalhados acerca da influência da área foliar sobre o crescimento e produção de milho no Brasil (FANCELLI, 1988). Sangoi et al. (2001), investigaram os efeitos da redução da área foliar sobre o rendimento de híbridos de milho em diferentes densidades e sobre o acúmulo de matéria seca nos grãos em Santa Catarina. Em todos os estudos, a redução da área foliar, seja por danos mecânicos ou pelo ataque de pragas e/ou doenças, sempre resultou em perdas no crescimento e rendimento do milho. Dentre os principais fatores que concorrem para promover alterações na área foliar das plantas, tem-se as características genéticas, disponibilidade de água, luz e nutrientes, competição com plantas invasoras, espaçamentos, danos mecânicos e a incidência de pragas e doenças. Foi encontrada boa correlação entre a área foliar e a concentração de clorofila nas folhas de milho, demonstrando sua relação com a absorção de luz e nutrientes (DAUGHTRY et al., 2000). A área foliar também tem sido usada como critério para a seleção de materiais genéticos. Assim, pode-se focar a seleção de cultivares de milho com maior rapidez de crescimento em área foliar e com maior número de folhas acima da espiga (MODARRES et al., 1997).

O caráter índice de área foliar, mensurado neste trabalho no momento do florescimento, mostrou-se bastante dependente da densidade, aumentando significativamente em cada densidade. Se observarmos os valores, o aumento foi de 51%, se comparadas as densidades de 50 e 80 mil plantas por hectare, respectivamente (Tabela 5). No presente estudo, todos os híbridos apresentaram os maiores valores de índice de área foliar na maior densidade de plantas, e, justamente nessa maior densidade de plantas, foram obtidos os maiores rendimentos de grãos, sem nenhuma exceção. Em trabalho semelhante, avaliando o índice de área foliar em função das densidades de plantas, Sangoi et al., (2011) verificaram que o índice de área foliar foi afetado pelo efeito simples da densidade de plantas, nos dois anos agrícolas estudados (2007/2008 e 2008/2009). Esse comportamento era esperado na cultura do milho, pois a área foliar é pouco afetada por variações na densidade, em virtude da baixa plasticidade vegetativa da espécie (STRIEDER et al., 2007; PIANA et al., 2008).

Um dos maiores problemas da utilização de baixas densidades em milho é a redução na interceptação da radiação solar (PIANA et al., 2008), em razão do não perfilhamento e do baixo incremento no número e no tamanho das folhas (MADONNI et al., 2001). Assim, espera-se que os maiores valores de índice de área foliar sejam observados em altas densidades. Esse comportamento, também foi observado neste trabalho, em que os maiores valores de índice de área foliar total foram registrados nas maiores densidades de plantas. O milho deve alcançar valores de IAF entre 4 e 5, no florescimento, para maximizar o desempenho agrônômico (LAUER; ROTH; BERTRAM, 2004). No presente trabalho, o IAF médio ficou entre 4 e 6, o que justifica o bom resultado de rendimento alcançado nos híbridos.

O índice de espiga é o número total de espigas dividido pelo número de plantas em uma determinada área. Nesse trabalho, esse caráter diminuiu com o aumento da densidade, diferenciando-se significativamente apenas na densidade de 80 mil plantas ha^{-1} (Tabela 5), fato esperado pela maior competição entre as plantas. Essa competição gera estresse que por sua vez provoca abortamento de espigas. O resultado comprova que este componente de produção está atrelado à densidade e que é afetado em condições de alterações no número de plantas por área. Os resultados mostram-se coerentes aos obtidos por Demétrio (2008), ao constatar que o índice de espiga não foi afetado pela diminuição do espaçamento entre as linhas de milho, mas sim pelas densidades populacionais. Porém, há relatos de híbridos modernos com boa capacidade de suportar diferentes alterações no número de plantas por unidade de área sem diminuir acentuadamente a emissão e manutenção das espigas (ALMEIDA et al., 2000).

Observou-se nesse estudo, que as plantas apresentaram-se mais prolíficas nas menores densidades, evidenciando que a competição por luz e a compensação da planta já estão presentes mesmo nas fases de diferenciação e emissão das espigas, fato também observado por outros pesquisadores, onde relatam que a redução na densidade populacional em milho possibilita a obtenção de plantas com espigas em maior número (ARGENTA et al., 2001). Isso acontece porque, em baixas densidades, a competição intraespecífica é pequena, disponibilizando às plantas os recursos necessários para o enchimento dos grãos em mais de uma espiga por planta (DEMÉTRIO, 2008). No entanto, como a diferença observada entre a menor e a maior densidade foi pequena (índice de espiga reduziu de 1,1 para 1,0), pode-se inferir que os resultados desse trabalho indicam que híbridos modernos não possuem capacidade de compensar a baixa densidade de plantas, sugerindo que o melhoramento genético é realizado com o objetivo de garantir apenas uma espiga viável por planta.

Mesmo assim, altas densidades populacionais podem causar alterações morfológicas e fisiológicas, como o aumento do número de plantas sem espiga (FORNASIERI FILHO, 2007). O aumento no número de plantas por área, até certo limite, tende a compensar a diminuição do tamanho das espigas. Assim, os maiores rendimentos de grãos são conseguidos naquelas densidades em que a prolificidade esteja próxima da unidade, com espigas de tamanho suficiente para não diminuir o rendimento.

A massa individual do grão é o produto da duração do período efetivo de enchimento e da taxa de crescimento do grão, que por sua vez é dependente de fatores que controlam a oferta de assimilados para o pleno enchimento. Importante componente de produção na cultura do milho, a massa de grão é o último componente a ser definido, o qual é determinado pela taxa e pela duração do período de enchimento (WANG; KANG; MORENO, 1999). No presente estudo, a massa de mil grãos comportou-se de maneira similar à prolificidade, sendo afetada pela densidade de plantas. As plantas que apresentaram maior estresse de sombreamento, provocado pelo aumento da densidade populacional, não conseguiram compensar a deficiência de produção de fotoassimilados nas folhas e como resultado, a massa de mil grãos reduziu à medida que se elevou a densidade de plantas (Tabela 5).

Portanto, demonstra-se que o incremento na densidade promove maior competição intraespecífica pelos recursos do ambiente, conforme já relatado por vários autores (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001; SANGOI; SALVADOR, 1998), o que altera a taxa e duração do período de enchimento dos grãos (RUGET, 1993) e manutenção das demais estruturas do vegetal (SANGOI et al., 2000). A menor massa de grãos por espiga, decorrente do aumento da densidade populacional, está relacionada ao estresse induzido pela competição

intraespecífica por água, nutrientes e luz (BRUNS; ABBAS, 2005). No entanto, esse estresse não resulta necessariamente na diminuição do rendimento de grãos, uma vez que o aumento do número de plantas por área compensa tais perdas até um determinado ponto crítico, onde o tamanho das espigas diminui muito e começam ocorrer plantas sem espigas, devido à competição.

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

O fato da massa de mil grãos ter sido prejudicada pelo aumento da densidade de plantas contraria vários autores (ANDRADE; OTEGUI; VEJA, 2000; BORRÁS; OTEGUI, 2001; SANGOI et al., 2002b), que relataram que esse é o componente de produção menos afetado por variações nas práticas de manejo. A redução da massa de grãos possivelmente está associada ao aumento da competição intraespecífica provocada pelo aumento da densidade de plantas, agravado nas situações de desuniformidade de desenvolvimento das plantas, onde as “plantas dominadas” são mais afetadas pelo aumento da densidade populacional. Isso demonstra que os efeitos da competição intraespecífica acontecem tanto quando as plantas estão em maior densidade ou quando são dominadas por plantas vizinhas que emergiram mais rapidamente (ZANIN, 2007).

À exemplo dos caracteres índice de espiga e massa de grãos, o número de grãos por espiga foi afetado negativamente com o aumento da densidade de plantas (Tabela 5). A competição das plantas pela radiação solar incidente, por nutrientes e água, também determina a formação da espiga, sobretudo em cultivo adensado, que pode implicar num déficit de

suprimento de carbono e nitrogênio para as plantas (SANGOI, 2001). Conseqüentemente, pode haver um incremento da esterilidade das plantas e um decréscimo do número de grãos por espiga e, também, da massa dos grãos. Isso, provado pela redução no desenvolvimento dos grãos, notadamente na parte superior da espiga, que, muitas vezes, não se desenvolve, ainda que tenha havido fertilização regular dos óvulos. Observou-se, também, que a densidade de plantas parece exercer maior influência sobre o número de grãos por espiga, em detrimento dos outros caracteres avaliados, tais como índice de espiga e massa de grãos.

Apesar de não ter sido estimada nesse trabalho, isso pode ser explicado pela menor herdabilidade do caráter número de grãos por espiga, em relação aos caracteres índice de espiga e massa de grãos, ou seja, quanto maior a estimativa de herdabilidade menor é o efeito do ambiente, neste caso, da densidade. Existem relatos de médias herdabilidades encontradas para os caracteres índice de espiga e massa de grãos (SOARES, 2008), sugerindo que o caráter número de grãos por espiga possui baixa herdabilidade. Isso mostra que número de grãos por espiga é um caráter controlado por um número de genes maior do que os caracteres índice de espiga e massa de grãos, indicando que número de grãos por espiga é muito influenciado pelas condições de manejo.

Constata-se que houve uma redução significativa na maioria dos componentes do rendimento de grãos à medida que se aumentou a densidade de plantas de 50 para 80 mil plantas ha^{-1} . Esses caracteres foram: índice de espiga, massa de grãos e grãos por espiga (Tabela 5). Em outros estudos também constatou-se que, dentre os caracteres avaliados nas espigas (comprimento da espiga, diâmetro da espiga, diâmetro do sabugo, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e massa de 100 grãos), somente o número de fileiras por espiga não variou em função da densidade de plantas (MARCHÃO et al., 2005). Para os demais caracteres, em geral, observou-se que houve uma redução dos valores médios com o incremento da densidade de plantas, fato este que vai de encontro com os resultados deste trabalho.

No presente trabalho, apesar da redução significativa dos principais caracteres diretamente atrelados ao rendimento de grãos, este não reduziu com o aumento da densidade; ao contrário, o rendimento de grão foi significativamente diferente em cada uma das densidades, aumentando à medida em que se aumentou a densidade de plantas (Tabela 5). Portanto, a redução dos caracteres em questão é compensada pelo aumento da densidade de plantas na expressão do rendimento dos genótipos avaliados. Assim, a produção final de grãos, que possui herança genética complexa, ocorreu em função da densidade de plantas por

área e esse foi o componente que mais afetou o rendimento, ou seja, de maior importância no experimento.

Em trabalhos desenvolvidos na região Sul do Brasil, para determinar a densidade ótima de plantas em híbridos de milho com elevado potencial produtivo (ALMEIDA et al., 2000; SILVA; ARGENTA; REZERA, 1999; PIANA et al., 2008), os máximos rendimentos de grãos foram obtidos com densidades iguais ou superiores a 80.000 plantas ha⁻¹, estando estes resultados de acordo com os obtidos neste trabalho. Assim, esses fatos evidenciam que a recomendação de até 70.000 plantas ha⁻¹ pode ser ampliada em ambientes favoráveis para elevar o rendimento de grãos, desde que se usem híbridos tolerantes ao acamamento (ALMEIDA et al., 2000).

Com certa semelhança ao evidenciado no presente estudo, Marchão et al. (2005) constataram que a maioria dos híbridos avaliados alcançaram maiores rendimentos com densidades acima de 70.000 plantas ha⁻¹. Estudos recentes também têm mostrado respostas positivas ao aumento do rendimento de grãos do milho pelo incremento da densidade, com rendimentos atingindo um ponto máximo entre 70.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, e declinando em densidades mais altas (ALVAREZ; VON PINHO; BORGES, 2006; GROSS; VON PINHO; BRITO, 2006).

Isso demonstra que em ambientes favoráveis, representados por lavouras tecnificadas que atualmente utilizam densidades entre 50.000 e 70.000 plantas ha⁻¹, o ambiente e o potencial dos genótipos atuais de milho podem estar sendo subutilizados. Portanto, as densidades mais elevadas devem ser usadas em condições de alta tecnologia, sem restrições de água e de fertilizantes. Em lavouras com alta densidade de plantas e sob boas condições de crescimento, as espigas adicionais por hectare resultarão em maior rendimento de grãos, por maximizar o número de grãos por unidade de área. No entanto, essa densidade ideal para cada híbrido também pode ser menor se a lavoura for submetida a algum estresse ambiental. Genótipos com baixos valores de altura de plantas e de espigas, possuem grande potencial para cultivo em densidades adensadas, em virtude da disposição anatômica das folhas, conforme destacado por Farinelli et al. (2003).

O aumento no rendimento nas maiores densidades está atrelado ao fato de que o aumento da densidade de plantas permitiu a colheita de um maior número de espigas por unidade de área. A diminuição do tamanho das espigas com o incremento na densidade é suplantada pelo aumento do número das mesmas em cultivos mais adensados. Em consenso com esse trabalho, e estudando densidades ainda superiores, outros autores também constataram aumento linear no rendimento de grãos com o aumento na densidade, até 90.000

plantas ha^{-1} , independente dos genótipos avaliados (RESENDE; VON PINHO; VASCONCELOS, 2003; PIANA et al., 2008). O aumento no rendimento de grãos com o incremento na densidade de plantas também foi constatado no trabalho de Silva et al. (2008). Portanto, a densidade populacional foi a prática de manejo que teve maior efeito no rendimento de grãos do milho, já que pequenas alterações na densidade implicaram em modificações relativamente grandes no rendimento final da cultura (SILVA et al., 2006), confirmado neste trabalho.

Qualquer discussão sobre o aumento do rendimento de milho deve reconhecer o papel que a heterose desempenha no rendimento de grãos e os processos fisiológicos relacionados a isso. O aumento de rendimento em milho comercial durante os últimos dez anos no Brasil começou com a adoção de híbridos simples em grande escala por parte dos agricultores (Figura 2). Sabidamente, a heterose nesse grupo de híbridos é muito superior, ainda que, trabalhos demonstram que aumentos de rendimento não estão diretamente associados com a heterose (TOLLENAAR; LEE, 2006). Assim, foram estimados neste trabalho os valores de heterose, para posteriormente relacioná-los com o rendimento de grãos e o efeito recíproco.

Utilizando-se dos dados obtidos com os genótipos testados, a análise da variância conjunta indicou que o efeito de blocos foi eficiente (significativo pelo teste F a 5%) para todas as estimativas de heterose entre os caracteres avaliados. Os efeitos isolados de ambiente e de genótipo também foram significativos para todas as estimativas de heterose dentre os caracteres estudados. Como o efeito de ambiente é aleatório, as interações não foram desdobradas e discutidas dentro de cada ambiente. Já o efeito densidade não foi significativo apenas para a heterose do caráter índice de área foliar (Tabela 6).

O coeficiente de variação máximo foi de 32,3% para o índice de área foliar e mínimo de 10,8% para o rendimento de grãos. O caráter índice de espiga, por apresentar heterose média negativa, teve o valor do coeficiente de variação também negativo, e foi omitido na tabela 6. O maior valor de heterose média observado neste trabalho está relacionado ao rendimento de grãos, com valor médio de 0,822 (82,2%); já o menor ocorreu no caráter índice de espiga, com valor negativo de 0,002 (-0,2%). A significância para heterose evidencia a predominância de efeitos não-aditivos (DONÁ et al., 2011).

Não houve efeito recíproco significativo da heterose quando comparadas as médias de todos os híbridos formados quando o genitor P1 foi utilizado como genitor feminino no cruzamento, com as médias de todos os híbridos formados quando o genitor P1 foi utilizado como genitor masculino, em nenhum dos caracteres avaliados (Tabela 7). A heterose negativa para o caráter índice de espiga indica que para esse caráter, existe predominância de efeitos

aditivos e dominância apenas parcial. Dessa forma, presume-se que existe insuficiente divergência das frequências gênicas que controlam o caráter índice de espiga no grupo de genitores, pela não significância da heterose verificada neste experimento.

Tabela 6 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e quadrado médio (QM) da heterose em relação à média das populações genitoras (H_{MP}), referente aos caracteres estudados: altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), índice de espiga (IE), massa de mil grãos (MG), grãos por espiga (GE) e rendimento de grãos (RG), em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

FV	GL	QM					
		AP	IAF	IE	MG	GE	RG
Bloco (Amb)	6	0,008*	0,018*	0,005*	0,002*	0,015*	0,038*
Ambiente (A)	1	0,039*	0,029*	0,044*	0,005*	4,676*	10,639*
Densidade (D)	3	0,006*	0,006 ^{ns}	0,008*	0,009*	0,029*	0,291*
A vs D	3	0,021*	0,005 ^{ns}	0,004*	0,005*	0,029*	0,017 ^{ns}
Genótipos (G)	7	0,041*	0,060*	0,016*	0,057*	0,293*	0,290*
C4H	3	0,094*	0,137*	0,034*	0,132*	0,673*	0,659*
ER	1	0,002 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,014 ^{ns}
A vs G	7	0,005*	0,007 ^{ns}	0,005*	0,001*	0,019*	0,028*
D vs G	21	0,001 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,003*	0,001 ^{ns}	0,012*	0,010 ^{ns}
A vs D vs G	21	0,001 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,001*	0,000 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Erro	186	0,002	0,004	0,002	0,001	0,006	0,008
Média	-	0,151	0,185	-0,002	0,201	0,468	0,822
CV(%)	-	27,9	32,3	-	11,9	17,5	10,8

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Efeito recíproco da heterose nos caracteres de acordo com as médias dos 8 híbridos simples e recíprocos nos dois ambientes e quatro densidades de plantas, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Caráter	Médias	
	P1 = feminino (1)	P1 = masculino (2)
AP	0,154 a*	0,148 a
IAF	0,182 a	0,188 a
IE	-0,002 a	-0,003 a
MG	0,200 a	0,201 a
GE	0,462 a	0,474 a
RG	0,814 a	0,829 a

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

Ao agruparem-se cada híbrido com seu recíproco e comparar os quatro grupos de híbridos formados com os cinco genitores, percebe-se diferença significativa nos valores de heterose entre as duplas, em cada um dos caracteres. No grupo três observam-se os maiores valores de heterose para todos os caracteres, com exceção para massa de grãos, onde esse grupo apresentou a menor heterose entre os quatro grupos. Esse caráter obteve a maior heterose no grupo dois (Tabela 8). Como o grupo três apresentou valores maiores de heterose para a maioria dos caracteres, inclusive para rendimento de grãos, pode-se afirmar que a capacidade específica de combinação foi melhor entre os genitores P1 e P4.

Tabela 8 - Comparação entre as heteroses médias em dois ambientes e quatro densidades de plantas, para quatro grupos pré-determinados de híbridos, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Caráter	Grupos de híbridos			
	1 (P1P2 e P2P1)	2 (P1P3 e P3P1)	3 (P1P4 e P4P1)	4 (P1P5 e P5P1)
AP	0,116 c*	0,158 b	0,202 a	0,128 c
IAF	0,149 c	0,193 b	0,248 a	0,152 c
IE	0,011 a	-0,036 b	0,004 a	0,011 a
MG	0,175 c	0,264 a	0,162 d	0,201 b
GE	0,486 b	0,442 c	0,597 a	0,349 d
RG	0,824 b	0,830 b	0,941 a	0,692 c

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

Com o objetivo de estudar o comportamento da heterose em cada híbrido simples e recíproco, as médias de cada genótipo foram comparadas pelo teste de Duncan. A tabela 9 foi montada esquematicamente para comparar o efeito da heterose nos cruzamentos dos genitores sobre seus respectivos híbridos simples e recíprocos. Os nomes foram atribuídos aos híbridos de forma que sempre inicia com o genitor feminino. Sendo assim, o híbrido P1P2 indica que o cruzamento foi realizado utilizando-se como feminino o genitor P1 e como masculino o genitor P2 (fornecedor de pólen). Já o híbrido P2P1 é o recíproco do P1P2, ou seja, o cruzamento foi realizado utilizando-se como feminino o genitor P2 e como masculino o genitor P1 (fornecedor de pólen), e assim sucessivamente. Sempre que a média de um determinado caráter for significativamente diferente num híbrido simples versus seu recíproco, podemos inferir que houve efeito recíproco.

A heterose nos caracteres altura de planta, índice de área foliar, índice de espiga, e grãos por espiga, não foram afetadas significativamente em nenhum dos híbridos recíprocos

estudados, se comparado com seu respectivo híbrido simples. A heterose do caráter massa de grãos foi superior no híbrido P2P1, se comparado com seu respectivo híbrido simples P1P2. Nos mesmos dois híbridos, a heterose para o rendimento de grãos apresentou comportamento similar, sendo maior no recíproco P2P1 (Tabela 9). Portanto, híbridos de milho resultantes do cruzamento entre duas linhas apresentaram heterose, independentemente do sentido do cruzamento. Como nos híbridos P1P2 e P2P1, o único caráter que apresentou diferença na heterose foi a massa de mil grãos, pode-se afirmar que o maior valor de heterose observado no P2P1 foi determinante para o maior rendimento de grãos obtido nesse híbrido. Existem relatos de híbridos recíprocos diferindo uns dos outros fenotipicamente, onde 30 a 50% de seus genes foram diferencialmente expressos (SWANSON-WAGNER et al., 2009).

Tabela 9 - Comparação entre as heteroses médias de dois ambientes e quatro densidades de plantas, para os 8 híbridos simples e recíprocos, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Car.	Híbridos							
	P1P2	P2P1	P1P3	P3P1	P1P4	P4P1	P1P5	P5P1
AP	0,125 c*	0,107 c	0,161 b	0,156 b	0,202 a	0,202 a	0,128 c	0,129 c
IAF	0,144 d	0,153 d	0,197 b	0,189 cb	0,248 a	0,249 a	0,141 d	0,163 cd
IE	0,014 a	0,008 a	-0,033 b	-0,039 b	0,010 a	-0,001 a	0,002 a	0,020 a
MG	0,167 d	0,184 c	0,268 a	0,261 a	0,165 d	0,158 d	0,202 b	0,202 b
GE	0,478 cb	0,495 b	0,441 c	0,443 c	0,577 a	0,616 a	0,355 d	0,344 d
RG	0,799 c	0,849 b	0,840cb	0,820 cb	0,935 a	0,945 a	0,682 d	0,702 d

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

A densidade de plantas afetou significativamente a heterose de todos os caracteres, com exceção do índice de área foliar. A densidade de 70 mil plantas por hectare afetou negativamente a heterose do caráter altura de planta, diferindo das demais densidades, que não diferiram entre si. Esse comportamento era esperado para a maior densidade, já que a maior competição por luz provocaria o estiolamento das plantas. O índice de espiga reduziu a heterose nas três maiores densidades (60, 70 e 80 mil plantas por hectare), fato este esperado pela maior competição entre as plantas, por nutrientes e luz. A heterose em função da densidade teve comportamento similar para os caracteres massa de grãos e rendimento de grãos, apesar de apresentar valores superiores para rendimento de grãos. Nesses caracteres, a heterose foi maior na densidade de 50 mil, igual nas densidades de 60 e 70 mil, e menor na

densidade de 80 mil plantas por hectare (Tabela 10). Como a heterose sempre está relacionada com a média dos genitores nas respectivas densidades, pode-se afirmar que os caracteres altura de planta e índice de área foliar variam proporcionalmente nos genitores e nos híbridos simples, e que os caracteres índice de espiga, massa de grãos, grãos por espiga e rendimento de grãos, são mais afetados negativamente nos híbridos simples do que nos genitores, nas densidades estudadas. Isso sugere que os genitores possuem uma maior tolerância ao aumento da densidade de plantas, se comparado aos híbridos simples e recíprocos. A menor estatura de planta dos genitores pode estar associada a essa maior tolerância à elevadas densidades, já que híbridos simples são mais vigorosos e mais competitivos por luz e nutrientes.

Tabela 10 - Heterose média para os caracteres de oito genótipos em dois ambientes, nas densidades de 50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Densidade	Caracteres					
	AP	IAF	IE	MG	GE	RG
50	0,158 a*	0,186 a	0,014 a	0,214 a	0,483 a	0,907 a
60	0,154 a	0,171 a	-0,006 b	0,205 b	0,483 a	0,829 b
70	0,147 a	0,194 a	-0,012 b	0,199 b	0,471 a	0,808 b
80	0,155 a	0,190 a	-0,005 b	0,185 c	0,438 b	0,743 c

* Médias não seguidas pela mesma letra na coluna, diferem pelo teste de Duncan (5%).

Em estudo semelhante, foi demonstrado que o efeito da densidade de plantas sobre a heterose do rendimento de grãos foi significativamente maior nas densidades superiores e assim sugerido que os híbridos são mais tolerantes do que os genitores (que são as linhagens endogâmicas) ao estresse de elevadas densidades, concordando com a hipótese de que a heterose confere tolerância ao estresse (LIU; TOLLENAAR, 2009). Como visto anteriormente, esses resultados são contraditórios aos obtidos no presente estudo, e podem ser explicados pelo fato de que, as maiores densidades avaliadas no trabalho de Liu; Tollenaar (2009) são da ordem de 120000 plantas por hectare, densidade esta impraticável nos dias de hoje na agricultura brasileira, e não avaliada no presente estudo.

Analisando as médias dos caracteres em dois ambientes e quatro densidades de plantas, nos genitores e híbridos, percebe-se que os maiores valores de cada caráter foram observados no conjunto de híbridos. Merece destaque para o caráter rendimento de grãos, por

apresentar um valor aproximadamente 224% superior nos híbridos em comparação com os genitores. Uma exceção ocorreu no caráter índice de espiga, sendo significativamente superior nos genitores (Tabela 11), resultando em heterose negativa, conforme discutido anteriormente.

Tabela 11 - Comparação das médias dos cinco genitores com as médias dos oito híbridos para cada caráter estudado, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Caráter	Médias	
	Genitores	Híbridos
AP	208,8 b*	267,5 a
IAF	4,1 b	5,8 a
IE	1,1 a	1,0 b
MG	269,1 b	376,7 a
GE	205,6 b	361,5 a
RG	6,6 b	14,8 a

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

Na média geral dos oito híbridos em quatro densidades de plantas e dois ambientes, não constatou-se diferença significativa ou efeito recíproco entre os caracteres avaliados, quando o genitor P1 foi utilizado como genitor masculino no cruzamento ou quando o mesmo genitor foi utilizado como feminino (Tabela 12).

Tabela 12 - Efeito recíproco dos caracteres de acordo com as médias dos oito híbridos simples e recíprocos nos dois ambientes e quatro densidades de plantas, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Caráter	Médias	
	P1 = feminino	P1 = masculino
AP	268,6 a*	266,5 a
IAF	5,8 a	5,9 a
IE	1,0 a	1,1 a
MG	376,8 a	376,8 a
GE	359,4 a	363,7 a
RG	14,8 a	14,9 a

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

Houve efeito recíproco para o caráter altura de planta somente na densidade de 50 mil plantas por hectare, sendo que a altura de planta foi maior quando o genitor P1 foi utilizado como feminino, na respectiva densidade. Já o índice de área foliar foi significativamente inferior na densidade de 60 mil quando esse mesmo genitor P1 foi utilizado como feminino, apresentando efeito recíproco nessa densidade e não diferindo nas demais. Os caracteres índice de espiga, massa de grãos, grãos por espiga e rendimento de grãos, não apresentaram efeito recíproco, independentemente do sentido do cruzamento e da densidade de plantas utilizada (Tabela 13).

Tabela 13 - Efeito recíproco (ER) nos caracteres avaliados do genitor P1 quando feminino (1) e quando masculino (2) (1=feminino; 2=masculino), dentro de cada densidade de plantas (50, 60, 70 e 80 mil plantas por hectare), em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

ER	Caráter							
	AP				IAF			
	50	60	70	80	50	60	70	80
1	270,3 a*	267,0 a	269,1 a	268,0 a	4,6 a	5,3 b	6,3 a	7,0 a
2	262,5 b	267,8 a	268,4 a	267,3 a	4,7 a	5,4 a	6,3 a	7,0 a
	IE				MG			
1	1,1 a	1,1 a	1,0 a	1,0 a	387,8 a	380,9 a	371,9 a	366,5 a
2	1,1 a	1,0 a	1,0 a	1,0 a	383,9 a	381,4 a	373,9 a	367,9 a
	GE				RG			
1	374,5 a	368,9 a	357,2 a	337,6 a	13,4 a	14,4 a	15,5 a	15,8 a
2	376,2 a	376,6 a	361,8 a	340,1 a	13,7 a	14,5 a	15,5 a	15,9 a

* Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem pelo teste de Duncan (5%).

O comportamento dos caracteres no grupo dos oito híbridos gerados a partir dos cinco genitores pode ser verificado na tabela 14. O efeito recíproco foi significativo para o caráter altura de planta apenas no híbrido P1P2, comparado com seu recíproco P2P1, sendo superior no primeiro. Como os genitores P1 e P2 não diferem estatisticamente quanto à altura de planta (Tabela 15), essa diferença positiva encontrada no híbrido P1P2 está atrelada à maior heterose (apesar de não significativa) obtida na presença do genitor P1 como feminino (Tabela 9).

Observou-se diferença significativa no índice de área foliar apenas no híbrido P1P5 em comparação com seu recíproco P5P1, sendo superior neste último. Como o genitor P5 apresenta valor inferior de índice de área foliar em relação ao genitor P1, e esses híbridos não diferem quanto à heterose (Tabela 9), esse caráter foi influenciado majoritariamente pelo

genitor masculino, descartando a hipótese de haver efeito materno ou citoplasmático no controle deste caráter.

Tabela 14 - Comparação entre as médias de dois ambientes e quatro densidades de plantas, para os oito híbridos simples e seus recíprocos, em experimento conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Caráter	Híbridos							
	P1P2	P2P1	P1P3	P3P1	P1P4	P4P1	P1P5	P5P1
AP	252,3 c*	244,8 d	276,3 a	274,8 a	279,1 a	279,4 a	266,7 b	267,0 b
IAF	5,5 c	5,6 c	6,1 a	6,1 a	6,1 a	6,0 a	5,6 c	5,7 b
IE	1,0 de	1,0 e	1,0 de	1,0 de	1,1 a	1,1 ab	1,0 dc	1,1 bc
MG	347,2 d	355,4 c	404,7 b	401,0 b	334,2 e	330,5 e	421,1 a	420,3 a
GE	406,4 a	411,6 a	359,9 c	362,1 c	371,1 c	385,1 b	300,2 d	295,9 d
RG	14,7 c	15,2 b	15,6 a	15,3 b	14,8 c	14,9 c	14,0 d	14,2 d

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

Para o índice de espiga, não houve efeito recíproco em nenhum dos cruzamentos estudados, sendo que para massa de grãos, houve efeito recíproco apenas no híbrido P1P2 (Tabela 14). A heterose para esse caráter foi maior quando o genitor P2 foi utilizado como feminino (Tabela 9). Como o genitor P2 possui valor de massa de grãos inferior ao genitor P1 (Tabela 15), pode-se inferir que os alelos que favorecem o aumento do caráter massa de grãos foram herdados em sua grande maioria do genitor masculino no híbrido P2P1, ou que houve uma maior capacidade específica de combinação no recíproco, sugerida pela maior heterose observada no híbrido P2P1 (Tabela 9). Comportamento semelhante foi observado para o caráter grãos por espiga, apenas no híbrido P1P4 em relação ao seu recíproco P4P1, sendo o valor superior, também, no recíproco (Tabela 14). Porém, os alelos que controlam o aumento do caráter grãos por espiga, foram herdados majoritariamente do genitor feminino P4 no híbrido P4P1, pois é o genitor P4 aquele que possui maior valor médio de grãos por espiga neste cruzamento. Não houve diferença significativa na heterose do caráter grãos por espiga nos híbridos P1P4 e P4P1 (Tabela 9), indicando nesse caso, que o efeito recíproco pode ter sido em decorrência de um efeito materno ou citoplasmático (herança extracromossômica).

Tabela 15 - Comparação entre as médias dos caracteres dos cinco genitores utilizados no ensaio em dois ambientes e quatro densidades de plantas, conduzido no ano agrícola 2010/2011, em Cruz Alta, RS.

Caráter	Genitores				
	P1	P2	P3	P4	P5
AP	200,6 b*	203,4 b	218,4 a	197,3 b	224,5 a
IAF	4,4 a	4,1 c	4,4 a	3,6 d	4,3 b
IE	1,0 d	1,0 d	1,2 b	1,3 a	1,1 c
MG	267,8 b	252,3 d	259,2 c	234,4 e	332,0 a
GE	166,8 d	257,7 a	221,9 b	187,2 c	194,8 c
RG	4,6 d	7,1 b	7,4 b	6,2 c	7,7 a

* Médias não seguidas pela mesma letra (na linha) diferem pelo teste de Duncan (5%).

Esses resultados contraditórios indicam que o efeito recíproco observado não pode ser explicado somente pelo efeito materno ou herança extracromossômica. Há também um efeito paterno ou do genitor de origem, como já demonstrado. Gonzalo et al. (2007), estudando a influência do efeito recíproco sobre os fenótipos de milho, encontrou diferenças recíprocas significativas para o caráter massa de grãos e altura de plantas no estágio de desenvolvimento V₇, diferenças essas, majoritariamente controladas pelo genitor masculino, e justificou essas diferenças, ao menos em parte, pelo importante papel do DNA do esporófito no estabelecimento de diferenças entre os cruzamentos recíprocos em vários estágios de desenvolvimento. Sendo assim, as diferenças encontradas podem ser devidas ao efeito materno, ao efeito citoplasmático e ao efeito do genitor paterno que deu origem ao híbrido.

O rendimento de grãos apresentou efeito recíproco diferente em dois híbridos simples, envolvendo o genitor P1, indicando que além de efeitos gênicos aditivos, pode-se explorar a heterose e a capacidade específica de combinação, em conjunto com o efeito recíproco, pois existe um genitor contribuindo majoritariamente no controle do caráter. No primeiro caso, do híbrido P1P2 e seu recíproco P2P1, o rendimento foi superior no cruzamento recíproco (Tabela 14), havendo também heterose em favor do recíproco P2P1 (Tabela 9). Já no segundo caso, do híbrido P1P3 e seu recíproco P3P1, o rendimento foi superior no híbrido simples P1P3, onde não observou-se diferença no valor da heterose para o caráter rendimento de grãos entre esses dois híbridos (Tabela 9). Isoladamente, tanto o genitor P2 quanto o genitor P3, apresentaram rendimentos superiores ao do genitor P1 (Tabela 15). Portanto, novamente, o efeito recíproco observado não pode ser explicado somente pelo efeito materno ou herança

extracromossômica, pois há também efeito do genitor paterno que originou o híbrido, contribuindo para o aumento de rendimento de grãos no híbrido P3P1.

Esse comportamento diferenciado e contraditório nesses dois cruzamentos mostra a importância do estudo da combinação específica e recíproca entre os genitores, que gera diferentes valores para o caráter rendimento de grãos, mesmo que, em alguns casos, não seja encontrada significância para efeito recíproco e efeito materno, para as estimativas de rendimento de grãos (JUMBO; CARENA, 2008). Quando não há significância do efeito recíproco, os pares recíprocos têm contribuições nucleares genéticas similares. Qualquer diferença no desempenho de pares recíprocos é devido a um efeito materno ou paterno, e efeito materno é considerado resultado de efeitos não-aditivos dos genes (ROACH; WULFF, 1987).

O fato de ter-se observadas diferenças recíprocas em 50% dos híbridos avaliados no presente estudo, reforça ainda mais a importância do efeito recíproco e de estudos nessa linha de pesquisa.

Para fins de caracterização e visando um melhor entendimento no comportamento dos caracteres nos híbridos simples e recíprocos, os mesmos caracteres foram estudados nos genitores que geraram os oito híbridos. Percebe-se que os genitores P3 e P5 apresentaram significativamente as maiores alturas de plantas, seguidas pelos demais, que não diferiram entre si (Tabela 15). Uma baixa estatura de planta é uma característica desejada nos híbridos modernos, por diminuir a possibilidade de acamamento, quebra de colmo e facilitar a colheita mecanizada.

Seguindo o estudo dos demais caracteres dentro do grupo de genitores, nota-se que o genitor P1, juntamente com o P3, apresentaram os maiores valores de índice de área foliar, diferindo significativamente dos demais genitores. O caráter índice de espiga teve seu maior valor obtido no genitor P4, ou seja, esse genitor é o mais prolífero do grupo avaliado. Cerca de 30% das plantas tiveram presença de segunda espiga no genitor P4. Já o genitor P2 apresentou o maior valor de grãos por espiga. Finalmente, o genitor P5 apresentou os maiores valores de massa e rendimento de grãos, demonstrando ser a mais produtiva. Esse genitor, apesar de apresentar um número intermediário de grãos por espiga, se comparada com os demais genitores, teve seu rendimento de grãos compensado pelo maior tamanho de grãos (verificado através da maior massa de mil grãos) (Tabela 15).

Visando a produção de sementes, dentro do grupo de genitores e cruzamentos propostos, e desconsiderando qualquer outro fator, como o efeito recíproco e heterose no cruzamento, em nenhum dos casos se recomenda utilizar o genitor P1 como feminino, dado o

baixo rendimento de grãos (Tabela 15). Mesmo considerando-se que a maior parte das indústrias de sementes vendem por número e não por massa de sementes, ao se dividir as 4,6 toneladas por 267,8 gramas (que correspondem a mil grãos) e transformar-se o valor resultante no padrão mais comum de venda de sementes no Brasil (sacos de 60000 sementes), obtêm-se um rendimento de 268,3 sacos por hectare no genitor P1. Seguindo o mesmo raciocínio de cálculo, obtêm-se 469,0 sacos no genitor P2, 475,8 sacos no genitor P3, 440,8 sacos no genitor P4 e 386,5 sacos por hectare no genitor P5. Portanto, vale destacar que, nem sempre o genitor com maior rendimento de grãos, é aquele com maior rendimento de sementes, nesse padrão de comércio. Isso fica comprovado pelo fato de que, dentre os cinco genitores avaliados, aquele com maior rendimento de grãos (P5) ficou apenas em quarto lugar (penúltimo colocado) no rendimento médio de sementes. Finalmente, em todos os cruzamentos propostos, o genitor P1 deve ser utilizado como fornecedor de pólen ou genitor masculino, para obterem-se maiores rendimentos em campos de produção de sementes, se não considerado o desempenho agrônômico dos híbridos simples e recíprocos.

4.4 Conclusões

A escolha da densidade de plantas é uma prática de manejo muito importante para maximizar o rendimento de híbridos de milho.

O caráter altura de planta não é influenciado pela densidade de plantas.

As estimativas de heterose comprovam que os genitores possuem maior tolerância ao aumento da densidade de plantas, se comparados aos híbridos simples e recíprocos.

O potencial de rendimento dos híbridos é influenciado pela capacidade específica de combinação, e existe efeito recíproco significativo para os caracteres altura de planta, índice de área foliar, massa de grãos, grãos por espiga e rendimento de grãos.

O efeito recíproco é controlado tanto pelo genitor masculino quanto pelo feminino, ou seja, não há comportamento padrão.

O genitor P1 deveria ser utilizado sempre como genitor masculino, para a obtenção dos maiores rendimentos em campos de produção de sementes. No entanto, dada a importância o potencial de rendimento do híbrido comercial, deve-se considerar o efeito recíproco e a capacidade específica de combinação na escolha do genitor.

Não havendo efeito recíproco, opta-se pelo genitor feminino mais produtivo, caso contrário, a escolha deve ser baseada na melhor combinação específica.

5 CAPÍTULO II - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO SOB MANEJO PARA ALTO RENDIMENTO

5.1 Introdução

As regiões produtoras de milho nos estados do Sul do Brasil possuem condições edofoclimáticas diversas. Nesses locais, o milho é cultivado sob diferentes sistemas de produção, quando considerado o grau de tecnologia adotado, o manejo de pragas e doenças, o potencial produtivo dos genótipos cultivados, entre outros.

O rendimento de grãos dos diferentes genótipos dentro desta ampla zona de produção é afetado pelo ambiente (TOLLENAAR; LEE, 2002; BECKER; LEON, 1988), que pode variar entre locais e anos, sendo, neste caso, ainda influenciado pela interação entre genótipos e ambiente, ou seja, mudanças na forma com que cada genótipo responde à variação ambiental (MUNGOMERY et al., 1974; VERNETTI et al., 1990). Nestes casos, o estudo detalhado da interação genótipo x ambiente serve para caracterizar e permitir determinar quais são os melhores genótipos para as diferentes condições ambientais. Desta forma, se soubermos o comportamento de diversos genótipos de milho nessas condições ambientais, podemos inferir sobre os genótipos mais produtivos e mais bem adaptados, podendo-se ainda, identificar um genótipo estável ou que responda positivamente às melhorias das condições ambientais (MINOR; BERLATO, 1977).

Nos programas de melhoramento, a existência da interação genótipo x ambiente é determinante para desenvolvimento de novos genótipos, influenciando o ganho de seleção e dificultando a recomendação de genótipos com ampla estabilidade. Por isso, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais torna-se possível a identificação de genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações ambientais em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Nesse contexto, a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos em assimilarem vantajosamente o estímulo ambiental, uma vantagem do ponto de vista do rendimento agrícola, isto é, a adaptabilidade é avaliada pelo desempenho médio do genótipo. Já a estabilidade é definida como a capacidade dos genótipos de exibirem um desempenho, o mais constante possível, em função das variações da qualidade do ambiente (MACHADO et al., 2008). A adaptabilidade pode ser definida como sendo o desempenho de um genótipo no

espaço (local) e estabilidade, o desempenho no tempo (anos) (VENCOVSKY; TORRES, 1988). Sendo assim, um genótipo é considerado estável se o seu desempenho é relativamente constante em ambientes variados (ALWALA et al., 2010). A identificação de genótipos com maior estabilidade fenotípica é a alternativa que tem sido mais amplamente empregada, uma vez que pode ser aplicada nas mais variadas situações (ALVES et al., 2006).

Vários autores têm buscado relacionar a estabilidade de rendimento com a base genética dos diferentes tipos de milho disponíveis no mercado (híbridos simples, híbridos duplos, híbridos triplos e cultivares). Costa et al. (2010), em trabalho onde compara o desempenho produtivo, a adaptabilidade e a estabilidade de híbridos simples, triplos e duplos originados de um mesmo conjunto de linhagens de milho, verificaram que, em média, os híbridos duplos são os que menos contribuem para a interação genótipos x ambientes, seguidos pelos híbridos triplos e simples. Por outro lado, foram encontradas importantes variações de rendimento, estabilidade e responsividade entre os diferentes genótipos testados, dentro dos diferentes tipos, indicando que não existe uma relação direta entre a estabilidade de rendimento e os tipos de híbridos (ALVES et al., 2006), também verificado por Ribeiro et al. (2000). Em estudos semelhantes, houveram relatos de que os híbridos duplos foram, em média, mais estáveis; contudo, identificaram-se híbridos simples tão estáveis quanto os híbridos duplos (MACHADO et al., 2008). Essas diferenças de comportamento justificam estudar a interação genótipo x ambiente, visando fornecer mais subsídios e maior compreensão do comportamento de diferentes genótipos de milho quando submetidos à diferentes condições ambientais e de manejo.

São vários os métodos de análise de estabilidade e adaptabilidade de genótipos sob interação com os ambientes. No entanto, a análise de estabilidade fenotípica de genótipos, através do modelo de regressão bi-segmentada, possui maior flexibilidade para a caracterização das diferentes respostas dos genótipos à variação ambiental, em relação ao modelo de regressão linear simples. Neste sentido, os modelos bi-segmentados descontínuos são apropriados devido à simplicidade na interpretação (STORCK, 1995; MARODIM et al., 2000) e por ter uma estimação e teste de hipótese adequada ao efeito dos erros nas variáveis independentes (STORCK; VENCOVSKY, 1994).

Devido ao elevado preço comercial do grão de milho nos últimos anos, a agricultura brasileira tem experimentado um sistema de produção com a adoção de tecnologias de ponta para manejo de pragas e doenças, utilização de maiores quantidades de fertilizantes, e cultivo de genótipos de milho com elevado potencial de rendimento, sobretudo pela valorização e a sabida importância desse grão. No entanto, a literatura carece de estudos de interações entre

genótipos e ambientes e da adaptabilidade e estabilidade de genótipos envolvendo essas condições de manejo, que vem sendo bastante difundidas entre os agricultores brasileiros. Estes estudos, além de auxiliar os produtores, servem de base para os melhoristas na busca e lançamento de novos genótipos.

Sendo assim, um genótipo de milho de elevado potencial genético, cultivado em condições de alto padrão de manejo (irrigação suplementar, adubação, tratos culturais) pode ter um comportamento diferenciado ao ser submetido à comparações em diferentes anos e/ou locais. Portanto, faz-se necessário o estudo de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho em diversos ambientes, sob condições superiores de manejo visando à obtenção de altos rendimentos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de híbridos de milho em ambientes manejados para altos níveis de rendimento, através da análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

5.2 Material e métodos

Um total de 48 ambientes, constituídos por 12 locais e quatro anos (2005, 2006, 2007 e 2008), foi usado para a avaliação do rendimento de grãos de milho referentes a dez híbridos desenvolvidos para altos níveis de manejo. As características relacionadas ao local, estado, município, coordenadas geográficas (latitude e longitude) e a altitude média de cada área onde foram conduzidos os experimentos de competição de híbridos em quatro anos, estão expostas na tabela 16. Os híbridos utilizados na condução dos ensaios, pertencentes à diferentes tipos e ciclos de maturação, são oriundos de três empresas privadas (Tabela 17).

A semeadura dos ensaios em cada ano foi realizada dentro do período recomendado para safra de verão dos estados do Sul do Brasil, ou seja, nos meses de setembro e outubro. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições. Cada parcela constou de duas fileiras de 4,2 metros de comprimento, com espaçamento de 0,75 m entre linhas e densidade de 70 mil plantas por hectare.

Tabela 16 - Estado, município, latitude, longitude e altitude das áreas que compõe cada local onde foram conduzidos os ensaios de milho.

Local	Estado (UF)	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
1	PR	Abelardo Luz	26 ⁰ 34'	52 ⁰ 20'	800
2	PR	Cascavel	24 ⁰ 58'	53 ⁰ 23'	700
3	PR	Clevelândia	26 ⁰ 24'	52 ⁰ 22'	1000
4	PR	Entre Rios	25 ⁰ 35'	51 ⁰ 40'	900
5	PR	Pinhão	25 ⁰ 41'	51 ⁰ 40'	1100
6	PR	Toledo*	24 ⁰ 40'	53 ⁰ 46'	600
7	RS	Carazinho	28 ⁰ 17'	52 ⁰ 46'	550
8	RS	Cruz Alta*	28 ⁰ 38'	53 ⁰ 34'	450
9	RS	Passo Fundo*	28 ⁰ 13'	52 ⁰ 22'	700
10	RS	Sarandi*	27 ⁰ 56'	52 ⁰ 55'	500
11	SC	Faxinal dos Guedes	26 ⁰ 51'	52 ⁰ 15'	1000
12	SC	Irani	27 ⁰ 01'	51 ⁰ 52'	1000

* Com irrigação suplementar por pivô central

Tabela 17 - Nome comercial, tipo de híbrido, ciclo e empresa produtora de sementes dos dez híbridos de milho.

Nome	Tipo de híbrido	Ciclo	Empresa
2A120	Híbrido Simples Comercial	Hiperprecoce	Dow AgroSciences
30F35	Híbrido Simples Comercial	Precoce	Pioneer Sementes
30F36	Híbrido Simples Comercial	Precoce	Pioneer Sementes
30F53	Híbrido Simples Comercial	Precoce	Pioneer Sementes
30K64	Híbrido Simples Comercial	Precoce	Pioneer Sementes
30P34	Híbrido Triplo Comercial	Precoce	Pioneer Sementes
30R50	Híbrido Simples Comercial	Precoce	Pioneer Sementes
32R48	Híbrido Simples Comercial	Superprecoce	Pioneer Sementes
AG8041	Híbrido Simples Comercial	Superprecoce	Sementes Agrocere
TEST*	Híbrido Triplo	Precoce	Pioneer Sementes

* Híbrido utilizado como testemunha de ciclo e qualidade de grãos, não indicado pela pesquisa para as condições de onde o experimento foi conduzido.

As adubações foram realizadas de acordo com a recomendação baseada nos resultados das análises de solo, sendo utilizado como fonte de N, P e K a uréia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. O manejo da adubação e tratos culturais foram realizados para expectativas de elevado rendimento. Dos 12 locais estudados, quatro deles (Cruz Alta, Passo Fundo e Sarandi, no Rio Grande do Sul; e Toledo no Paraná) tiveram irrigação suplementar por pivô central. Para determinação do rendimento de grãos, foram

colhidas integralmente as duas fileiras de cada parcela, correspondendo a uma área útil de 6,3 m². O rendimento de grãos foi ajustado para 13% de umidade e submetido à análise de variância.

A análise de variância conjunta foi procedida pelo modelo descrito como sendo: $y_{ijk} = m + c_i + \tau_j + \lambda_{ij} + b_{k(j)} + e_{ijk}$, onde: y_{ijk} = é a resposta observada para a variável y na repetição k do híbrido i no ambiente j ; m = é a média geral esperada do conjunto de experimentos; c_i = é o efeito esperado do híbrido i ; τ_j = é o efeito aleatório do ambiente j ; λ_{ij} = é o efeito aleatório da interação do híbrido i com o ambiente j ; $b_{k(j)}$ = é o efeito aleatório do bloco k no ambiente j ; e_{ijk} = é o efeito aleatório do erro experimental referente à observação ijk .

Havendo variação da interação e de ambiente significativos, foi procedido o desdobramento da fonte de variação “interação mais ambiente” em “ambiente dentro de híbridos”. Para os híbridos em que a variância de ambientes foi significativa, pode-se proceder a análise de adaptabilidade e estabilidade pelo modelo bi-segmentado descontínuo, com erros de medidas nas variáveis (STORCK; VENCOVSKY, 1994), cujo modelo é caracterizado pela relação funcional e estrutural:

$$\bar{Y}_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}\tau_j + \beta_{2i}\tau_j Z_j + \beta_{3i}Z_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$$\hat{\tau}_j = \tau_j + \nu_j$$

$$\hat{\tau}_j Z_j = \tau_j Z_j + \nu_j Z_j$$

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{se } \hat{\tau}_j > 0 \\ 0, & \text{se } \hat{\tau}_j \leq 0 \end{cases}$$

em que: \bar{Y}_{ij} é a média do i -ésimo híbrido no j -ésimo ambiente, β_{0i} é o valor da função no ponto $\tau_j = 0$ do primeiro segmento do híbrido i , β_{1i} é a inclinação do primeiro segmento de reta do híbrido i , β_{2i} é a diferença de inclinação entre os dois segmentos de reta do híbrido i , tal que $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ é a inclinação do segundo segmento de reta, β_{3i} mede a descontinuidade entre os dois segmentos de reta do híbrido i , δ_{ij} é o desvio da observação ao modelo, tal que $E(\delta_{ij}^2) = \sigma_{\delta}^2$; ε_{ij} é o erro associado ao estimador \bar{Y}_{ij} , independente de δ_{ij} com esperança zero e variância σ_{ε}^2 ; τ_j é o índice ambiental j (não observável), de efeito aleatório, estimado por $\hat{\tau}_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...}$ e associado ao erro de estimativa ν_j . As estimativas dos parâmetros, para cada

híbrido, foram obtidas pelo método dos momentos. As hipóteses $H_0: \beta_{1i}=1$; $H_0: \beta_{2i}=0$ e $H_0: \beta_{3i}=0$, para o híbrido i , foram testadas pelo teste t . Para as análises foi usado um aplicativo computacional em linguagem Pascal, específica para o modelo (STORCK; VENCOSKY, 1994).

O comportamento dos híbridos de milho em relação à adaptabilidade e estabilidade foi estudado em função do rendimento médio, nos ambientes inferiores e/ou superiores e no geral, comparado com o rendimento médio geral de todos os híbridos nessas condições; em função das estimativas dos parâmetros da equação bi-segmentada descontínua; e, por fim, em função da qualidade do ajustamento, ou seja, do maior coeficiente de determinação (R^2) ou menor variância dos desvios do modelo ($\hat{\sigma}_\alpha^2$).

5.3 Resultados e discussão

A variância ambiental, as diferenças entre híbridos e a interação híbrido x ambiente foram significativas ($p<0,01$), condição considerada adequada para a análise de estabilidade (Tabela 18). Sendo assim, os efeitos dos ambientes sobre o rendimento de grãos não são os mesmos para todos os híbridos. Também, a variação ambiental dentro dos híbridos foi significativa ($p<0,01$), permitindo o ajuste de modelos de regressão do rendimento de cada híbrido em relação à variável independente índice ambiental. A interação entre híbridos e ambientes significativa ($p<0,01$), indica que, mesmo em condições de elevado manejo, a variação do rendimento de grãos em função dos diferentes ambientes não é a mesma para os diferentes híbridos de milho.

As estimativas do coeficiente de determinação e da variância dos desvios tem o mesmo significado e visam avaliar o grau de adaptabilidade dos híbridos. No entanto, a variância dos desvios pode ser submetida ao teste de hipótese com correção dos erros devido à variável índice ambiental. A variância dos desvios do modelo bi-segmentado descontínuo ($\hat{\sigma}_\alpha^2$) para os ambientes dentro de cada híbrido situou-se entre 0,371 e 1,634, sendo significativos para todos os híbridos, a 1% de probabilidade pelo teste t , o que indica comportamento imprevisível nos ambientes estudados, mostrando ser baixa a capacidade geral de adaptação à novos ambientes. Visando classificar os híbridos em diferentes grupos, dois critérios desejáveis seriam um alto coeficiente de determinação ou variância dos desvios não

significativa, ou pelo menos, abaixo da média. Os híbridos 30F36, 30F53, 30R50 e AG8041 apresentaram menor variância dos desvios segundo este critério, com valores situando-se abaixo da média (0,836, 0,371, 0,743 e 1,054, respectivamente), demonstrando boa adaptabilidade.

Tabela 18 - Fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de determinação (R^2) e variância dos desvios ($\hat{\sigma}_{\alpha}^2$) do modelo bi-segmentado descontínuo para dez híbridos de milho em 48 ambientes.

FV	GL	QM	$R^2(\%)$	$\hat{\sigma}_{\alpha}^2$
Bloco/Ambiente	48	2,6842*		
Ambiente (A)	47	77,4734*		
Híbrido (H)	9	84,8163*		
Interação HxA	423	2,8906*		
Ambiente/Híbrido	470	10,3488*		
Amb/2A120	47	8,5437*	65,5	1,358*
Amb/30F35	47	13,1917*	81,3	1,095*
Amb/30F36	47	10,7893*	81,5	0,836*
Amb/30F53	47	6,9835*	84,3	0,371*
Amb/30K64	47	10,3557*	74,7	1,176*
Amb/30P34	47	12,3594*	72,0	1,634*
Amb/30R50	47	10,0807*	81,7	0,743*
Amb/32R48	47	10,3974*	74,4	1,190*
Amb/AG8041	47	10,5378*	77,4	1,054*
Amb/TEST	47	10,2491*	70,8	1,364*
Erro	432	0,4683		
Média	-	-	76,4	1,082

* Significativo ($p < 1\%$).

Os coeficientes de variação oscilaram entre 1,36% e 13,02%, com média de 5,43%, conferindo muito boa precisão experimental aos ensaios (Tabela 19). Esse coeficiente de variação médio situa-se abaixo dos obtidos por outros autores, quando conduziram ensaios semelhantes (ALVES et al., 2006; MACHADO et al., 2008; COSTA et al., 2010). No entanto, o coeficiente de determinação é mais adequado do que o coeficiente de variação para se avaliar a precisão experimental em ensaios de competição de genótipos de milho (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2009), pois os rendimentos médios diferem muito entre os trabalhos conduzidos sob diferentes condições ambientais e de manejo. Portanto, o coeficiente de variação, por estar associado à média e à variância residual, é medida adequada

de precisão experimental somente para comparar ensaios com médias semelhantes (CARGNELUTTI FILHO; STORCK, 2007).

A média dos coeficientes de determinação obtida nesse trabalho foi baixa se comparada com outros autores. Enquanto neste estudo os coeficientes de determinação apresentaram uma média de 76,4%, variando de 65,5 a 84,3% (Tabela 18), em trabalhos usando o mesmo modelo, as médias obtidas para o coeficiente de determinação foram superiores a 90% (STORCK; VENCOVSKY, 1992; STORCK, 1995; MARODIM et al., 2000). Porém, ainda analisando o coeficiente de determinação médio desse trabalho, visando obter maiores subsídios para avaliar a precisão experimental, pode-se inferir que, de acordo com os dados obtidos para o mesmo, a precisão experimental pode ser classificada como alta ($R^2=76,4$), segundo os critérios propostos por Cargnelutti Filho; Storck (2009), onde definiram que a precisão é alta quando o coeficiente de determinação estiver no intervalo de 0,6623 a 0,8403 ($0,6623 \leq R^2 < 0,8403$). Além disso, aqueles híbridos que apresentaram valores do coeficiente de determinação acima de 80% não devem ter o grau de previsibilidade comprometido, segundo Cruz et al. (1989). Dessa forma, de acordo com as estimativas do coeficiente de determinação obtidas, os híbridos 30F35, 30F36, 30F53 e 30R50 expressaram bom ajustamento ao modelo da regressão nos ambientes considerados ($R^2 > 80\%$).

Dentre os 48 ambientes estudados, o rendimento médio de grãos variou de 5,609 t ha⁻¹ em Clevelândia/PR no ano de 2005 (devido à estiagem prolongada), a 15,238 t ha⁻¹ em Pinhão/PR no mesmo ano. Por consequência disso, esses ambientes obtiveram o mais baixo (-6,570) e o mais alto (3,06) índice ambiental, respectivamente (Tabela 19). Esse fato era esperado, uma vez que as condições ambientais diferiram bastante em relação a alguns fatores, como por exemplo, à precipitação (dados não apresentados).

Tabela 19 – Estado, município, ano, rendimento médio (RM) em t ha⁻¹, índice ambiental (IA) e coeficiente de variação (CV) nos 48 ambientes em que os ensaios de competição foram conduzidos.

(continua)						
Ambiente	Estado	Município	Ano	RM	IA	CV (%)
1	PR	Abelardo Luz	2005	10,333	-1,845	4,81
2	PR	Abelardo Luz	2006	13,037	0,858	2,24
3	PR	Abelardo Luz	2007	12,766	0,588	4,00
4	PR	Abelardo Luz	2008	10,897	-1,281	4,21
5	RS	Carazinho	2005	8,945	-3,234	3,06
6	RS	Carazinho	2006	12,056	-0,123	8,07
7	RS	Carazinho	2007	9,642	-2,536	9,23

Tabela 19 – Estado, município, ano, rendimento médio (RM) em t ha⁻¹, índice ambiental (IA) e coeficiente de variação (CV) nos 48 ambientes em que os ensaios de competição foram conduzidos.

Ambiente	Estado	Município	Ano	RM	(conclusão)	
					IA	CV (%)
8	RS	Carazinho	2008	9,662	-2,516	6,36
9	PR	Cascavel	2005	13,081	0,902	4,95
10	PR	Cascavel	2006	12,543	0,365	3,88
11	PR	Cascavel	2007	12,083	-0,096	5,92
12	PR	Cascavel	2008	13,385	1,206	4,91
13	PR	Clevelândia	2005	5,609	-6,57	13,02
14	PR	Clevelândia	2006	13,021	0,843	3,83
15	PR	Clevelândia	2007	13,892	1,713	3,90
16	PR	Clevelândia	2008	11,071	-1,108	7,90
17	RS	Cruz Alta	2005	14,552	2,374	7,69
18	RS	Cruz Alta	2006	13,785	1,606	5,46
19	RS	Cruz Alta	2007	9,81	-2,368	5,73
20	RS	Cruz Alta	2008	14,298	2,12	8,49
21	PR	Entre Rios	2005	14,208	2,03	5,44
22	PR	Entre Rios	2006	13,198	1,02	4,16
23	PR	Entre Rios	2007	10,205	-1,974	6,98
24	PR	Entre Rios	2008	11,227	-0,951	7,36
25	SC	Faxinal dos Guedes	2005	10,019	-2,16	4,57
26	SC	Faxinal dos Guedes	2006	12,883	0,705	4,84
27	SC	Faxinal dos Guedes	2007	14,046	1,868	5,12
28	SC	Faxinal dos Guedes	2008	13,282	1,104	8,73
29	SC	Irani	2005	13,331	1,153	4,92
30	SC	Irani	2006	13,309	1,131	1,36
31	SC	Irani	2007	11,303	-0,875	5,75
32	SC	Irani	2005	14,998	2,819	6,77
33	RS	Passo Fundo	2005	13,599	1,421	5,32
34	RS	Passo Fundo	2006	13,184	1,006	4,27
35	RS	Passo Fundo	2007	15,064	2,885	5,13
36	RS	Passo Fundo	2008	14,652	2,473	2,07
37	PR	Pinhão	2005	15,238	3,06	2,74
38	PR	Pinhão	2006	13,582	1,403	2,77
39	PR	Pinhão	2007	11,266	-0,913	6,83
40	PR	Pinhão	2008	9,528	-2,651	8,16
41	RS	Sarandi	2005	10,106	-2,073	3,57
42	RS	Sarandi	2006	12,035	-0,144	5,28
43	RS	Sarandi	2007	10,571	-1,608	5,28
44	RS	Sarandi	2008	10,302	-1,877	3,99
45	PR	Toledo	2005	10,275	-1,904	4,22
46	PR	Toledo	2006	13,485	1,307	4,13
47	PR	Toledo	2007	12,648	0,469	7,20
48	PR	Toledo	2008	12,559	0,381	6,08
Média	-	-	-	12,179	0,000	5,43

De acordo com as estimativas dos parâmetros do modelo utilizado, um híbrido desejado é aquele que se identifica com a metade inicial de uma curva de crescimento ($\hat{\beta}_1 < 1$, $\hat{\beta}_2 > 0$, $\hat{\beta}_3 > 0$) e com uma boa altura na curva (elevada estimativa de $\hat{\beta}_0$), principalmente na primeira metade e, além disso, que tenha um rendimento médio superior ao rendimento médio geral dos híbridos, tanto em ambientes inferiores quanto em ambientes superiores, sendo, portanto, também superior no rendimento médio geral. Esse híbrido poderia ser recomendado para todo e qualquer tipo de ambiente, devido a forma de resposta ao ambiente e ao alto potencial produtivo. Para auxiliar os melhoristas no processo de desenvolvimento e avanço de híbridos, essas médias dos híbridos nos ambientes inferiores (MI), nos ambientes superiores (MS) e na média geral (MG), juntamente com as estimativas dos outros parâmetros, podem ser usados para selecionar ou descartar os mesmos.

No presente estudo, a estimativa de $\hat{\beta}_0$ variou de 9,452 a 13,756, com média de 12,179, evidenciando o elevado rendimento nos ensaios conduzidos nos 48 ambientes durante os quatro anos (Tabela 20). A estimativa de $\hat{\beta}_1$, que avalia a resposta dos híbridos na faixa de ambientes desfavoráveis, variou de 0,5575 (melhor valor, no híbrido TEST) a 1,2505 (pior valor, no híbrido 30R50), valores semelhantes aos observados por Carvalho et al. (2000), em outro grupo de genótipos. A estimativa de $\hat{\beta}_2$, que avalia a resposta dos híbridos nos ambientes favoráveis, variou de -0,8016 (pior valor, no híbrido 30R50) a 0,4236 (melhor valor, no híbrido 30F36), cujas estimativas são similares as obtidas por Storck; Vencovsky (1992). Já a estimativa de $\hat{\beta}_3$, que mede a descontinuidade entre os dois segmentos de reta variou de -1,015 (pior valor, no híbrido 2A120) a 1,452 (melhor valor, no híbrido TEST). São desejáveis valores da estimativa de $\hat{\beta}_3$ superiores a 0 (zero), pois neste caso, a continuidade da reta em ambientes favoráveis vai iniciar acima do valor mais elevado da reta em ambientes desfavoráveis.

O rendimento médio de grãos nos 48 ambientes foi de 12,179 t ha⁻¹, o que evidencia o alto potencial dos híbridos utilizados nos ensaios e o elevado grau de manejo adotado. Esse rendimento médio situa-se bem acima daqueles obtidos em vários outros estudos (SCHMILDT et al., 2011; KAPPES et al., 2011; FERREIRA; PATERNIANI; COSTA SANTOS, 2010; MACHADO et al., 2008, STORCK; BISOGNIN; CARGNELUTTI FILHO, 2005), acima do rendimento médio brasileiro (4,538 t ha⁻¹), e do rendimento médio para os estados do Sul (6,373 t ha⁻¹), obtidos na cultura do milho na primeira safra agrícola 2010/11 (CONAB, 2012).

Tabela 20 - Estimativas dos parâmetros do modelo bi-segmentado descontínuo, média geral (MG), média nos ambientes inferiores (MI) e média nos ambientes superiores (MS), em t ha⁻¹, referentes aos dez híbridos de milho.

Híbrido	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	MG	MI	MS
2A120	12,265	0,9720	0,2229	-1,015	11,874	10,469	12,967
30F35	11,525	1,1379	0,0928	0,041	11,623	9,422	13,335
30F36	13,153	0,9781	0,4236	-0,350	13,298	11,345	14,818
30F53	13,131	0,8943	0,0964	-0,297	13,042	11,478	14,258
30K64	11,670	0,9161	0,3704	-0,284	11,809	9,977	13,234
30P34	12,029	1,1095	-0,0650	-0,046	11,951	9,979	13,484
30R50	13,476	1,2505	-0,8016*	0,360	13,030	11,165	14,481
32R48	13,756	1,2447	-0,6439	-0,028	13,220	11,456	14,592
AG8041	11,330	0,9394	0,1306	0,166	11,529	9,594	13,033
TEST	9,452	0,5575*	0,1738	1,452	10,410	8,422	11,955
Média	12,179	1,0000	-0,0000	0,000	12,179	10,331	13,616

* Hipótese Ho: $\beta_{1i} = 1$; Ho: $\beta_{2i} = 0$ e Ho: $\beta_{3i} = 0$, rejeitada pelo teste t (p-valor<5%).

Os híbridos 30F36, 30F53, 30R50 e 32R48 destacaram-se, sendo superiores aos demais híbridos na média geral (MG), apresentando rendimento superior à média em ambientes inferiores (MI) e superior à média em ambientes superiores (MS). Estes mesmos quatro híbridos apresentaram as maiores estimativas de $\hat{\beta}_0$, que determina a altura da reta e conseqüente potencial de rendimento dos híbridos nos ambientes médios.

O híbrido 30F36 apresenta um rendimento 9,2% superior em relação a média geral, 9,8% superior a média em ambientes inferiores, e 8,8% superior a média em ambientes superiores. Seguindo a avaliação das demais estimativas para esse híbrido, verifica-se que o mesmo apresentou estimativa de $\hat{\beta}_0$ elevada ou acima da média (13,153); estimativa de $\hat{\beta}_1$ próximo de um (0,9781), ou seja, varia conforme a variação da média dos ambientes ($\hat{\beta}_1 < 1$); a maior estimativa de $\hat{\beta}_2$ (0,4236), indicando que ganha substancialmente mais comparado com os outros híbridos quando o valor ambiental aumenta acima da média ($\hat{\beta}_2 > 0$); juntamente com a maior inclinação do segundo segmento de reta (segmento dos ambientes favoráveis). Como essa inclinação é calculada pela soma das estimativas $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$, o valor dessa inclinação para o híbrido 30F36 foi de 1,4017 (0,9781+0,4236). Além disso, esse híbrido apresentou coeficiente de determinação superior a 80% ($R^2=81,5\%$) e variância dos desvios do modelo abaixo da média ($\hat{\sigma}_{\delta}^2=0,836$), indicando boa adaptabilidade. Portanto, o

híbrido 30F36 comporta-se mais adequadamente (apresenta elevado rendimento) em ambientes máximos ou superiores, sendo indicado para agricultores que adotam elevado padrão tecnológico de produção, como por exemplo, correção adequada do pH do solo, elevado uso de fertilizantes, bom controle de pragas e doenças, irrigação suplementar, entre outras práticas de manejo.

O híbrido 30F53 apresenta um rendimento médio 7,1% superior a média geral, 11,1% superior a média em ambientes inferiores e 4,7% superior a média dos ambientes superiores. A estimativa de $\hat{\beta}_0$ elevada; $\hat{\beta}_1$ menor que 1,0 (0,8943); $\hat{\beta}_2$ maior que 0 (zero) ($\hat{\beta}_2=0,0964$); e $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$ praticamente igual a 1,0 (0,9907), são indicadores de que, em ambientes inferiores, a redução de rendimento é menos expressiva, e que, em ambientes superiores, é mais responsivo à melhoria das condições ambientais e tecnológicas. Além disso, esse híbrido apresentou coeficiente de determinação superior a 80% ($R^2=84,3\%$), e a menor variância dos desvios do modelo ($\hat{\sigma}_{\hat{\alpha}}^2=0,371$) dentre o grupo de híbridos avaliados, comprovando a boa adaptabilidade. Esses fatores levam a classificar o híbrido 30F53 como próximo ao ideal, ou seja, indicado para cultivo em qualquer ambiente.

Analisando o híbrido 30R50, percebe-se que o mesmo apresenta características desejáveis, ou seja, rendimento médio 7,0% superior a média geral, 8,1% superior a média em ambientes inferiores e 6,4% superior a média dos ambientes superiores, além de uma estimativa $\hat{\beta}_0$ elevada ou acima da média (13,376). Porém, a estimativa de $\hat{\beta}_1$ maior que um (1,2505) e $\hat{\beta}_2$ menor que zero (-0,8016), aliado com a baixa inclinação da reta nos ambientes favoráveis ($\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2=0,4489$), são indicadores de que, em ambientes inferiores, a inclinação é forte; e que, em ambientes superiores, é pouco responsivo em rendimento com a melhoria das condições ambientais. No entanto, o coeficiente de determinação superior a 80% ($R^2=81,7\%$), e a variância dos desvios do modelo abaixo da média ($\hat{\sigma}_{\hat{\alpha}}^2=0,743$), indicam boa adaptabilidade. Esses comportamentos levam a recomendar o híbrido 30R50 apenas para ambientes médios.

Comportamento semelhante ao do híbrido 30R50 ocorreu com o híbrido 32R48, sendo também indicado para ambientes medianos, porém com menor adaptabilidade, devido ao valor do coeficiente de determinação abaixo de 80% ($R^2=74,4\%$) e à variância dos desvios do modelo acima da média ($\hat{\sigma}_{\hat{\alpha}}^2=1,190$).

Os resultados obtidos com os híbridos 30F36, 30F53, 30R50 e 32R48, que são classificados como híbridos simples, e, teoricamente possuem uma base genética mais

estreita, discordam dos apresentados por Costa et al. (2010), que obtiveram melhor estabilidade só em materiais de base genética mais larga. Resultados deste estudo não estão em consenso também com o trabalho de Delic; Stankovic; Konstantinov (2009), que demonstrou que os híbridos com o maior rendimento de grãos, na maioria dos casos, não foram os mais estáveis. Entretanto, esses resultados estão de acordo outros trabalhos, onde analisando a adaptabilidade e estabilidade de diferentes tipos de híbridos de milho, constataram que a homogeneidade ou heterogeneidade do híbrido não lhe confere menor ou maior estabilidade, e que híbridos estáveis podem ser selecionados em qualquer um dos grupos (RIBEIRO et al., 2000; MACHADO et al., 2008).

Neste trabalho, o híbrido simples 30F53 apresentou o melhor comportamento em relação à adaptabilidade e estabilidade fenotípica, situando-se entre os três de maior rendimento geral, proporcionando as melhores estimativas dos parâmetros do modelo bi-segmentado descontínuo, se comparadas com aquelas apresentadas pelo híbrido triplo 30P34, além de um maior coeficiente de determinação e menor variância dos desvios, comprovando ser mais estável, adaptável e com maior potencial genético para o rendimento de grãos do que o mencionado híbrido triplo. Alguns autores de estudos relacionados à estabilidade de híbridos de milho citam que ocorrem diferenças entre híbridos com o mesmo nível de heterozigose e heterogeneidade, quanto à expressão das funções homeostáticas, e que a maior habilidade de auto-regulação dos indivíduos assegurando graus maiores de homeostase é, comprovadamente, uma característica específica de cada híbrido, ou seja, nos híbridos essa habilidade é herdada dos genitores (linhagens) parentais. Assim, a estabilidade pode ser melhor em híbridos de base genética estreita (híbridos simples), por terem na heterozigose, apresentada na maioria dos locos, a capacidade para processar as trocas ambientais de forma mais eficiente que a mistura de genótipos (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Portanto, as características de adaptabilidade e estabilidade são intrínsecas de cada híbrido e não se podem generalizar as conclusões em razão dos tipos de híbridos (híbridos simples, triplos e duplos).

Os resultados deste trabalho evidenciam a importância de se utilizar vários parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para determinar o comportamento de híbridos em diferentes ambientes, mesmo em condições de manejo para elevados rendimentos. Inferências baseadas em estimativas isoladas podem levar a conclusões equivocadas. Interpretações adicionais para os híbridos não discutidos podem ser feitas seguindo as estimativas dos parâmetros apresentados.

5.4 Conclusões

Para ambientes com elevados padrões tecnológicos de manejo, o híbrido mais adequado é o 30F36; sob condições medianas, podem-se utilizar os híbridos 30R50 ou 32R48. Já o híbrido 30F53 é classificado como próximo ao ideal, ou seja, pode ser cultivado em qualquer ambiente.

Existe estabilidade fenotípica muito boa em híbridos simples, de alto potencial produtivo.

A adaptabilidade e estabilidade são intrínsecas a cada combinação híbrida.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo do comportamento de caracteres agronômicos em diferentes densidades de plantas constatou-se que, com exceção do caráter altura de planta, todos os demais caracteres agronômicos estudados foram afetados pela densidade de plantas. Apesar da redução significativa dos principais caracteres diretamente atrelados ao rendimento de grãos (índice de espiga, grãos por espiga e massa de grãos), este não foi afetado pelo aumento da densidade, ou seja, o rendimento de grão foi significativamente diferente em cada uma das densidades, aumentando na medida em que se aumentou a densidade de plantas. Portanto, a redução dos caracteres em questão foi compensada pelo aumento da densidade na expressão do rendimento dos genótipos avaliados. Assim, o rendimento final de grãos ocorreu em função da densidade por área, que resultou em maior número de espigas, sendo que a densidade de plantas foi o componente que mais afetou o rendimento, mostrando grande importância no experimento e comprovando que a densidade populacional é a variável de maior efeito sobre o rendimento de grãos do milho, já que pequenas alterações na densidade implicam em modificações relativamente grandes no rendimento final da cultura.

Observando-se a heterose entre os caracteres avaliados, o maior valor foi constatado para rendimento de grãos, com média de 0,822 (82,2%); já o menor ocorreu com o caráter índice de espiga, com valor negativo de 0,002 (-0,2%). A heterose negativa para o índice de espiga indica que, existe predominância de efeitos aditivos ou dominância apenas parcial. A capacidade específica de combinação foi maior no cruzamento entre os genitores P1 e P4, na expressão da heterose para o rendimento de grãos. As heteroses nos caracteres altura de planta, índice de área foliar, índice de espiga, e grãos por espiga, não foram afetadas significativamente em nenhum dos híbridos recíprocos estudados, se comparado com seus respectivos híbridos simples. A heterose da massa de grãos foi significativamente superior no híbrido P2P1, quando comparado com o respectivo híbrido simples P1P2. Nos mesmos dois híbridos, a heterose para rendimento de grãos apresentou comportamento similar, sendo maior no recíproco P2P1.

A densidade de plantas afetou significativamente a heterose de todos os caracteres, com exceção do índice de área foliar. Resultados da heterose dentro das densidades sugerem que os genitores possuem uma maior tolerância ao aumento da densidade de plantas, se comparados aos híbridos simples e recíprocos. A menor estatura de planta dos genitores pode

estar associada a essa maior tolerância à elevadas densidades, já que híbridos simples são mais vigorosos e mais competitivos por luz e nutrientes.

Quando avaliado o efeito recíproco isolando o genitor P1 na sua função apenas feminina ou apenas masculina, sem considerar densidades e genótipos específicos, nota-se que nenhum dos caracteres avaliados (altura de planta, índice de área foliar, índice de espiga, massa de grãos, grãos por espiga e rendimento de grãos) apresentaram efeito recíproco, independentemente do sentido do cruzamento. A densidade de plantas influenciou a expressão do efeito recíproco para a altura de planta e índice de área foliar. Analisando o efeito recíproco dentro de cada híbrido, constatou-se significância para todos os caracteres em pelo menos uma comparação, com exceção para o caráter índice de espiga. Comportamentos diferenciados do efeito recíproco nos híbridos avaliados mostram a importância do estudo da combinação específica entre os genitores, que gera diferentes valores para os caracteres e indica que a herança dos caracteres, além de ser complexa, não possui comportamento constante em cruzamentos recíprocos, sendo que ora é influenciada majoritariamente pelo genitor masculino, ora pelo genitor feminino. Esses resultados contraditórios indicam que o efeito recíproco observado não pode ser explicado somente pelo efeito materno e pela herança extracromossômica e que deve haver efeito paterno ou do genitor de origem.

Para a escolha de genitores visando a produção de sementes de milho híbrido, dentro do grupo de genitores e cruzamentos propostos, desconsiderando qualquer outro fator, como o efeito recíproco e heterose no cruzamento, em nenhum dos casos recomenda-se utilizar o genitor P1 como feminino, devido ao baixo rendimento de grãos. Mesmo levando em conta que a maioria das indústrias de sementes vendem por número e não por massa de sementes, o genitor P1 foi aquele que apresentou o menor rendimento de sementes por área. Vale destacar que, nem sempre o genitor que mais produz grãos, é aquele que mais produz sementes, nesse padrão de comércio. Isso fica comprovado pelo fato de que, dentre os cinco genitores avaliados, aquele que mais produziu grãos (P5) ficou apenas em quarto lugar (penúltimo colocado) no rendimento médio de sementes. Nessas condições, em todos os cruzamentos propostos, o genitor P1 deve ser utilizado como fornecedor de pólen ou genitor masculino, para obterem-se os maiores rendimentos em campos de produção de sementes.

Porém, ao considerar-se o potencial de rendimento comercial dos híbridos, que é influenciado pelo efeito recíproco e pela capacidade específica de combinação, nota-se que nem sempre o genitor P1 deveria ser masculino, pois os rendimentos dos híbridos P1P2 e P1P3 foram superiores aos dos respectivos pares recíprocos P2P1 e P3P1. Assim, as informações geradas neste trabalho contribuem em favor dos cientistas que trabalham em

programas de melhoramento genético do milho, e evidenciam a grande importância de reconhecer os efeitos recíprocos existentes nos cruzamentos e não simplesmente ignorá-los.

Os resultados obtidos ao descrever a variação do rendimento de grãos de genótipos de milho em relação à ambientes manejados para altos níveis de rendimento, através da análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, demonstram que há estabilidade muito boa em híbridos simples e de alto potencial produtivo. Neste trabalho, o híbrido mais estável (30F53), está entre os três de maior rendimento geral. Sendo assim, a homogeneidade ou heterogeneidade do híbrido não lhe confere maior ou menor estabilidade, e híbridos estáveis podem ser selecionados dentro de qualquer um dos tipos (híbridos simples ou triplos). Portanto, as características de adaptabilidade e estabilidade são intrínsecas de cada híbrido e não se podem generalizar as conclusões em razão dos tipos de híbridos (híbridos simples e triplos), fato este observado em alguns trabalhos e comprovado no presente estudo. Finalmente, os resultados deste trabalho evidenciam a importância de se utilizar vários parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para determinar o comportamento de híbridos em diferentes ambientes, mesmo em condições de manejo para elevados rendimentos, ou seja, inferências baseadas em estimativas isoladas podem levar a conclusões equivocadas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. M. et al. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 60, n. 1, p. 83-89, 2003.

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Jul./Ago. 1964.

ALMEIDA, M. L. et al. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 179-183, 1996.

ALMEIDA, M. Z. **Simulação gráfica do crescimento de plantas de milho**. 2007. 44 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características agrônomicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 402-408, 2006.

ALVES, S. J. et al. Comportamento de diferentes classes genéticas de milho com relação à estabilidade e adaptabilidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 291-303, 2006.

ALWALA, S. et al. A comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids. **Field Crops Research**, v. 119, p. 225–230, 2010.

ANDRADE, F. H. et al. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 453-459, 1999.

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

ARGENTA, G. et al. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 27-34, 2003.

ARGENTA, G. et al. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001.

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

BAKER, R. J. Tests for crossover genotype-environmental interactions. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 45, n. 2, p. 405-410, Abr. 1988.

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

BECKER, H. C.; LÉON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23. Ago. 1988.

BERGAMASCHI, H. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 831-839, 2004.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 949-956, 2001.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury, Minnesota, 2002. 368 p.

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

BORDALLO, P. N. et al. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p.123-127, 2005.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. C. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 525 p.

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

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

BRUZI, A. T. **Homeostase de populações de feijoeiro com diferentes estruturas genéticas**. 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 17-24, 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 111-117, fev. 2009.

CARVALHO, H.W.L. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1115-1123, jun. 2000.

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

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis: **Fundação MT**, 2001. p. 675-712.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quinto levantamento**, fevereiro 2012. Brasília, DF: Conab, 2012, 40 p.

COSTA, E. N. F. et al. Herança da senescência retardada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 207-213, fev. 2008.

COSTA, E. N. F. et al. Interação entre genótipos e ambientes em diferentes tipos de híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1433-1440, 2010.

CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of errors variances. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 406-415, Mar. 1997.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003, v. 2. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004, v. 1, 480 p., 2004.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390p.

DAUGHTRY, C. S. T. et al. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74 n. 2 p. 229-239, 2000.

DELIC, N.; STANKOVIC, G.; KONSTANTINOV, K. Use of non parametric statistics in estimation of genotypes stability. **Maydica**, Bérghamo, v. 54, p. 155-160, 2009.

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

DONÁ, S. et al. Heterose e seus componentes em híbridos de populações F2 de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.767-774, 2011.

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

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

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução a análise AMMI. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, 1999.

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

DUVICK, D. N. Biotechnology in the 1930's: the development of hybrid maize. **Nature Reviews Genetics**, Hampshire, v. 2, n. 1, p. 69-74, Jan. 2001.

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 86, p. 83-145, 2005.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Ambiente de software NTIA, versão 4.2.2: manual do usuário – ferramental estatístico**. Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura. Campinas, 258p, 1993.

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

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

FANCELLI, A. L. **Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e sementes de milho (*Zea mays* L.)**. 1988. 172 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1988.

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

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

FARINELLI, R. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 235-241, 2003.

FERREIRA, E. A.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; COSTA SANTOS, F. M. da. Potencial de híbridos comerciais de milho para obtenção de linhagens em programas de melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 304-311, 2010.

FERRO, R. C. A. Genetics of quality and agronomic traits in hard endosperm maize. **Journal of Agricultural Science**, Canada, v. 146, p. 551–560, 2008.

FLESCHE, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaços e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 25-31, 2004.

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

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

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

FORSTHOFER, E. L. et al. Desempenho agrônomo e econômico do milho em diferentes sistemas de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 399-407, 2006.

FRANCIS, C. A. et al. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, Madison, v. 9, p. 537- 539, 1969.

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

GARCIA, A. A. F. et al. Quantitative trait loci mapping and the genetic basis of heterosis in maize and rice. **Genetics**, v. 180, p. 1707–1724, Nov. 2008.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related population. **Biometrics**, Alexandria, v. 22, n. 3, p. 439-452, Sept. 1966.

GOMES, M. S. et al. Efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 7-17, 2000.

GONZALO, M. et al. Mapping reciprocal effects and interactions with plant density stress in *Zea mays* L. **Heredity**, v. 99, p. 14–30, 2007.

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

GUO, M. et al. Allelic variation of gene expression in maize hybrids. **The Plant Cell**, Maryland, v. 16, p. 1707–1716, 2004.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Iowa State University Press, Ames, 1981.

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

JUMBO, M. B; CARENA, M. J. Combining ability, maternal, and reciprocal effects of elite early-maturing maize population hybrids. **Euphytica**, Netherlands, v. 162, p. 325–333, 2008.

KANG M. S.; GAUCH JÚNIOR, H. G. **Genotype by environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416 p.

KAPPES, C. et al. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.

KLEFFMANN GROUP. **Kleffmann & Partner Comércio e Assessoria Mercadológica e Representação**. Valinhos, SP, 2010.

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

LARIÈPE, A. et al. The genetic basis of heterosis: multiparental QTL mapping reveals contrasted levels of apparent overdominance among traits of agronomical interest in maize (*Zea mays* L.). **Genetics**, Nov. 2011.

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

LAUER, J. G.; ROTH, G. W.; BERTRAM, M. G. Impact of defoliation on corn forage yield. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 1459-1463, 2004.

LEE, E. A.; DOERKSEN, T. K.; KANNENBERG, L. W. Genetic components of yield stability in maize breeding populations. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 6, p. 2018-2027, Nov./Dec. 2003.

LIU, W.; TOLLENAAR, M. Response of yield heterosis to increasing plant density in maize. **Crop Science**, Madison, vol. 49, Set./Out. 2009.

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

MACHADO, E. C. et al. Análise quantitativa do crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 6, p. 825-833, 1982.

MACHADO, J. C. **Estabilidade de produção e da capacidade de combinação em híbridos de milho**. 2007. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MACHADO, J. C. et al. Estabilidade de produção de híbridos simples e duplos oriundo de um mesmo conjunto gênico. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 627-631, set. 2008.

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

MANFRON, P. A. et al. Modelo da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura do milho em função de graus-dia acumulados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 327-332, 2003.

MANN, C.; POLLMER, W. Reciprocal-cross differences between maize hybrids of inbred lines from different gene pools. **Maydica**, Bérghamo, v. 26, p. 263–271, 1981.

MARCHÃO, R. L. et al. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

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

MARIOTTI, J. A. et al. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar I: Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, Tucumán, v. 13, n. 14, p. 105-127, 1976.

MARODIM, V. S. et al. Identificação de cultivares de milho com base na análise de estabilidade fenotípica. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 6, n. 1, p. 121-129, 2000.

MATEUS, G. P. et al. Produção de forragem de milho consorciado com *Brachiaria brizantha* em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiába: ABMS, 2004. 1 CD-ROM.

MATOSO, M. J. et al. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 95-104, 2006.

MELCHINGER, A.; GEIGER, H.; SCHNELL, F. Reciprocal differences in single-cross hybrids and their F2 and backcross progenies in maize. **Maydica**, Bérghamo, v. 30, p. 395–405, 1985.

MINOR, H. C.; BERLATO, M. A. Comportamento de seis cultivares de soja em 42 ambientes do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sul-Rio-Grandense**, v. 13, n. 1, p. 83-92, 1977.

MIRANDA FILHO, J. B. de; VIÉGAS, G. P. Milho híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. [Ed.]. **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 275-340, 1987.

MODARRES, A. M. et al. Leafy reduced-stature maize for short-season environments: yield and yield components of inbred lines. **Euphytica**, Netherlands, v. 97, n. 2, p. 129-138, 1997.

MORAIS, O. P. **Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.)**. 1980. 70 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1980.

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

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

MUNGOMERY, V. E.; SHORTER, R.; BYTH, D. E. Genotype x environment interactions and environmental adaptation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 25, p. 59-72, 1974.

MUNIZ, J. A. **Avaliação da estabilidade de cultivares de milho em diferentes níveis de adubação e locais da região da Lavras- MG.** 1995. 60 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

NASPOLINI FILHO, V. **Variabilidade fenotípica e estabilidade em híbridos simples, híbridos duplos, variedades e compostos de milho.** 1976. 68 p. Dissertação (Mestrado em Genética em Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1976.

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

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

PFANNI, A. Z. Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, 2009.

PIANA, A.T. et al. Densidade de plantas de milho híbrido em semeadura precoce no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2608-2612, Dez. 2008.

RAIJ, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p. (**Boletim Técnico**, 100).

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

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B. S. **Genética na Agropecuária**. 4.ed., Lavras: Editora UFLA, 2008. 464p.

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.

RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F. Adaptabilidade e Estabilidade de Genótipos de Milho em Diferentes Condições Ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2213-2222, 2000.

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

ROACH, D. A.; WULFF, R. Maternal effects in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, p. 209-235, Nov. 1987.

ROSSE, L. N. **Modelo de regressão não-linear aplicado na avaliação da estabilidade fenotípica em plantas**. 1999. 179 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

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

SANGOI, L. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 218-231, 2006.

SANGOI, L. et al. Incidência e severidade de doenças de quarto híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 17-21, 2000.

SANGOI, L. et al. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 6, p. 861-869, 2001.

SANGOI, L. et al. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnicoeconômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1021-1029, 2003.

SANGOI, L. et al. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 609-616, jun. 2011.

SANGOI, L. et al. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 39-51, 2002b.

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 1, n. 2, p. 60-66, 2002a.

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

SANTOS, F. M. C. **Capacidade de combinação de híbridos comerciais de milho visando à obtenção de híbridos de F2**. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, SP, 2009.

SCHEEREN, B. R. et al. 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.

SCHMILDT, E. R. et al. Avaliação de metodologias de adaptabilidade e estabilidade de cultivares milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 51-58, 2011.

SCHNELL, F. W.; SINGH, I. S. Epistasis in three-way crosses involving early flint and dent inbred lines of maize. **Maydica**, Bérghamo, v. 23, p. 233–238, 1978.

SCHÖN, C. C. et al. High congruency of QTL positions for heterosis of grain yield in three crosses of maize. **Theoretical and Applied Genetics**, Stuttgart, n. 120, p. 321–332, 2010.

SCHRAG, A. T. et al. Prediction of hybrid performance in maize using molecular markers and joint analyses of hybrids and parental inbreds. **Theoretical and Applied Genetics**, Stuttgart, n. 120, p. 451–461, 2010.

SEITZ, G. et al. Reciprocal differences for forage traits in single and three-way crosses of maize. **Plant Breeding**, v.1 14, p. 231–234, 1995.

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

SILVA, A. G. et al. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agrônômicos do híbrido de milho P30K75 em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 89-96, 2008.

SILVA, J. B.; CRUZ, J. C.; SILVA, A. F. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 3.ed., Sete Lagoas, 1987.

SILVA, P. R. F. et al. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 64 p.

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

SOARES, M. O. **Parâmetros genéticos de uma população de milho estruturada em RIL avaliada em alta e baixa disponibilidade de nitrogênio**. 2008. 51 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

SOUZA JUNIOR, C. L.; VENCOVSKY, R. Covariância entre parentes na presença da interação genótipos x ambientes. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA A EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 3., **Resumos...** Lavras: ESAL, 1989. p. 50-51.

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

STORCK, L. Comparison of models of cultivar phenotypic stability. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 18, n. 1, p. 75-80, 1995.

STORCK, L.; BISOGNIN, D. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 9, p. 881-886, Set. 2005.

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Novo modelo para avaliação da estabilidade de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 8, p. 1201-1211, 1992.

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Stability analysis based on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**, v. 17, n.1, p. 75-81, 1994.

STRIEDER, M. L. et al. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

SWANSON-WAGNER, R. A. et al. Paternal dominance of trans-eQTL influences gene expression patterns in maize hybrids. **Science**, Ames, v. 326, p. 1118-1120, 2009.

TERASAWA JÚNIOR, F.; VENCOVSKY, R.; KOEHLER, H. Environment and genotype genotype-environment interaction in maize breeding in Paraná, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 17-22, Mar. 2008.

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

TOLLENAAR, M.; LEE, E. A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, v. 75, p. 161-169, 2002.

TOLLENAAR, M.; LEE, E. A. Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. **Maydica**, Bérغامo, v. 51, p. 399-408, 2006.

TORRES, R. A. de A. **Estudo do controle genético da estabilidade fenotípica de cultivares de milho (*Zea mays* L.)**. 1988. 133 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

TROYER, A. F. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. **Crop Science**, Madison. v. 46, n. 2, p. 528-543. Mar./Abr. 2006.

TROYER, A. F. Background of U. S. hybrid corn. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 3, p. 601-626, Mai./Jun. 1999.

USDA-NASS. **USDA National Agricultural Statistics Service**. 2012. Disponível em: <http://www.nass.usda.gov/Data_and_Statistics/Quick_Stats/>. Acesso em 29/01/2012.

VACARO, E. et al. Combining ability of twelve maize populations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 67-72, 2002.

VENCOVSKY, R.; TORRES, R. A. A. Estabilidade geográfica e temporal de alguns cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., 1986, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1988. p.294-299.

VERNETTI, F. J.; GASTAL, M. F. C.; ZONTA, E. P. Estabilidade fenotípica de cultivares de soja no sudeste do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 11, p.1593-1602, 1990.

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

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

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**, v. 35, p. 158-164, 1995.