

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DISSIMILARIDADE AMBIENTAL EM VARIEDADES DE
MILHO CULTIVADAS EM DIFERENTES DENSIDADES
POPULACIONAIS

Kauê Charnai
Engenheiro Agrônomo

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DISSIMILARIDADE AMBIENTAL EM VARIEDADES DE
MILHO CULTIVADAS EM DIFERENTES DENSIDADES
POPULACIONAIS**

Kauê Charnai

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

2014

Chamai, Kauê
C483d Dissimilaridade ambiental em variedades de milho cultivadas em diferentes densidades populacionais / Kauê Chamai. -- Jaboticabal, 2014
iii, 28 f. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientador: Gustavo Vitti Môro
Banca examinadora: Sandra Helena Unêda-Trevisoli, Ivana Marino Bárbaro
Bibliografia

1. Arranjo espacial. 2. Genótipo x Ambiente. 3. Interação complexa. 4. Zea mays. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.52:633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DISSIMILARIDADE AMBIENTAL EM VARIEDADES DE MILHO CULTIVADAS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

AUTOR: KAUÊ CHARNAI

ORIENTADOR: Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. IVANA MARINO BARBARO

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / Colina/SP

Data da realização: 15 de julho de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Kauê Charnai – Nascido em 16 de Setembro de 1988, em São Paulo-SP. Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal em Fevereiro de 2008. No mesmo ano, em 2008, iniciou estágio no Departamento de Produção Vegetal na área de Genética e Melhoramento de Plantas com a cultura da soja, finalizando o mesmo, em Junho de 2012, juntamente com a conclusão da monografia. Em 2012, durante o segundo semestre, como parte das exigências para a conclusão do curso, cumpriu o estágio curricular obrigatório na “University of Nebraska at Kearney”, nos Estados Unidos. Em Março de 2013 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia no Programa de Genética e Melhoramento de Plantas com a cultura do milho, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Durante o curso de Mestrado foi coorientador de aluno de graduação do curso de Agronomia na área de Genética e Melhoramento de Plantas com a cultura do milho, na execução de projeto de pesquisa e Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), pela mesma Instituição. Finalizou a dissertação pelo Departamento de Produção Vegetal, em Julho de 2014, obtendo o título de Mestre em Agronomia com ênfase em Genética e Melhoramento de Plantas.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

Aos meus pais Carlos Alberto Charnai e Cleide Bernardo
Charnai, por fazerem de suas lutas a minha, pessoas a
que chamo de espelho e me fazem seguir em frente,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e à Nossa Senhora Aparecida por cada novo dia, pela força que me faz superar os desafios impostos pela vida, seguindo em frente com a certeza de que estarei amparado sempre e ainda, pelas pessoas certas colocadas em meu caminho, que permitem segui-lo e nunca desviar de meus objetivos.

Aos meus pais, Carlos e Cleide, por apoiarem minhas escolhas e pela dedicação e esforço para que meus sonhos fossem alcançados.

Ao meu irmão, Kaio, por quem sempre busco ser melhor, pela amizade e compreensão nos momentos de ausência.

À minha namorada, Daiane, fundamental na minha vida pelos diversos objetivos alcançados e ainda a serem conquistados. Agradeço por não ser apenas namorada, mas amiga, companheira e por sempre respeitar e apoiar a mim e minhas escolhas, independente das dificuldades e desafios.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal pela estrutura e capacitação oferecida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa.

Ao Prof. Dr. Gustavo Vitti Mouro pela oportunidade e orientação, professor e amigo, depositando toda confiança necessária à conclusão desta etapa como pessoa e profissional.

Aos meus companheiros de estágio, graduandos e pós-graduandos, pela companhia e ajuda em todas as etapas deste trabalho, transformando rotinas em momentos especiais, principalmente ao Rodolfo Buzinaro e

Lucas Tadeu Mazza Revolti pelos anos de parceria e dedicação e, também à Silvine de Santiago que, mesmo distante, ainda foi capaz de acreditar, confiar e apoiar cada novo passo.

Ao Prof. Dr. Domingos Fornasieri Filho pelos ensinamentos, confiança e amizade creditada a mim desde sempre.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, Mônica, Rubens (Faro), Sebastião e Geraldo pelo companheirismo e toda ajuda oferecida.

Agradeço a todos por fazerem parte de mais um objetivo alcançado em minha vida, pela amizade, dedicação e colaboração no meu crescimento pessoal e profissional.

SUMÁRIO

Resumo	ii
Abstract	iii
DISSIMILARIDADE AMBIENTAL EM VARIEDADES DE MILHO CULTIVADAS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS	
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	3
2.1. Importância da cultura do milho	3
2.2. Densidade populacional	3
2.3. Melhoramento genético do milho	5
2.4. Interação Genótipo x Ambiente	8
3. Material e Métodos.....	10
4. Resultados	14
5. Discussão.....	21
6. Conclusões.....	23
7. Referências Bibliográficas.....	23

DISSIMILARIDADE AMBIENTAL EM VARIEDADES DE MILHO CULTIVADAS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

RESUMO – O milho é a terceira cultura mais cultivada no mundo e ocupa o primeiro lugar em produção e produtividade entre as principais culturas produtoras de grãos. Sua importância agrônômica e econômica estimula diversos estudos, entre eles a densidade populacional, em decorrência das alterações no espaçamento entre e dentro de linhas. Esse estudo remete a uma série de implicações, por exemplo, o desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes condições, considerando sua arquitetura, assim como o estudo dos fatores abióticos e, fundamentalmente, a interação genótipo x ambiente. Baseado nisso, o presente trabalho objetivou avaliar a dissimilaridade ambiental em variedades de milho submetidas ao cultivo em diferentes densidades populacionais. Os experimentos foram instalados com quatro densidades populacionais em diferentes ambientes no delineamento de blocos casualizados, avaliando-se os caracteres relacionados ao ciclo, altura e produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, seguida das análises de dissimilaridade ambiental e de correlação. Observou-se que existe uma tendência de, com o aumento da densidade, os genótipos interagirem mais com o ambiente, principalmente para os caracteres relacionados à produtividade, apresentando interação genótipo x ambiente. Portanto, não se faz possível a recomendação precisa e uniforme de densidade populacional para os genótipos nas distintas épocas de cultivo.

Palavras-chave: arranjo espacial, genótipo x ambiente, interação complexa, *Zea mays*

ENVIRONMENTAL DISSIMILARITY INTERACTION OF MAIZE VARIETIES GROWN IN DIFFERENT POPULATION DENSITIES

ABSTRACT – Maize is the third most grown crop in the world and ranks first in production and productivity of the main grain crops. Their agronomic and economic importance stimulates several studies, including population density, due to the changes in spacing. This study refers a series of implications, for example, the development of cultivars adapted to different conditions, considering architecture as well as the study of abiotic factors and, crucially, the genotype x environment interaction. The objective of the present study was to evaluate the environmental dissimilarity in maize varieties subjected to cultivation in different population densities. The experiments were conducted with four population densities in different environments in a randomized block design, evaluating traits related to cycle, height and productivity. The data were submitted to analysis of variance followed by environmental dissimilarity and correlation analysis. It was observed there is a tendency of genotypes interact more with the environment with increasing density, especially for traits related to yield. Therefore, the populations density can't be recommended in a precise and uniform way for genotypes in different growing seasons.

Keywords: spatial arrangement, genotype x environment, complex interaction, *Zea mays*

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é a terceira cultura mais cultivada no mundo e ocupa o primeiro lugar em produção e produtividade entre as principais culturas produtoras de grãos. No Brasil, a produção estimada para o ano agrícola 2013/2014, é de 75,2 milhões de toneladas (CONAB, 2014).

O cultivo de milho pode ser executado em diferentes sistemas produtivos, dividindo-se entre milho primeira safra com Paraná, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, Goiás e Bahia como os maiores produtores, responsáveis por 87% da produção nacional e, milho segunda safra (safrinha) com Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Bahia como os maiores produtores, responsáveis por 98% da produção nacional (CONAB, 2014). Sua produção é voltada, primeiramente, para atender as indústrias de rações para animais, no entanto existem diversos produtos para o consumo alimentar, com a transformação dos grãos em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais (MAPA, 2013).

Segundo dados da CONAB (2014), para o ano agrícola 2013/14, a área brasileira cultivada com milho primeira safra está estimada em 6,4 milhões de hectares com uma produção que deverá alcançar 31,4 milhões de toneladas, resultando em uma produtividade estimada de 4.906 kg/ha. Por sua vez, o milho segunda safra (safrinha), possui área estimada em 8,7 milhões de hectares, com uma produção que pode alcançar 43,8 milhões de toneladas, devendo atingir 5.034 kg/ha de produtividade.

Devido a esta importância e expressividade perante o cenário nacional e mundial, atualmente, inúmeras instituições públicas e privadas atuam na área de melhoramento genético e produção de sementes híbridas de milho, visando maior produtividade e caracteres agronômicos adequados às exigências dos produtores rurais. Tais instituições foram impulsionadas após a descoberta do vigor híbrido (SHULL, 1909; EAST, 1909), fato este que proporcionou recordes sucessivos de produção. É por este sucesso de desempenho e pela importância que os Programas de Melhoramento Genético assumem que diversas decisões devem ser tomadas, como por exemplo, a escolha da população que servirá de origem para a obtenção

das linhagens, quando cruzadas, resultando em híbridos produtivos (KOSHIMA, 2009).

Para a obtenção de altas produtividades e bons desempenhos nos diferentes caracteres agronômicos há dependência da interação entre fatores genéticos, ambientais e de manejo, mas é o arranjo espacial de plantas, pela alteração no espaçamento e na densidade de plantas na linha, que tem sido apontada como uma das práticas de manejo mais importantes para maximização da cultura, devido à otimização do uso de fatores como água, luz e nutrientes (ARGENTA, 2001; DEMÉTRIO, 2008).

Objetivando esta determinação ideal do arranjo espacial de plantas, são apresentados, através do Melhoramento Genético de Plantas, novos híbridos com elevado potencial agronômico (KAPPES et al., 2011). Além disso, a importância deste manejo está totalmente relacionada com as modificações nos genótipos mais recentes de milho, tais como menor altura da planta e de inserção de espiga, menor esterilidade de plantas, menor duração do subperíodo de pendramento-espigamento e plantas com folhas de angulação mais ereta, fatores estes que tornam necessário reavaliar as práticas de manejo para esta cultura (ARGENTA, 2001). Nesse ponto, é preciso também avaliar o comportamento do milho na primeira e na segunda safra de cultivo (safrinha), em especial na segunda safra, responsável pelo acelerado incremento da produção da cultura do milho.

Atualmente, existe na cultura do milho, uma tendência de utilizar maiores densidades populacionais, pois isso resulta em maior produtividade. No entanto, é importante verificar se, com a alteração da densidade, ocorre alteração na interação genótipo x ambiente, ou seja, se a recomendação de cultivares, em função da interação genótipo x ambiente, precisa ser específica para cada densidade ou pode ser generalizada para as diferentes densidades. Afinal é o ambiente o responsável por reunir todas as circunstâncias ou condições as quais os organismos se desenvolverão (KOSHIMA, 2009).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a dissimilaridade ambiental e a ocorrência da interação genótipo x ambiente em variedades de milho quando submetidas ao cultivo em diferentes densidades populacionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da cultura do milho

O milho é o cereal mais produzido no mundo, fundamental desde a alimentação animal e humana, até a indústria de alta tecnologia. Contudo, é na alimentação animal que se concentra o maior destino da produção de milho, atingindo, segundo Demarchi (2011), o valor de 70% para a avicultura, bovinocultura e suinocultura. Destinos estes não menos importante para a economia nacional e também mundial.

A importância econômica do milho está na sua diversidade de utilização e, devido a este crescimento progressivo a cada safra, o Brasil, há dez anos passou a assumir papel de grande importância no mercado internacional de milho (DEMARCHI, 2011). Essa posição alcançada pela cultura do milho e a perspectiva de destaque ano após ano não é repentina, a explicação não é evolutiva considerando o ponto de vista natural da espécie, mas pode ser chamada de evolutiva, a partir do momento que descobrimos a quantidade de eventos e estudos desenvolvidos no decorrer dos anos com o auxílio dos Programas de Melhoramento Genético para a cultura. Estudos esses que abrangem não somente a tecnologia de sementes, o desenvolvimento de híbridos e transgênicos que, hoje, são realidade, mas também estudos como o melhor local de adaptação para o genótipo escolhido, baseando-se nas condições edafoclimáticas, no objetivo do plantio, na melhor densidade populacional, buscando otimizar e explorar todo o potencial do cultivar e, conjuntamente, no estudo da interação genótipo x ambiente.

2.2. Densidade populacional

Ao abordar o tópico densidade populacional na cultura do milho em decorrência das alterações no espaçamento entre e dentro de linhas, somos automaticamente direcionados a estudar e abordar uma série de outros fatores diretamente relacionados e afetados por qualquer alteração no número de plantas

por área, sejam eles fatores abióticos ou na própria condição da planta, além de ocorrer diferenças em relação a outro ponto, o milho primeira safra e segunda safra (safrinha).

Primeiramente, em relação às épocas de cultivo, o milho segunda safra ou safrinha assume um papel importante na questão densidade populacional. O primeiro ponto é o fato de o milho segunda safra estar em constante crescimento, inclusive por um cultivo mais tecnificado e, ser o responsável por garantir produtividade, ainda que seu cultivo coincida com uma época caracterizada por baixos índices pluviométricos, o que pode comprometer toda a produção, caso coincida com a época do florescimento. Segundo Penariol et al. (2003), é neste contexto que a escolha do espaçamento adequado, determinando a melhor densidade populacional se faz extremamente importante, pois é exatamente neste momento que será determinado o melhor aproveitamento dos fatores abióticos como água, luz e nutrientes para que a cultura expresse todo seu potencial.

Contudo, o melhor espaçamento, o cultivo com a densidade populacional adequada não é uma condição pré-determinada, absoluta, mas variável conforme as condições ambientais a que são expostas, incluindo condições controladas como fertilidade do solo, o híbrido ou cultivar a ser utilizado, a época e o sistema de semeadura. Essas escolhas exigem muito cuidado, segundo Sangoi (2000) e, como explanado anteriormente, existem interações genótipo x ambiente e, qualquer escolha errada, especificamente em uma densidade populacional incompatível com o cultivo a ser realizado, afetará a arquitetura da planta, o padrão de crescimento e desenvolvimento e na produção de carboidratos.

Marchão, Brasil e Ximenes (2006) confirmam que a maneira mais fácil e eficiente de interceptar a radiação solar incidente em uma população de milho é incrementando a densidade populacional de plantas, mas que deve haver cuidado, pois instalando a cultura em uma densidade muito elevada pode ocorrer redução da atividade fotossintética e consequentemente a conversão de fotoassimilados em produção de grãos, ou seja, ocorrerá redução de produtividade ao invés do aumento desejado.

Embasado nesse conjunto de informações e de fatores que devem ser observados, estudados e utilizados de maneira adequada, a combinação do

espaçamento entre as linhas e o número de plantas por metro tem sido ampla e frequentemente discutidas em decorrência das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais. Segundo Dourado Neto et al. (2003), os Programas de Melhoramento Genético de milho tem buscado genótipos produtivos e responsivos à alta densidade populacional e sob espaçamentos entre linhas reduzidos, em torno de 80 a 100 mil plantas por hectare, como forma de maximizar a produção a partir da otimização dos fatores de produção. Ainda, pode-se conseguir uma melhor distribuição radicular e redução das amplitudes térmicas na superfície do solo durante os estádios iniciais de desenvolvimento (SHARRAT; McWILLIAMS, 2005).

Assim, não há dúvidas que a densidade populacional é determinante no sucesso do cultivo do milho e deve ser explorada e estudada em parceria com os Programas de Melhoramento Genético, visando os melhores genótipos a serem semeados juntamente com o melhor aproveitamento do ambiente.

2.3. Melhoramento genético do milho

De forma geral, o Melhoramento genético tem como objetivo o desenvolvimento de cultivares superiores. O desenvolvimento de cultivares é o que todo Programa de Melhoramento visa, porém, não única e simplesmente o desenvolvimento, mas sim portadoras de bons atributos agronômicos em substituição às variedades tradicionais (CARDOSO et al., 2003).

Dentre os atributos agronômicos buscados, o primeiro e fundamental é a produtividade, visando elevadas produções de grãos com melhor aproveitamento de área e, objetivando atender a demanda para alimentação humana e animal. No entanto, para que se obtenha sucesso, não se pode pensar em produtividade se, de forma conjunta, não pensarmos em uma série de fatores, como boa estabilidade de produção, resistência à pragas e doenças, seca, vento (acamamento e quebramento), além de atributos da própria planta, como arquitetura, facilitando, por exemplo, o manejo cultural e o melhor aproveitamento da radiação solar e, ainda,

melhoria na qualidade nutricional atendendo às necessidades alimentares (EMBRAPA, 2009).

Verifica-se desde então que o desenvolvimento de um novo cultivar não é tarefa fácil e muito menos rápida. Por esses motivos, a grande quantidade de características relacionadas e que devem ser melhoradas em conjunto e, também pela elevada demanda de tempo e custo é que, primeiramente, inicia-se o trabalho com a identificação de linhagens com o melhor desempenho em combinações híbridas (GUIMARÃES et al., 2007).

Ainda, segundo Guimarães et al. (2007), a etapa mais trabalhosa de um Programa de Melhoramento é a avaliação das linhagens quanto à capacidade de combinação e, como método, o mais adotado é o de cruzamentos dialélicos. A capacidade de combinação divide-se em geral e específica, sendo o conhecimento de seus efeitos, por Hallauer e Miranda Filho (1995), fundamentais no auxílio dos testes de hipóteses e predição de cruzamentos, além de serem importantes para o conhecimento da estrutura genética de linhagens e populações.

Além das etapas citadas, identificação/obtenção de linhagens e avaliação da capacidade de combinação, um Programa de Melhoramento possui outras duas etapas: a escolha das populações, anterior à identificação das linhagens e teste extensivo das combinações híbridas obtidas, posterior à avaliação da capacidade de combinação (PATERNIANI; CAMPOS, 1999). A escolha das populações é a etapa principal e determinará todo o sucesso do programa. Para Vencovsky e Barriga (1992), no processo de escolha das populações, é importante saber que o desempenho de um híbrido depende da contribuição das linhagens *per se* e da heterose entre elas. Logo, deve-se contar com a possibilidade de obtenção de linhagens com alta produtividade e boa heterose quando cruzadas.

A heterose, por sua vez, é função da existência de dominância ou sobredominância no controle do caráter e da divergência genética e complementariedade entre as linhagens (FALCONER; MACKAY, 1996). Assim, de acordo com Bison, Ramalho e Raposo (2003), realmente a maior dificuldade está na identificação da população, pois há inúmeras populações que podem ser utilizadas, por exemplo, as derivadas de híbridos simples, melhores adaptadas e, por este

motivo, devendo apresentar uma grande proporção de locos favoráveis já fixados e também locos segregando com a frequência alélica 0,5, portanto, promissoras.

Em números, o cultivar escolhido é responsável por 50% do rendimento final e, exatamente por essa busca de maiores rendimentos, safra após safra, que o melhoramento genético já conseguiu sucessos, nos permitindo afirmar que há cultivares disponíveis e adaptados a qualquer região do país e a qualquer sistema de produção. Exemplificando, hoje temos cultivares que são híbridos simples, resultado do cruzamento de duas linhagens puras, apresentando o maior potencial produtivo, logo, recomendadas para produção de alta tecnologia; híbridos duplos, resultado do cruzamento de dois híbridos simples, recomendados para produção de média tecnologia e híbridos triplos, frutos de um cruzamento entre uma linha pura e um híbrido simples, indicado para produção de alta e média tecnologia. A partir desses híbridos, ainda temos algumas variações, como são os casos dos híbridos simples e triplo modificado, o híbrido intervarietal e o *top cross* (EMBRAPA, 2009).

No entanto ao falarmos de melhoramento, obtenção de híbridos e suas variações, não podemos deixar de falar sobre as variedades sintéticas. Por definição, variedade sintética ou simplesmente sintético refere-se a uma população de polinização livre derivada do intercruzamento de plantas endogâmicas ou linhagens mantidas por cruzamento em campos isolados (LONNQUIST, 1961). Segundo Miranda Filho e Viégas (1987), este tipo de população é amplamente utilizada nos Programas de Melhoramento de Milho, tanto em esquemas de seleção recorrente como para o desenvolvimento de novas linhagens para utilização de híbridos.

Outro ponto importante, que se constitui em mérito dos Programas de Melhoramento Genético, é o desenvolvimento dos transgênicos, pois atualmente 467 cultivares de milho estão sendo comercializadas para o ano agrícola 2013/14, destas, 253 (54%) são transgênicas, superando pela primeira vez o número de cultivares convencionais (EMBRAPA, 2013). Não há dúvidas sobre o importante papel do melhoramento genético de milho, do progresso alcançado e dos benefícios gerados para a cultura do milho e seus produtores.

2.4. Interação Genótipo x Ambiente

O desempenho de um híbrido é resultado da capacidade de combinação das linhagens envolvidas nos cruzamentos. A capacidade geral de combinação (CGC) é associada à efeitos aditivos dos genes, enquanto a capacidade específica de combinação (CEC) é determinada por efeitos de dominância e epistasia (SPRAGUE; TATUM, 1942). De acordo com Rojas e Sprague (1952), a interação genótipo x ambiente, para os ensaios de híbridos de milho, é um fator de extrema importância e uma expressiva fonte de variação, havendo evidências de que a variância das estimativas de CGC e CEC podem interagir com locais e anos e que a CEC inclui desvios de dominância e epistasia, além de significativa porção da interação genótipo x ambiente.

Quanto às variedades sintéticas, seu conceito pode ser expandido para incluir qualquer tipo de população resultante do inter cruzamento de linhagens em qualquer esquema de cruzamento que resulte em uma população em equilíbrio como resultado de um cruzamento panmítico, ou seja, através de cruzamentos ao acaso, incluindo o inter cruzamento de populações segregantes (F_2) de híbridos de linhagens, por exemplo. Sendo assim, o número e o critério de seleção das linhagens que devem ser incluídas define-se como um aspecto importante na formação das variedades sintéticas (MIRANDA FILHO et al., 2012). Isto evidencia a importância do estudo interação genótipo x ambiente, visando ganhos durante o processo de produção.

Por definição, segundo Chaves (2001), a interação genótipo x ambiente refere-se ao efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos que, em sentido oposto, resulta da resposta diferencial dos genótipos em relação à variação ambiental. Por sua vez, Allard e Bradshaw (1964), trazem que os fatores ambientais podem ser previsíveis ou imprevisíveis. Os previsíveis são aqueles que ocorrem sistematicamente ou sob controle humano, por exemplo, tipo de solo, época de plantio, adubação e espaçamento e densidade populacional, enquanto os imprevisíveis são aqueles que variam inconsistentemente ou, simplesmente, fora do controle humano, como precipitação, temperatura e umidade relativa.

Os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças durante todo o ciclo da planta, isso faz com que ocorra um comportamento diferenciado dos mesmos em termos de resposta às variações ambientais. Pode não ocorrer interação (1), no entanto, na existência de interação, esta se associa a dois fatores: simples (2), proporcionado pela diferença entre genótipos e complexa (3), dada pela ausência de correlação entre os genótipos (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Detalhadamente, Allard e Bradshaw (1964), trazem a explicação do que de fato ocorre em cada situação, considerando, como exemplo, o comportamento de dois genótipos em dois ambientes. No caso, (1) se refere a que um dos genótipos supera o outro em ambos os ambientes, entretanto a variância genotípica é a mesma em cada ambiente; (2) ocorre a superioridade de um genótipo em relação ao outro em ambos os ambientes, mas a magnitude da resposta com a melhoria do ambiente é diferente entre os genótipos e, no caso (3), a melhora do ambiente proporciona a troca de posição relativa entre os genótipos, ou seja, provoca a melhora de um genótipo enquanto piora o desempenho do outro.

Cruz e Regazzi (1997) afirmam que a presença de interação genótipo x ambiente é um ponto crítico nas pesquisas de melhoramento, pois influencia o ganho de seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade. Isso faz com que o melhorista tenha que adotar critérios diferenciados para selecionar genótipos superiores e utilizar métodos alternativos de identificação de material de alto potencial genético.

Contudo, a interação genótipo x ambiente pode ser reduzida, possibilitando a avaliação da magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e recomendação de cultivares. Allard e Bradshaw (1964), trazem que esta redução de interação pode ocorrer com a utilização de cultivares específicas para cada ambiente, pela utilização de cultivares com ampla adaptabilidade e estabilidade ou, ainda, estratificando a região considerada em sub-regiões com características ambientais semelhantes, dentro das quais a interação passa a ser não significativa. É fundamental, também, para que ocorra a diminuição do efeito de interação, a condução de experimentos no maior número de locais e anos. Sprague e Eberhart (1977) recomendam, para avaliações de cruzamentos de milho, o uso de pelo

menos duas repetições por local e de três a cinco ambientes, pois a interação de efeitos aditivos por ambiente é um fator significativo na manifestação da variância fenotípica. A explicação do uso de repetições e também no número de locais está no fato de que, o número no aumento de ambientes é capaz de reduzir o erro e a interação dos efeitos aditivos por ambiente, enquanto o aumento do número de repetições reduz, somente, a contribuição do erro na variância fenotípica (EBERHART et al., 1995).

Para Cruz e Regazzi (1997), quando se dispõe de uma rede de ambientes para avaliações das cultivares, se faz necessário identificar entre os ambientes se há presença de padrões de respostas para as cultivares, isto é o que chamamos e, já citado anteriormente, de estratificação ambiental. Este processo é de extrema importância, pois além de reduzir a interação genótipo x ambiente, possibilita avaliar o grau de representatividade dos ensaios e decidir sobre o número de ambientes a serem utilizados quando há problemas técnicos ou escassez de recursos. Neste processo é possível agrupar os ambientes com interação significativa, principalmente quando há predominância das interações de natureza simples.

O estudo da interação é extremamente importante quando se busca conseguir o melhor desempenho da cultura, pois possibilita ao melhorista verificar se, por exemplo, a densidade populacional influencia nesta interação entre genótipos e ambientes, a partir dos diversos caracteres de importância agrônômica para a cultura, possibilitando uma recomendação específica em consequência da resposta apresentada pelo próprio genótipo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A instalação dos experimentos ocorreu em diferentes anos agrícolas e épocas de semeadura, sendo cada combinação do ano com a época de semeadura considerada um ambiente distinto. Foram avaliados quatro ambientes, apresentados na seguinte ordem: safra 2012/13 em Jaboticabal (1), safrinha 2012 em Jaboticabal (2), safrinha 2013 em Jaboticabal (3), cujos experimentos foram semeados em

21/11/2012, 17/04/2012 e 15/02/2013, respectivamente e safrinha 2013 em Matão (4) com semeadura em 22/01/2013.

O município de Jaboticabal-SP está localizado na região Nordeste do Estado de São Paulo, latitude 21°14'05"S, longitude 48°17'09"W e altitude de 615,01m, caracterizado por clima do tipo Aw, segundo Köppen (2001), e solo do tipo Latossolo Vermelho Eutrófico. Por sua vez, o município de Matão-SP, também na região Nordeste do Estado, latitude 21°36'00"S, longitude 48°21'41"W e altitude de 582m, caracteriza-se por clima Aw (KÖPPEN, 2001) e solo do tipo Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico.

Em ambos os locais foram instalados quatro experimentos lado a lado, que corresponderam aos diferentes espaçamentos entre e dentro de linhas, sendo eles, A- 0,50m x 0,25m (80.000 pl ha⁻¹), B- 0,50m x 0,30m (66.667 pl ha⁻¹), C- 0,50m x 0,40m (50.000 pl ha⁻¹) e D- 0,90m x 0,20m (55.555 pl ha⁻¹). Em cada experimento foram utilizadas três repetições, sendo as parcelas constituídas por quatro e oito fileiras de cinco metros de comprimento para os espaçamentos de 0,90m e 0,50m entre linhas, respectivamente, considerando como parcela útil as duas linhas centrais. A condução dos experimentos seguiu o recomendado no sistema de produção da EMBRAPA (EMBRAPA, 2014).

Os genótipos utilizados na realização dos trabalhos foram as variedades experimentais DSS-0401, DSS-0402, DSS-0404 e comerciais AL Bandeirantes Di Solo, AL Bandeirantes CATI e Ipanema. Em cada parcela útil, os genótipos foram avaliados quanto aos caracteres:

Caracteres relacionados ao ciclo:

- Florescimento masculino (FM): momento em que 50% das plantas apresentam as inflorescências masculinas (pendões) em estado de antese;
- Florescimento feminino (FF): momento em que 50% das plantas apresentam estilo-estigmas visíveis;

Caracteres relacionados à altura:

- Altura da planta (AP): distância do solo até a inserção da folha bandeira, expressa em cm;

- Altura da espiga (AE): distância do solo até a inserção da espiga principal, expressa em cm;
- Posição relativa da espiga (PRE): Caráter quantificado pela relação entre a altura da espiga e a altura da planta;

Caracteres relacionados à produtividade:

- Prolificidade (PROL): Número de espigas produtivas/planta, fornecido pela razão entre o total de espigas da parcela e o estande;
- Acamamento (AC): Caráter avaliado pela contagem do número de plantas com inclinação superior a 45° em relação à vertical ou deitadas no solo na época da colheita, sendo o resultado convertido em porcentagem;
- Quebramento (QUE): Caráter avaliado pela contagem do número de plantas com o colmo quebrado abaixo da espiga principal, sendo o resultado convertido em porcentagem;
- Produtividade de grãos (PG): Obtida por meio do peso de grãos das plantas da parcela ajustado para 13% de umidade e convertida para kg/ha.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software GENES versão 2013 (CRUZ, 2006). Para isso, os dados obtidos em cada experimento (densidade populacional) foram submetidos à análise de variância conjunta para os quatro ambientes, com a finalidade de detectar a interação genótipo x ambiente, após se verificar a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo conforme recomendado por Cruz (2005). O modelo matemático adotado para a análise de variância conjunta foi:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

onde:

Y_{ijk} é o valor observado na parcela do genótipo i, no bloco k, no ambiente j;

μ é a média geral do experimento;

G_i é o efeito da i-ésima variedade (i= 1, 2, ..., g.), considerado fixo;

B/A_{jk} é o efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente;

A_j é o efeito do j-ésimo ambiente, considerado aleatório;

GA_{ij} é o efeito da interação da i-ésima variedade com o j-ésimo ambiente;

E_{ijk} é o efeito dos fatores não controlados ou acaso, ou seja, o erro experimental, considerado aleatório.

Após a análise conjunta para cada densidade populacional, foi realizada a decomposição da interação genótipo x ambiente em partes simples (%S) e complexa (%C), segundo a metodologia proposta por Cruz e Castoldi (1991), conforme as expressões:

$$\%S = \frac{100S}{QMGxA_{jj}}, \quad \%C = \frac{100C}{QMGxA_{jj}},$$

em que:

$$S = \frac{1}{2}(\sqrt{Q_j} - \sqrt{Q_{j'}})^2 \quad \text{e} \quad C = \sqrt{(1-r)^3 Q_j \times Q_{j'}}$$

sendo:

Q_j e $Q_{j'}$, os quadrados médios de genótipos nos ambientes j e j', respectivamente;

r, a correlação entre as médias dos genótipos nos ambientes j e j';

$QMGxA_{jj}$, o quadrado médio da interação genótipo x ambiente;

A seguir, os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson com a finalidade de estimar o grau de relacionamento entre os pares de ambientes testados, a partir do modelo matemático:

$$r = \frac{C_{j,j'}}{S_j S_{j'}}$$

onde:

$C_{j,j'}$, representa a covariância ou variância conjunta entre os ambientes j e j';

$S_j S_{j'}$, representa o desvio padrão dos ambientes j e j', respectivamente.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados na análise de variância conjunta permitem verificar que, para os caracteres relacionados ao ciclo e altura, considerando a fonte de variação genótipos, foram, em sua maioria, significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F em, praticamente, todas as densidades, excetuando-se apenas a Densidade C para altura de espiga e florescimento masculino com significância ao nível de 5% de probabilidade e, o caráter posição relativa da espiga na Densidade C e os caracteres florescimento masculino e feminino na Densidade A que não foram significativos. Porém, considerando o fator ambiente e, novamente, com exceção da Densidade C para o caráter posição relativa da espiga, os demais caracteres foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Situação oposta ocorreu para a interação genótipo x ambiente que, para os caracteres de ciclo e altura, apresentou resultados significativos ao nível de 5% de probabilidade apenas para altura de planta e de espiga na Densidade A (Tabela 1).

Para os caracteres relacionados à produtividade, para a fonte de variação genótipos, nenhum dos resultados foi significativo. Quanto ao ambiente, exceto as Densidades A e B para prolificidade e B e D para acamamento, os demais foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Já para a interação genótipo x ambiente, houve significância apenas para a Densidade D no caráter quebramento e Densidade A no caráter produtividade de grãos (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta entre os quatro ambientes para os caracteres de importância agrônômica, em variedades de milho.

Quadrados Médios (QM)												
AP				AE				PRE				
F.V.	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Gen.	465,91**	583,24**	649,92**	522,16**	323,88**	360,65**	339,43*	397,66**	7,12**	5,96**	12,24 ^{ns}	10,59**
Amb.	1763,11**	1763,06**	1335,04**	1378,12**	871,67**	872,07**	749,33**	706,04**	8,26**	9,47**	13,45 ^{ns}	13,96**
G x A	18,73*	12,94 ^{ns}	8,26 ^{ns}	13,00 ^{ns}	10,65*	7,56 ^{ns}	70,63 ^{ns}	6,22 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,38 ^{ns}	14,77 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Res.	8,63	8,08	8,41	8,85	5,38	5,63	120,77	4,05	0,44	0,35	24,86	0,26
Média	213,51	215,90	208,81	205,13	122,76	123,36	120,3	119,93	0,5707	0,5674	0,5721	0,5810
CV%	4,35	4,16	4,39	4,59	5,98	6,08	28,89	5,30	3,65	3,29	27,56	2,76
FM				FF				AC				
Gen.	13,26 ^{ns}	49,56**	20,05*	36,99**	31,46 ^{ns}	65,48**	67,06**	72,66**	2,87 ^{ns}	9,25 ^{ns}	4,42 ^{ns}	4,42 ^{ns}
Amb.	3145,38**	3139,42**	3062,27**	3230,70**	3717,11**	3392,87**	3201,72**	3326,76**	18,24**	20,87 ^{ns}	15,22**	12,89 ^{ns}
G x A	10,60 ^{ns}	6,62 ^{ns}	4,62 ^{ns}	6,31 ^{ns}	16,73 ^{ns}	3,82 ^{ns}	3,92 ^{ns}	5,05 ^{ns}	5,23 ^{ns}	18,91 ^{ns}	3,70 ^{ns}	3,09 ^{ns}
Res.	9,21	5,79	3,13	3,68	8,50	3,98	3,31	3,53	4,53	13,80	2,98	3,57
Média	68,88	68,38	67,76	68,39	70,61	70,15	69,31	69,81	0,92	1,01	0,78	1,11
CV%	4,41	3,52	2,61	2,80	4,13	2,84	2,63	2,69	232,13	366,44	221,82	170,10
QUE				PROL				PG				
Gen.	13,32 ^{ns}	9,25 ^{ns}	12,46 ^{ns}	3,77 ^{ns}	0,0896 ^{ns}	0,0847 ^{ns}	0,1084 ^{ns}	0,0326 ^{ns}	77,77 ^{ns}	9,31 ^{ns}	18,59 ^{ns}	14,59 ^{ns}
Amb.	372,48**	178,68**	16,11**	28,89**	0,0648 ^{ns}	0,0059 ^{ns}	1,29**	0,5028**	616,79**	424,26**	592,14**	941,04**
G x A	31,73 ^{ns}	14,08 ^{ns}	4,57 ^{ns}	9,94*	0,0576 ^{ns}	0,0710 ^{ns}	0,0900 ^{ns}	0,0824 ^{ns}	45,08*	18,87 ^{ns}	21,17 ^{ns}	11,23 ^{ns}
Res.	45,85	18,57	3,66	4,49	0,0382	0,0375	0,0777	0,0689	18,88	10,39	13,97	17,78
Média	5,28	3,65	2,56	2,67	0,9022	0,8644	1,07	1,00	7594,36	6363,39	5853,90	5748,09
CV%	128,29	117,98	74,82	79,48	21,65	22,40	25,96	26,16	18,09	16,02	20,19	23,19

Altura da planta (AP), em cm, altura da espiga (AE), em cm, posição relativa da espiga (PRE), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), em dias, acamamento (AC), em porcentagem, quebramento (QUE), em porcentagem, prolificidade (PROL) e produtividade de grãos (PG), em toneladas por hectare.

Gen. (Genótipo), Amb. (Ambiente), G x A (Interação Genótipo x Ambiente), Res. (Resíduo) e CV% (Coeficiente de Variação, em porcentagem).

A, B, C e D – Densidades populacionais de 80.000, 66.667, 50.000 e 55.555 pl ha⁻¹, respectivamente.

^{ns}, ** e * – não significativo, significativo a 1% e 5% pelo teste F, respectivamente.

Os valores dos caracteres altura da planta, posição relativa da espiga e produtividade de grãos foram transformados, dividindo-se por 10, multiplicando-se por 1.000 e dividindo-se por 100.000, respectivamente.

Considerando a decomposição da interação genótipo x ambiente em partes simples e complexa, pelo método de dissimilaridade ambiental, verifica-se que, para os caracteres relacionados ao ciclo e altura, há predominância da interação do tipo simples, cujos valores, em sua grande maioria, não ultrapassam 35%. No entanto, pode-se destacar a Densidade C para os pares de ambiente 1-3 e 2-3, em que há ocorrência de interação do tipo complexa em três dos cinco caracteres do grupo (altura de espiga, posição relativa da espiga e florescimento masculino). No caso dos caracteres relacionados à produtividade houve predominância da interação do tipo complexa, independentemente dos pares de ambientes, ocorrendo apenas para o par de ambientes 1-3 na Densidade A, quanto ao caráter acamamento, ausência de interação. Por sua vez, as Densidades A e D apresentaram interação do tipo complexa na maioria dos pares de ambientes, independentemente do caráter analisado. (Tabela 2).

Confirmando os resultados apresentados na Tabela 2, correlações negativas ou baixas ocorreram para as situações em que se obteve interação do tipo complexa. O inverso é também verdadeiro, pois na maioria dos caracteres do grupo ciclo e altura para os diferentes pares de ambientes, do tipo simples, a correlação foi superior à 90% em geral, o que denota a reduzida divergência entre os pares de ambientes e densidades (Tabela 3).

Como ilustração da ocorrência de interação do tipo complexa, tem-se para o caráter produtividade, as Figuras de 1 a 4. Nota-se que a interação do tipo complexa é mais pronunciada para as densidades A, B e C com espaçamento entre linhas de 0,50m, o que não ocorre quando analisado o espaçamento de 0,90m (Densidade D). Verifica-se, pois, que, a densidade influencia a interação genótipo x ambiente.

Tabela 2. Estimativas da fração complexa, em %, resultante da decomposição da interação entre pares de ambientes e densidades populacionais baseados nos caracteres avaliados, para as variedades de milho testadas.

AP				AE				PRE			
Interação entre ambientes				A	B	C	D	A	B	C	D
1 x 2	3,49	8,79	19,64	3,20	5,68	17,31	26,96	1,56	42,78	17,37	31,51
1 x 3	5,52	5,75	18,85	6,14	6,65	0,64	71,78	6,70	45,02	51,92	18,67
1 x 4	1,17	1,12	8,08	1,68	1,64	0,39	22,82	1,89	17,64	76,00	7,23
2 x 3	26,65	31,34	15,90	5,44	5,91	33,26	72,19	5,58	29,38	90,20	19,55
2 x 4	20,79	22,14	20,25	5,70	7,39	26,09	28,97	6,33	19,08	92,18	25,02
3 x 4	10,35	13,65	4,94	6,21	8,20	11,47	33,01	1,76	31,27	3,99	13,11
FM				FF				AC			
1 x 2	129,53	16,73	5,46	42,47	110,95	18,11	5,67	5,11	16,14	112,03	46,60
1 x 3	56,40	40,77	95,55	71,40	38,06	33,36	28,89	53,22	0,0788	29,85	26,84
1 x 4	16,13	29,59	64,39	33,67	7,45	21,48	10,99	36,33	90,66	8,29	109,54
2 x 3	103,93	54,15	74,87	51,01	101,89	2,73	36,57	31,83	104,07	29,03	51,12
2 x 4	125,41	19,81	18,67	19,26	110,49	8,23	4,67	7,73	36,24	106,31	52,03
3 x 4	24,55	30,35	14,71	39,75	10,78	22,83	7,35	23,66	51,61	21,55	84,89
QUE				PROL				PG			
1 x 2	92,03	63,52	95,70	6,49	104,74	60,47	101,46	88,87	100,99	62,42	66,68
1 x 3	71,39	92,77	8,06	67,13	21,45	109,36	48,27	116,20	65,69	83,12	88,03
1 x 4	100,42	46,24	70,62	114,91	48,77	86,33	68,63	96,07	38,96	126,52	95,89
2 x 3	44,58	25,71	40,91	102,49	106,17	79,37	79,66	98,17	83,04	73,41	67,85
2 x 4	62,70	79,93	53,65	128,04	95,05	33,14	47,35	114,79	58,11	44,92	55,18
3 x 4	63,09	81,29	33,25	110,39	68,37	60,62	66,43	85,60	56,65	114,95	105,31

Altura da planta (AP), altura da espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), acamamento (AC), quebramento (QUE), prolificidade (PROL) e produtividade de grãos (PG).

A, B, C e D – Densidades populacionais de 80.000, 66.667, 50.000 e 55.555 pl ha⁻¹, respectivamente.

1, 2, 3 e 4 – Ambientes: Safra 2012/13 em Jaboticabal, safinha 2012 em Jaboticabal, safinha 2013 em Jaboticabal e safinha 2013 em Matão, respectivamente.

Considerou-se de natureza complexa aqueles com valores da porcentagem de interação superiores a 50%.

Tabela 3. Estimativas da correlação (r) entre os pares de ambientes e densidades populacionais, baseados nos caracteres avaliados, para as variedades de milho testadas.

AP				AE				PRE				
Interação entre ambientes				A	B	C	D	A	B	C	D	
1 x 2	0,9643	0,9457	0,9382	0,9703	0,9644	0,9149	0,9243	0,9844	0,7651	0,7482	0,8442	0,8993
1 x 3	0,9334	0,9679	0,9573	0,9649	0,9218	0,9940	0,4827	0,9713	0,5552	0,7680	-0,0989	0,9298
1 x 4	0,9848	0,9907	0,9714	0,9852	0,9825	0,9960	0,8876	0,9855	0,9211	0,9478	0,2763	0,9744
2 x 3	0,9138	0,8989	0,9679	0,9902	0,9748	0,8888	0,4688	0,9867	0,8856	0,7924	-0,2579	0,9337
2 x 4	0,9563	0,9489	0,9546	0,9933	0,9895	0,9319	0,8650	0,9926	0,9491	0,8718	0,1087	0,9047
3 x 4	0,9760	0,9813	0,9889	0,9942	0,9767	0,9866	0,8020	0,9975	0,8132	0,9022	0,9177	0,9828
FM				FF				AC				
1 x 2	-0,7529	0,8513	0,9406	0,5643	-0,3630	0,8831	0,9473	0,9508	0,0718	-0,2963	0,0718	-0,4688
1 x 3	0,6677	0,8096	0,0151	0,4323	0,8547	0,8276	0,8552	0,6956	0,9790	0,0865	0,6325	0,6998
1 x 4	0,9334	0,9104	0,4646	0,8628	0,9605	0,9266	0,9657	0,8537	-0,2000	0,9683	-0,2000	0,9375
2 x 3	-0,2265	0,5554	0,3274	0,6013	-0,1555	0,9567	0,8141	0,7935	-0,1047	0,2495	0,6248	-0,2046
2 x 4	-0,5729	0,8113	0,7072	0,7564	-0,2210	0,9148	0,9314	0,9123	-0,0359	-0,3322	-0,0359	-0,5000
3 x 4	0,8533	0,8732	0,8580	0,7254	0,9477	0,9399	0,9407	0,8961	-0,2708	0,1306	-0,3162	0,4364
QUE				PROL				PG				
1 x 2	-0,1261	0,1734	-0,1732	0,8803	-0,1721	0,2162	-0,0583	0,0250	-0,6760	0,2962	0,1918	0,4332
1 x 3	0,1114	-0,1042	0,7304	-0,0960	0,7754	-0,1967	0,4845	-0,4394	0,5613	0,2510	0,1845	0,7254
1 x 4	-0,2288	0,5526	0,2551	-0,6657	0,2648	-0,1203	-0,4830	-0,1565	0,5375	-0,7394	-0,1232	-0,0923
2 x 3	0,1072	0,4400	0,3942	-0,0567	-0,3048	-0,1357	0,1414	0,0122	-0,3786	-0,0943	-0,0002	0,6864
2 x 4	0,6007	0,3230	0,7118	-0,7558	-0,3257	0,1835	0,1256	-0,3210	-0,6305	0,2901	-0,0124	0,0658
3 x 4	-0,1909	-0,4901	0,5175	-0,3870	0,4565	0,3312	0,2188	0,2229	0,3522	-0,3390	-0,1822	-0,3328

Altura da planta (AP), altura da espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), acamamento (AC), quebramento (QUE), prolificidade (PROL) e produtividade de grãos (PG).

A, B, C e D – Densidades populacionais de 80.000, 66.667, 50.000 e 55.555 pl ha⁻¹, respectivamente.

1, 2, 3 e 4 – Ambientes: Safra 2012/13 em Jaboticabal, safinha 2012 em Jaboticabal, safinha 2013 em Jaboticabal e safinha 2013 em Matão, respectivamente.

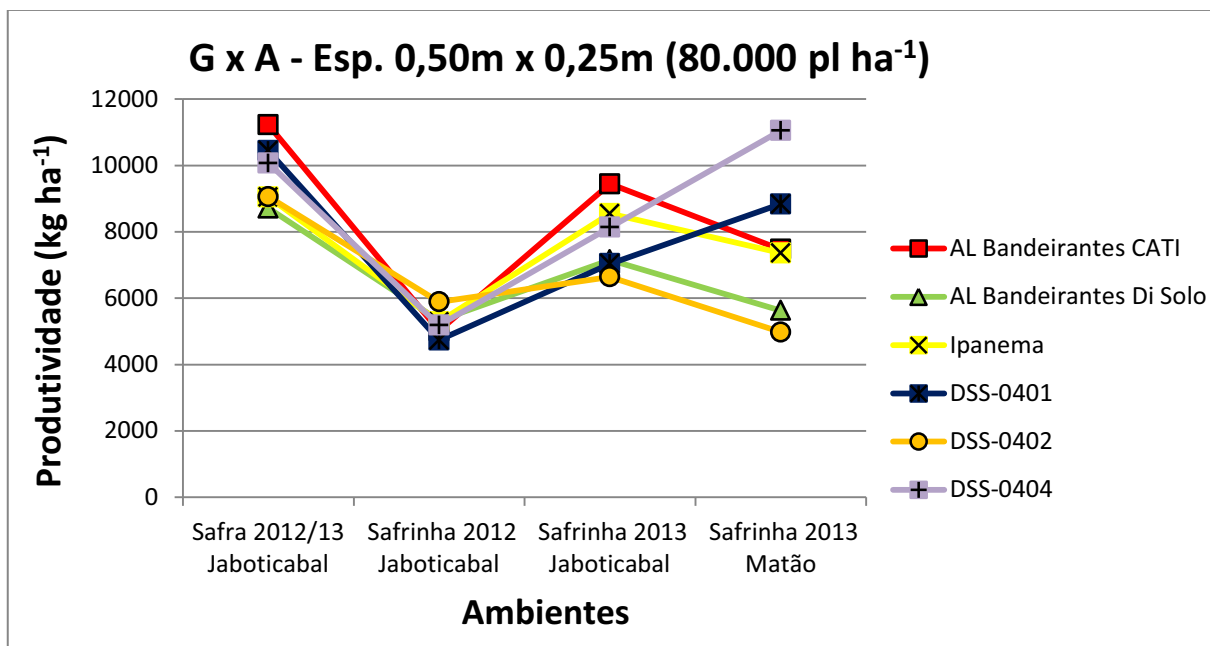


Figura 1. Representação gráfica da interação G x A, considerando os genótipos em estudo em cada um dos ambientes quanto à densidade de 0,50m x 0,25m (80.000 pl ha⁻¹), para a característica produtividade de grãos.

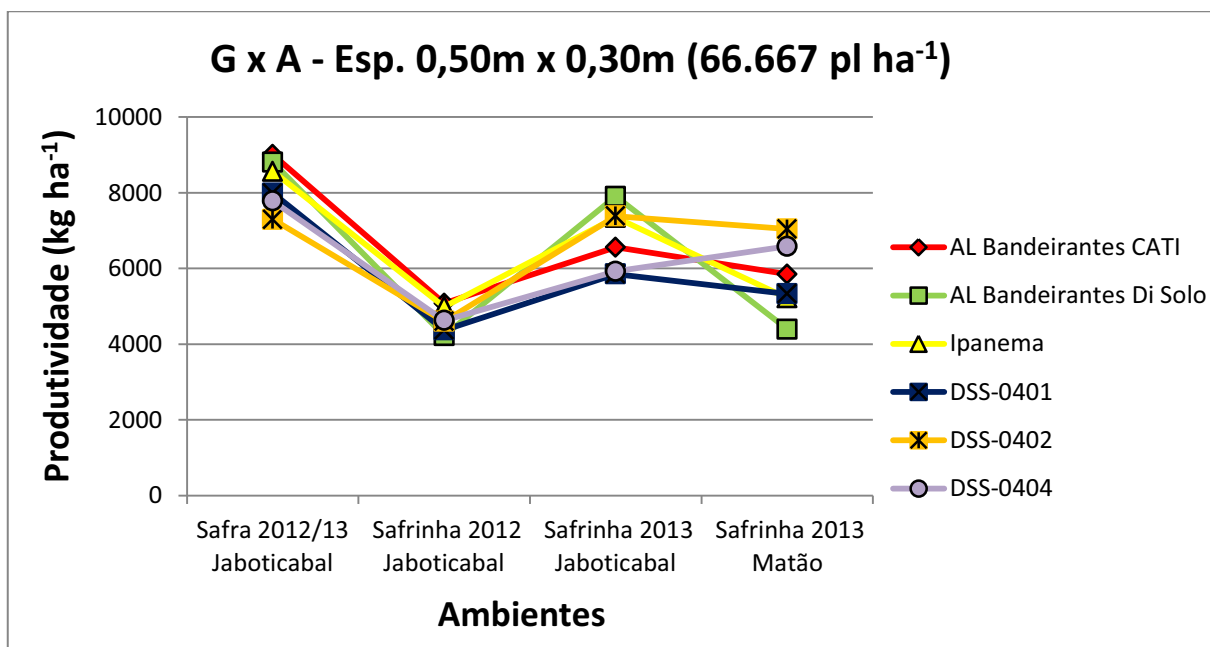


Figura 2. Representação gráfica da interação G x A, considerando os genótipos em estudo em cada um dos ambientes quanto à densidade de 0,50m x 0,30m (66.667 pl ha⁻¹), para a característica produtividade de grãos.

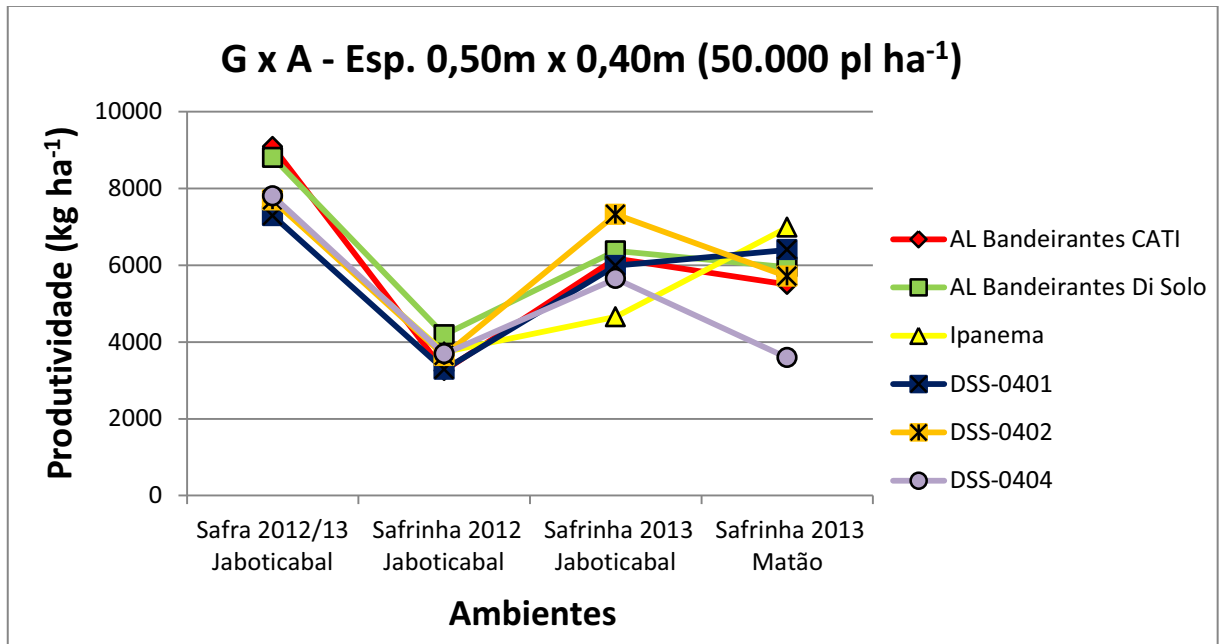


Figura 3. Representação gráfica da interação G x A, considerando os genótipos em estudo em cada um dos ambientes quanto à densidade de 0,50m x 0,40m (50.000 pl ha⁻¹), para a característica produtividade de grãos.

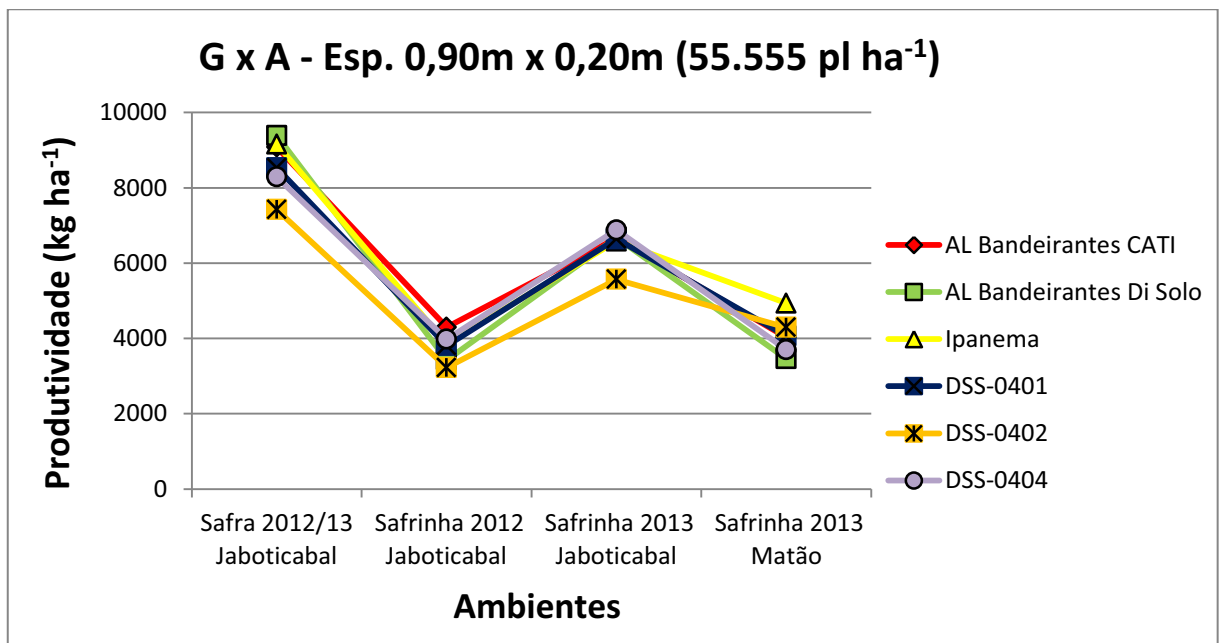


Figura 4. Representação gráfica da interação G x A, considerando os genótipos em estudo em cada um dos ambientes quanto à densidade de 0,90m x 0,20m (55.555 pl ha⁻¹), para a característica produtividade de grãos.

5. DISCUSSÃO

Os valores do coeficiente de variação (CV%) encontram-se dentro da faixa adequada (SCAPIM et al., 1995; HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1988; FRITSCHENETO et al., 2012; BUZINARO, 2014). Os altos valores obtidos para os caracteres relacionados à produtividade quanto à este parâmetro, quando comparados aos caracteres do grupo de ciclo e altura, podem ser explicados pelo fato de serem governados por muitos genes e altamente influenciados pelo ambiente, sujeitos à uma amplitude maior entre os valores pelo estímulo ambiental a que as variedades foram submetidas.

Para a fonte de variação genótipos, considerando os caracteres referentes ao ciclo e altura, os mesmos apresentaram comportamento diferencial nos diversos ambientes, indicando boa precisão experimental (CARGNELUTTI FILHO; STORCK; GUADAGNIN, 2010). Por sua vez, nas situações em que os caracteres não foram significativos num ambiente específico, os mesmos apresentam comportamento semelhante. O mesmo ocorre para o fator ambiente que, quando significativo, implica na existência de variância ambiental (RIBEIRO; ALMEIDA, 2011). Quanto à interação genótipo x ambiente, a sua não significância para a maioria dos caracteres do grupo ciclo e altura, implica que os genótipos e ambientes atuam de maneira independente, de forma que, a alteração de um provoca alteração no outro de forma semelhante. Pode-se, pois, concluir não ser necessário repetir as avaliações para tais caracteres nos genótipos nos ambientes específicos, pelos genótipos responderem da mesma maneira independente ao ambiente.

Para os caracteres relacionados à produtividade, a não significância dos mesmos indica que os genótipos não se diferenciam entre si nos diversos ambientes, diferentemente do ocorrido com o fator ambiente, o que infere que se tratam de ambientes distintos (GARBUGLIO et al., 2007). Quanto à interação genótipo x ambiente, dentre as duas situações em que os resultados foram significativos está a produtividade de grãos dentro da Densidade A, ou seja, nesta densidade há resposta diferenciada por parte dos genótipos, enquanto nas demais, os genótipos e ambientes atuam de forma independente, o que está de acordo com os resultados obtidos por Ramalho et al. (1993), Borém (1997) e Cruz e Regazzi

(1997). A existência de interação para o caráter produtividade de grãos, aliado à significância do fator ambiente, torna evidente que o aumento da densidade populacional estimula a ocorrência de interação, o que indica oscilação de produtividade.

Com base nas estimativas da decomposição da interação de genótipos x pares de ambientes em partes simples e complexa e análise de correlação entre ambientes, considerando, primeiramente, os caracteres relacionados ao ciclo e altura, há ocorrência predominante de interação do tipo simples, ocorrendo reduzida influência do ambiente, ou seja, a mudança de local e época provoca pouca influência sobre tais caracteres. Assim, ambientes com interação simples representam ambientes semelhantes, indicando classificação análoga dos genótipos para os ambientes em estudo (PEREIRA et al., 2010). Contudo, a interação do tipo complexa, apresenta ambientes que se caracterizam como contrastantes ou divergentes e, por esta razão, com valores de correlação baixos ou negativos. Tal situação foi predominante para os caracteres relacionados à produtividade, indicando que a alteração na densidade populacional é responsável pela interação do tipo complexa (GARBUGLIO et al., 2007), principalmente quando direcionada às altas populações. A predominância de interação do tipo complexa entre os caracteres se deve ao número de genes que os governam, o que os tornam bastante influenciados pelo ambiente (FALCONER; MACKAY, 1996).

Já o segundo ponto e, talvez o mais importante do ponto de vista da pesquisa nos Programas de Melhoramento é que, naquelas situações em que ocorreram interações do tipo simples para os pares de ambientes em estudo e para a densidade analisada, não se faz necessária a repetição das avaliações pelo fato dos genótipos apresentarem comportamento semelhante nos diversos ambientes para uma dada densidade, o que está de acordo com Peluzio et al., 2012. O estudo e a repetição só são interessantes quando a interação é do tipo complexa, em que a resposta do genótipo é diferencial frente ao estímulo do ambiente que, no contexto, se apresentou nas maiores densidades, afetando diretamente a produtividade.

6. CONCLUSÕES

- Há interação genótipo x ambiente, principalmente quanto aos caracteres relacionados à produtividade, quando submetidos às maiores densidades populacionais;
- Não é possível a recomendação precisa e uniforme de densidade populacional para os genótipos nas distintas épocas de cultivo.

7. REFERÊNCIAS

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

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

BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; RAPOSO, F. V. Potencial de híbridos simples de milho para extração de linhagens. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 348-355, 2003.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 1997, 547p.

BUZINARO, R. **Interação de genótipos de milho vs locais, anos e épocas de semeadura**, 2014, 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L. de; LEAL, M. L. S.; SANTOS, M. X. dos. Melhoramento genético das cultivares de milho CMS 47 e BR 5039 (São Vicente) na região Meio-Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 88-96, 2003.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; GUADAGNIN, J. P. Número de repetições para a comparação de cultivares de milho. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5 p. 1023-1030, 2010.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento-planta**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira – Grãos, Safra 2013/14**. Sexto Levantamento – Março/2014. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_03_12_08_41_24_boletim_graos_marco_2014.pdf. Acesso em 12 Mar. 2014.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambientes em partes simples e complexas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa, Editora UFV, 2005, 394p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes versão Windows**. Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa-MG, Editora UFV, 2006, 382p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2ed., Viçosa: UFV, 1997, 390p.

DEMARCHI, M. **Análise da conjuntura agropecuária. Safra 2011/12 – Milho**, Paraná, 2011, 14p.

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

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

EAST, E. M. The distinction between development and heredity in breeding. **American Naturalist**, v. 43, n. 507, p. 173-181, 1909.

EBERHART, S. A.; SALHUANA, W.; SEVILLA, R.; TABA, S. Principles for tropical maize breeding. **Maydica**, v. 40, p. 339-355, 1995.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção Embrapa. Cultivo do milho**. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 24 Fev. 2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Primeiro passo para o sucesso no milho é escolher a semente correta para o plantio**. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2013/agosto/5a-semana/primeiro-passo-para-o-sucesso-no-milho-e-escolher-a-semente-correta-para-o-plantio/>. Acesso em 27 Set. 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Produção**, 5ed., Versão eletrônica, **Embrapa Milho e Sorgo**, v. 2, 2009.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996, 463p.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G. V.; REZENDE, L. M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum**, v. 34, n. 1, p. 99-101, 2012.

GARBUGLIO, D. D.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P. M. de; JUNIOR, N. S. F.; SHIOGA, P. S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 2, p. 183-191, 2007.

GUIMARÃES, P. S. de; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; LÜDERS R. R.; SOUZA, A. P. de; LABORDA, P. R.; OLIVEIRA, K. M. Correlação da heterose de híbridos de milho com divergência genética entre linhagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 42, n. 6, p. 811-816, 2007.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**, 2.ed. Ames: Iowa State University Press, 1995, 468p.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 348-359, 2011.

KOSHIMA, F. A. T. **Estabilidade e adaptabilidade para caracteres de produção em linhagens de milho**. 2009. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

LONNQUIST, J.H. Progress from recurrent selection procedures for the improvement of corn populations. **Nebraska Agric. Exp. Sta Res. Bulletin** **197**, p. 1-32, 1961.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Culturas – Milho**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>. Acesso em 27 Set. 2013.

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**, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MIRANDA FILHO, J. B.; REIS, E. F. dos; OLIVEIRA, A. S.; RODRIGUES, L. O. Desenvolvimento de sintéticos de milho para o sudoeste de Goiás. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo. **Anais**. Águas de Lindóia, 2012, p. 2710-2716.

MIRANDA FILHO, J. B.; VIÉGAS, G. P. Milho Híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e Produção do Milho**. Edição da Fundação Cargill, 1987, cap.7, p. 275-290.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**, Viçosa: UFV, 1999, p. 429-485.

PELUZIO, J. M.; GEROMINNI, G. D.; SILVA, J. P. A.; AFFÉRI, F. S.; VENDRUSCOLO, J. B. G. Estratificação e dissimilaridade ambiental para avaliação de cultivares de soja no Estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 332-337, 2012.

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

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; WENDLAND, A. Estratificação ambiental na avaliação de genótipos de feijoeiro-comum tipo Carioca em Goiás e no Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 554-562, 2010.

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

RIBEIRO, J. Z.; ALMEIDA, M. I. M. Estratificação ambiental pela análise da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 8, p. 875-883, 2011.

ROJAS, B. A.; SPRAGUE, G. F. A comparison of variance components in corn yield trials. III. General and specific combining ability and their interaction with location and years. **Agronomy Journal**, Madison, v. 44, n. 9, p. 462-466, 1952.

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, 2000.

SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.

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

SHULL, G. H. A pure line method of corn breeding. **Report "American Breeders Association"**, Washington, v. 5, 1909, p. 51-59.

SPRAGUE, G. F.; EBERHART, S. A. Corn breeding. In: SPRAGUE, W. F. (Ed.). **Corn and Corn Improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1977, p. 335-336.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992, 486p.