

LEANDRO VAGNO DE SOUZA

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE CULTIVARES DE MILHO
SOB ESTRESSES ABIÓTICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729c
2003

Souza, Leandro Vagno de, 1977-

Capacidade de combinação de cultivares de milho sob
estresses abióticos / Leandro Vagno de Souza. – Viçosa :
UFV, 2003.

37p. : il.

Orientador: Glauco Vieira Miranda
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de
Viçosa

1. Milho - Melhoramento genético. 2. Milho - Estresse
abiótico. 3. Milho - Dialelo. 4. Milho - Seleção. I. Uni-
versidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD. 19 ed. 633.153

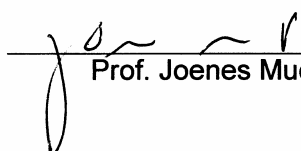
CDD. 20 ed. 633.153

LEANDRO VAGNO DE SOUZA

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE CULTIVARES DE MILHO SOB
ESTRESSES ABIÓTICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 7 de março de 2003.


Prof. Joenes Mucci Peluzio


Prof. Renzo Garcia Von Pinho


Prof. João Carlos Cardoso Galvão
Conselheiro


Pesq. Izabel Cristina dos Santos
Conselheira


Prof. Glauco Vieira Miranda
Orientador

“Quisera, Senhor Deus, plantar uma árvore dentro do meu coração e nela pendurar, em vez de presentes, o nome de todos os meus amigos! Os amigos de longe e os de perto, os antigos e os recentes. Os que vejo a cada dia e os que raramente encontro. Os sempre lembrados e os que às vezes ficam esquecidos. Os das horas difíceis e os das horas alegres. Os que, sem querer, eu magoei, ou sem querer, me magoaram. A aqueles a quem conheço profundamente e aqueles de quem me são conhecidos, a não ser as aparências. Os que pouco me devem e aqueles a quem devo muito:

- meus amigos jovens e os já senhores;
- os nomes de todos que já passaram pela minha vida;
- os que me admiram e que me estimam sem eu saber, e os que eu amo e estimo sem lhes dar a entender.

Quisera, senhor Deus, fixar uma árvore de raízes muito profundas, para que os seus nomes nunca mais sejam arrancados da minha vida; uma árvore de ramos muito extensos para que os novos nomes venham juntar-se aos já existentes.”

E ao nome do ramo mais alto desta árvore,
o primeiro e sempre presente em todos os momentos de minha vida,
ao meu pai, Sebastião Paulino de Souza,
Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida e pelas oportunidades.

Ao Sr. Sebastião Paulino de Souza, pela amizade e pelo apoio, dando condições para que alcance meus objetivos.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Glauco Vieira Miranda, pela amizade, confiança e orientação e, principalmente, pela oportunidade do crescimento acadêmico e profissional.

À pesquisadora Izabel Cristina dos Santos, pela amizade, pela agradável convivência e pela valiosa contribuição para a realização deste trabalho.

Ao professor João Carlos Cardoso Galvão, pela amizade, pelos ensinamentos e pelas sugestões na elaboração deste trabalho.

Aos professores Joenes Mucci Peluzio (UNITINS) e Renzo Garcia Von Pinho (UFLA), pela participação na banca de defesa da tese e pelas sugestões.

Ao amigo Reinaldo Soares de Freitas, por toda ajuda, pela amizade e pelo companheirismo.

A toda minha família, representados pelos meus padrinhos José Paulino de Souza e Teresa Carolina de Souza e à minha avó Maria Gonçalves, por tudo.

Aos amigos do Programa Milho, de todas as gerações, Lauro, Aurélio, Marony, Fernanda, Clayton, Ronaldo e Helber, Felipe, Anderson Birigui, Marcasso, Fidelis, Lucimar, Marília, Robert, Raimundo, José Roberto, Fernando, Marcelo, Joyce, Guta, Julien, Bárbara, Flávia, Heraldo, Adilson e, finalmente, Ciro, Eder e Alessandro, por todos os momentos compartilhados e, principalmente, pela oportunidade única de conviver com todos.

Aos companheiros da jornada CEDAF-UFV, Lauro, Robert, Juliano, Luciano, Moisés, pela amizade e pelo companheirismo nesta longa caminhada.

Aos amigos de infância, principalmente os integrantes da APOV e da A.R.E., representados por Luciano, Adão da Mata e Anderson, pela sincera amizade.

Ao Sr. José Mauro Xavier, por toda confiança e pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, em especial, a Mara Rodrigues e ao Vicente Madaleno, pela competência e sinceridade de sempre.

Em especial, aos amigos Aurélio Vaz de Melo, Ronaldo Rodrigues Coimbra e Lauro José Moreira Guimarães, lembrando sempre que companheiro é companheiro.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho, o meu reconhecimento e a minha gratidão.

BIOGRAFIA

LEANDRO VAGNO DE SOUZA, filho de Sebastião Paulino de Souza e Aparecida de Lourdes Jeremias, nasceu em São Paulo, Estado de São Paulo, em 25 de Julho de 1977.

Em 2001, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Em 2002, iniciou o Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor Glauco Vieira Miranda, defendendo tese em março de 2003.

Em março de 2003, iniciou o Programa de Doutorado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Obtenção das combinações híbridas	8
3.2. Condução dos ensaios	9
3.3. Análises estatísticas	10
3.3.1. Análises de variância.....	10
3.3.2. Análises dialéticas	12
3.3.3. Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	13
3.3.4. Correlações	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Análise de variância conjunta.....	15
4.2. Análise dialética.....	23
4.2.1. Análise dialética individual	23
4.2.2. Análise dialética conjunta	24
4.3. Análise de adaptabilidade e estabilidade	29
5. RESUMO E CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

RESUMO

SOUZA, Leandro Vagno, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2003. **Capacidade de combinação de cultivares de milho sob estresses abióticos**. Orientador: Glauco Vieira Miranda Conselheiros: João Carlos Cardoso Galvão e Izabel Cristina dos Santos.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a capacidade de combinação de cultivares comerciais de milho em condições ambientais contrastantes. Os ensaios foram conduzidos nas Estações Experimentais de Coimbra (E.E.C.) e Aeroporto (E.E.A.), nos anos agrícolas 1999/00 e 2000/01. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com duas repetições. Os ensaios da E.E.A. foram instalados no mês de dezembro com o intuito de submeter a cultura a estresse climático. Os ensaios da E.E.C. foram instalados no mês de outubro ou novembro e foi utilizada irrigação nos estádios fenológicos de maior exigência. A significância do efeito ambiente caracterizou que os ambientes foram contrastantes. Com base nas médias de produtividade de grãos, os ambientes foram classificados em: ambiente 1 favorável (8.331 kg ha^{-1}), ambiente 2 (6.637 kg ha^{-1}) e ambiente 3 (5.495 kg ha^{-1}) intermediários, e ambiente 4 (2.443 kg ha^{-1}) sob intenso estresse. Os efeitos de combinações híbridas x ambientes e testemunhas x ambientes foram significativos para produtividade de grão, evidenciando ser possível a seleção visando otimizar o potencial produtivo. A interação CEC x ambientes significativa indicou que a

atuação dos efeitos gênicos não-aditivos e a CEC foram influenciados de forma significativa pelas alterações ambientais. A CEC e PG apresentaram correlações positivas significativas apenas entre os pares de ambientes 1x2 e 3 x 4. Para os ambientes 1 x 4 e 2 x 4, a CEC apresentou correlações negativas significativas. A combinação híbrida BR106 x AG122 foi o único tratamento classificado com adaptabilidade específica a ambiente favorável. Os cultivares AL25 x AG122 e BR 201 foram classificados com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e menor influência do estresse. Os cultivares BR205 x AG122 e AG 122 foram classificados como de baixa previsibilidade; os demais cultivares foram classificados como de alta previsibilidade e adaptabilidade ampla. Assim, concluiu-se que os cultivares comerciais avaliados no dialelo não apresentaram potencial para o melhoramento para ambientes de intenso estresse; os efeitos gênicos não-aditivos foram os mais importantes para ambientes intermediários de estresse; o controle gênico da produtividade de grãos foi diferente em ambientes contrastantes quanto a intensidade de estresse; o melhoramento de plantas para estresse abiótico deve ser feito em ambiente específico; e em ambientes com intensidades similares de estresses, cultivares apresentaram desempenho fenotípico e genotípico correlacionados.

ABSTRACT

SOUZA, Leandro Vagno, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2003.
Combining ability of maize cultivars under abiotic stresses. Adviser:
Glauco Vieira Miranda. Committee Members: João Carlos Cardoso Galvão
and Izabel Cristina dos Santos.

The overall objective of this work was to evaluate the combining ability of commercial maize cultivars under contrasting environmental conditions. The essays were conducted at Coimbra (CES) and Airport Experimental Stations (AES), during the agricultural years 1999/2000 and 2000/2001. The experimental design used was randomized blocks with two repetitions. The AES essays were installed in December to submit the plant to climatic stress. The CES essays were installed in October or November with irrigation being used in the phenological stages of higher demand. The significance of the environmental effect characterized the environments as contrasting. Based on grain productivity averages, the environments were thus classified: environment 1, favorable ($8,331 \text{ kg ha}^{-1}$); environment 2 ($6,637 \text{ kg ha}^{-1}$) and environment 3 ($5,495 \text{ kg ha}^{-1}$), intermediate; and environment 4 ($2,443 \text{ kg ha}^{-1}$), under intense stress. The effects of the combinations hybrid x environment and control x environment were significant for grain productivity, showing that selection aiming to optimize the productive potential is possible. The significant SCA x environment interaction indicated that the role of the non-additive genic effects

and SCA were significantly influenced by the environmental changes. SCA and GP presented significant positive correlations only between environmental pairs 1 x 2 and 3 x 4. For the 1 x 4 and 2 x 4 environments, SCA presented significant negative correlations. The hybrid combination BR 106 x AG 122 was the only treatment classified as having specific adaptability to favorable environment. The cultivars AL 25 x AG 122 and BR 201 were classified as having specific adaptability to unfavorable environments and lower stress influence. The cultivars BR 205 x AG 122 and AG 122 were classified as having low predictability. The remaining cultivars were classified as having high predictability and extensive adaptability. Thus, it was concluded that the commercial cultivars evaluated in the diallel did not have the potential for breeding in intensely stressed environments; the non-additive genic effects are the most important for intermediate stressed environments; grain productivity genic control is different in contrasting environments as to stress intensity. Plant breeding for abiotic stress must be performed under specific environment. In environments with similar stress intensities, cultivars display a correlated phenotypic and genotypic performance.

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial do milho em áreas aptas à cultura não será suficiente para atender a demanda por este cereal nas próximas décadas (BÄNZIGER et al., 1999). A possível solução é o cultivo em áreas secundárias que apresentam limitações edafoclimáticas, ou seja, com estresses abióticos. No entanto, nestas áreas o sistema produtivo utilizado caracteriza-se pela baixa utilização de insumos e os agricultores são desprivilegiados econômica e socialmente (MACHADO, 1997), fazendo com que as médias de produtividade de grãos sejam muito baixas.

Entre os fatores de estresses abióticos, a seca e as altas temperaturas são os principais, exercendo seus efeitos diretamente no desenvolvimento das plantas (LARCHER, 2000).

O melhoramento de plantas em ambientes de estresses abióticos, principalmente o desenvolvimento de cultivares com maior eficiência no uso da água e do nitrogênio, é a estratégia adequada para aumentar a produtividade de grãos (REEVES, 1996). O melhoramento de milho para condições de estresses abióticos é relatado por DUVICK (1996) como a causa primária para o incremento na produtividade de grãos nos últimos 70 anos em Iowa, EUA.

A obtenção de germoplasmas adaptados a condições de estresses abióticos tem sido internacionalmente intitulada como “breeding to low-input”. Estima-se que 1,4 bilhão de pessoas sejam dependentes deste tipo de agricultura; 60% dos produtores no mundo vivem esta realidade e produzem de

15 a 20% do alimento mundial (CECCARELLI, 1996). Para a cultura do milho, no Brasil, aproximadamente 94% das propriedades são lavouras menores de 10 ha e são responsáveis por apenas 30% da produção nacional. Estas lavouras estão predominantemente em regiões com algum tipo de estresse, destacando-se a seca e a baixa fertilidade natural do solo. Desta forma, o melhoramento da cultura do milho deverá ser direcionado para condições de estresses.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a capacidade de combinação de cultivares comerciais de milho em condições ambientais contrastantes e os objetivos específicos foram:

- avaliar o potencial de cultivares comerciais de milho como genitores para condições de estresses;
- caracterizar o ambiente de pesquisa;
- estudar o controle gênico da produtividade de grãos em ambientes favoráveis e sob estresse; e
- definir qual a melhor estratégia de desenvolvimento de cultivares para condições de estresses.

2. REVISÃO DE LITERATURA

No Brasil existem inúmeras instituições públicas e privadas atuando na área de melhoramento do milho. O objetivo dessas instituições é a obtenção de novos cultivares com alto potencial produtivo. Mas, na prática o potencial produtivo ideal não tem sido sempre alcançado, visto que a média nacional de produtividade de grãos é de 3.100 kg ha^{-1} (AGRIANUAL, 2002), enquanto a média do ensaio nacional de cultivares de milho ciclo normal, safra 2001/2002 foi de 6.930 kg ha^{-1} . Isto se deve ao fato de que os ensaios nacionais são conduzidos utilizando toda a tecnologia disponível e recomendada para a cultura e em áreas aptas para o seu cultivo.

No entanto, no Brasil, o milho é cultivado em enorme diversidade de condições ambientais, sendo que 89% das propriedades não fazem uso de altos insumos (RAMALHO, 1999).

Os caracteres quantitativos, como a produtividade de grãos, são altamente influenciados pelo ambiente (ALLARD, 1971), e a interação genótipos x ambientes exerce grande influência sobre a expressão desses caracteres (COMSTOCK & MOLL, 1963). Desta forma, para a indicação de cultivares a interação genótipos x ambientes é um dos principais fatores que devem ser considerados.

Estudos a respeito da interação genótipos x ambientes não proporcionam informações sobre o comportamento de cada cultivar frente às variações ambientais. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade

e estabilidade, pelas quais torna-se possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições amplas ou específicas (CRUZ & REGAZZI, 1997).

O método de análise de adaptabilidade e estabilidade proposto por EBERHART & RUSSELL (1966), baseia-se em análise de regressão simples, considerando o aspecto de que tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental quanto os desvios desta regressão proporcionam estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, respectivamente. A adaptabilidade refere-se à capacidade de os cultivares aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e classifica os cultivares em três grupos: 1) cultivares com adaptabilidade ampla: são aqueles com $\hat{\beta}_{1j}$ igual a 1; 2) cultivares com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis: são aqueles com $\hat{\beta}_{1j}$ maior que 1; e 3) cultivares com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis: são aqueles com $\hat{\beta}_{1j}$ menor que 1. Estabilidade refere-se à capacidade de os cultivares mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente. É avaliada pelo componente de variância atribuído aos desvios da regressão (σ^2_{di}), podendo verificar-se os seguintes tipos de cultivares quanto a estabilidade ou previsibilidade: alta, $\hat{\sigma}^2_{di}$ igual a zero; e baixa, $\hat{\sigma}^2_{di}$ maior que zero.

A principal alternativa adotada pelas empresas de melhoramento é a seleção de cultivares de adaptabilidade ampla, possibilitando a indicação de determinado cultivar para grande área. No entanto, devido à amplitude da área de plantio de milho no Brasil, não é possível desenvolver cultivares com boa adaptação a toda extensão. Por isso, em várias ocasiões são disponibilizados para o comércio de sementes cultivares poucos adaptados, principalmente para as regiões sob estresses ou de interesse secundário para o agronegócio das sementes, sendo este um dos principais fatores que justificam as baixas médias de produtividade obtidas nessas regiões.

Portanto, cultivares desenvolvidos e selecionados em condições ambientais ótimas não se mostram adequados para serem utilizados sem limitações em condições de estresses (CECARELLI, 1996). O ideal é que a

avaliação e seleção de cultivares seja realizada na região em que eles serão comercializados ou em ambientes semelhantes ao da região de interesse comercial. Diante do exposto, torna-se necessária a caracterização dos ambientes de pesquisa, aproximando-os das verdadeiras condições para qual será feita a indicação dos cultivares.

O melhoramento de milho é convencionalmente realizado por meio da seleção para alta produtividade e da avaliação da estabilidade em vários locais e anos. Nestes programas de melhoramento o custo é alto, o ganho genético é baixo e poucas linhagens são selecionadas, proporcionando uma base genética estreita para a cultura.

Portanto, para indicação de cultivares é necessário que a avaliação seja realizada em vários ambientes, prática onerosa no melhoramento de plantas. No entanto, é possível reduzir os custos e o tempo de experimentação simulando variações ambientais em um mesmo local, como por exemplo, variando níveis de fertilizantes e épocas de semeaduras, ou quaisquer outros fatores que possam ser controlados (RIBEIRO et al., 1999).

O sucesso do programa de melhoramento de plantas está diretamente relacionado com a superioridade dos novos cultivares, ou seja, com o progresso genético da cultura. Na cultura do milho, estudos têm mostrado que o ganho médio anual está em torno de 2%. Resultados obtidos por CARDWELL (1982) mostram que o incremento anual na produtividade de milho em Minnesota foi de 85 kg ha⁻¹, sendo que 43% deste incremento foi devido à introdução de novos cultivares. No Brasil, resultados apresentados por VENCOVSKY et al. (1986) mostram que a estimativa do progresso genético para híbridos comerciais foi equivalente a 2% ao ano. Resultados semelhantes foram encontrados por ALLIPRANDINI et al. (1998) mostrando que os ganhos genéticos no estado de São Paulo foram de 2,7% ao ano.

Trabalhos realizados por CASTLEBERRY et al. (1984) e DUVICK (1996) mostram que os ganhos genéticos são diferentes para condições ambientais contrastantes e que em condições de estresses o progresso genético é menor.

Os resultados apresentados por ARBOLEDA-RIVERA & COMPTON (1974) mostram que a eficiência da seleção indireta (seleção sob condições favoráveis e progresso no ambiente com estresse) para produção de grãos em ambientes com estresse revelou-se três vezes inferior à eficiência da seleção

direta no próprio ambiente. CECCARELLI & GRANDO (1989), trabalhando com cevada (*Hordeum vulgare*), constataram que a eficiência da seleção indireta mostrou-se inferior à seleção direta no próprio ambiente de estresse. Os resultados apresentados por CASTLEBERRY et al. (1984) mostraram que os ganhos genéticos são maiores em ambientes que não sofreram qualquer tipo de estresse. Portanto, para aumentar a eficiência do melhoramento de plantas para condições de estresses, a seleção de genitores deve ser feita com base nos resultados obtidos no ambiente específico.

Uma das etapas de maior importância dentro do programa de melhoramento de plantas é a seleção de genitores. Existem vários métodos para fazê-la e entre os principais métodos têm-se o comportamento *per se* e a capacidade de combinação, que pode ser desdobrada em capacidade geral e específica de combinação. A capacidade geral de combinação (CGC) é definida como sendo o desempenho médio de um genitor em uma série de combinações híbridas. Já a capacidade específica de combinação (CEC) é a diferença do comportamento de certas combinações híbridas em relação ao que seria esperado com base na capacidade geral de combinação (SPRAGUE & TATUM, 1942). Esses autores relacionaram a CGC com os efeitos gênicos aditivos e a CEC com os efeitos gênicos não-aditivos (dominantes e epistáticos).

Para avaliar a capacidade de combinação de uma série de genitores potenciais, comumente são utilizados esquemas de cruzamento dialélicos, onde a partir do comportamento das combinações híbridas é possível estimar a capacidade de combinação dos genitores envolvidos. Para análise dos cruzamentos dialélicos existem vários métodos, e os mais empregados na cultura do milho são os métodos de GRIFFING (1956).

Para obter cultivares adaptados às condições de estresses é importante que as diferenças entre os cultivares estejam sob controle gênico, que seja herdável e que as populações segregantes possuam variabilidade genética para esta característica. Além disso, para planejar e direcionar a estratégia de desenvolvimento de cultivares é necessário conhecer quais efeitos gênicos controlam o caráter.

Em programas comerciais de melhoramento, em que a pressão para o lançamento de novos cultivares é grande, é comum a utilização de cultivares

comerciais como genitores, sendo possível usufruir das vantagens acumuladas ao longo do tempo pela prática do melhoramento de plantas. Isso se deve ao fato de que esses cultivares e suas linhagens parentais já tenham sido amplamente avaliados e, geralmente, apresentarem vantagens agronômicas em relação aos cultivares não-comerciais (MELO et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção das combinações híbridas

Foram selecionados cinco cultivares comerciais de milho, AG 122, AL 25, BR 106, BR 205 e Z8447, oriundos de diferentes programas de melhoramento, com potencial produtivo satisfatório, e classificados como de ampla adaptação (Tabela 1).

Tabela 1 – Características dos cultivares comerciais utilizados como genitores^{1/} e testemunhas^{2/}

Cultivar	Tipo	Ciclo	Região indicada	Tipo de grão
AG 122 ^{1,2}	Híbrido duplo	Precoce	S/CO/SP, MG, RJ, BA, MA, PI, TO, PA.	Semidente
AL 25 ¹	Variedade	Semiprecoce	Brasil	Semiduro
BR 106 ¹	Variedade	Precoce	Brasil, exceto RS	Semidente
BR 201 ²	Híbrido duplo	Precoce	Brasil, exceto RS	Semidente
BR 205 ¹	Híbrido duplo	Precoce	SE, CO, NE, PR, TO	Semidente
P30F80 ²	Híbrido simples	Semiprecoce	SUL, CO, BA, MA, MPI, SP, TO, PE, AL, ES, SE	Duro
Z 8447 ¹	Híbrido duplo	Precoce	-	Semidente

^{1/} Genitor, ^{2/} Testemunhas.
Fonte: CRUZ et al. (2002).

Para avaliá-los quanto à capacidade de combinação foram obtidas as combinações híbridas utilizando o esquema de dialelo completo. Os

cruzamentos foram feitos no esquema de fileiras pareadas, sendo realizados manualmente planta a planta, de maneira que cada combinação híbrida foi representada por pelo menos 50 espigas. Estes foram instalados na Estação Experimental Diogo Alves de Melo, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no primeiro semestre de 1999 e 2000. Os tratamentos culturais foram realizados sempre que necessário de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho.

3.2. Condução dos ensaios

Os ensaios foram conduzidos nos anos agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001, na Estação Experimental de Coimbra, Coimbra-MG, e na Estação Experimental do Aeroporto, Viçosa-MG, sendo ambas pertencentes ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Os ensaios conduzidos na Estação Experimental de Coimbra foram instalados em outubro e novembro nos anos de 1999/2000 e 2000/2001, respectivamente, sendo esta a época mais indicada para a semeadura de milho na região da Zona da Mata de Minas Gerais. No ensaio instalado em outubro de 1999 foi utilizada irrigação nas fases de maior exigência hídrica da cultura. Os ensaios conduzidos na Estação Experimental do Aeroporto, foram instalados em dezembro de 1999 e de 2000 com o intuito de submeter a cultura a condições de déficit hídrico e temperaturas elevadas durante os estádios fenológicos 4 a 9 (emissão de pendão a grãos “duros”) (FANCELLI & NETO, 2000). Desta forma, os cultivares foram avaliados em quatro ambientes caracterizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos ambientes de condução dos experimentos

Ambiente	Local	Mês/ano	Latitude sul	Longitude oeste	Altitude (m)
1	Coimbra	10/1999	20° 50' 30"	42° 48' 30"	720
2	Viçosa	12/1999	20° 45' 20"	42° 52' 40"	640
3	Coimbra	11/2000	20° 50' 30"	42° 48' 30"	720
4	Viçosa	12/2000	20° 45' 20"	42° 52' 40"	640

Foram avaliados 13 cultivares, sendo as combinações híbridas possíveis e as testemunhas.

Foi utilizado o preparo convencional do solo, com uma aração e duas gradagens. A adubação de semeadura foi realizada utilizando-se 400 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8 e a adubação de cobertura utilizando 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, parcelada em duas vezes, sendo a primeira no estágio fenológico de quatro folhas e a segunda no de oito folhas. Os tratos culturais foram realizados sempre que necessário, de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento em blocos ao acaso com duas repetições. Cada parcela experimental foi constituída por duas fileiras de 5,0 m de comprimento. O espaçamento entre fileiras foi de 0,90 m e na linha de 0,20 m entre plantas, sendo que o estande final estimado, após o desbaste, foi de 55.555 plantas ha⁻¹.

As seguintes características foram avaliadas:

- peso de grãos (PG): peso de grãos, em kg/parcela, transformado para kg ha⁻¹ e corrigido para 13% de umidade;
- altura da planta (AP): medida, em centímetros, após o pendoamento, da superfície do solo à inserção da folha bandeira, em cinco plantas competitivas por parcela; e
- altura da espiga (AE): medida, em cm, após o pendoamento, da superfície do solo à inserção da espiga superior no colmo, nas mesmas cinco plantas avaliadas para altura, por parcela.

As características alturas de planta e espiga foram avaliadas apenas nos ambientes 1, 3 e 4.

3.3. Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o Aplicativo Computacional em Genética e Estatística – Programa Genes versão Windows (CRUZ, 2001).

3.3.1. Análises de variância

Foram realizadas análises de variância para as características avaliadas em cada ambiente. Foi adotado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

em que

Y_{ij} = valor observado no i-ésimo cultivar ($i = 1, 2, \dots, t$), no j-ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, r$);

μ = média geral do ensaio;

t_i = efeito do i-ésimo cultivar;

b_j = efeito do j-ésimo bloco; e

ε_{ij} = erro aleatório associado à observação Y_{ij} .

Também foram realizadas as análises conjuntas. Previamente a estas, foi verificada a homogeneidade das variâncias residuais, utilizando-se a relação de 7:1 entre a maior e a menor variância residual, sugerida por GOMES (2000). Uma vez que para todas as análises não foi verificada a superioridade da relação a esse limite, foi possível efetuar a análise conjunta para todas as características avaliadas.

As análises conjuntas foram realizadas segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + (b/a)_{jk} + t_i + a_j + ta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que

Y_{ijk} = observação no k-ésimo bloco, avaliado no i-ésimo cultivar (combinações híbridas ou testemunhas) e j-ésimo ambiente;

μ = média geral do ensaio;

$(b/a)_{jk}$ = efeito do bloco k dentro do ambiente j;

t_i = efeito do cultivar (híbrido experimental ou testemunha) i;

a_j = efeito do ambiente j;

ta_{ij} = efeito da interação entre o cultivar i e o ambiente j; e

ε_{ijk} = erro aleatório associado à observação ijk .

Os efeitos de cultivares foram considerados fixos e os demais aleatórios, sendo que o esquema da análise de variância conjunta pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Esquema da análise de variância conjunta para os t cultivares e a ambientes, em blocos ao acaso, com decomposição da fonte de variação cultivares em fontes de variações atribuídas a combinações híbridas, testemunhas e ao contraste combinações híbridas *versus* testemunhas

FV	GL	SQ	QM	F
Blocos/Ambientes	$a(r-1)$	SQB	QMB	
Cultivares (T)	$t-1$	SQT	QMT	QMT/QMTA
Combinações híbridas (CH)	$g-1$	SQG	QMG	QMG/QMGA
Testemunhas (Test)	Te	SQTe	QMTe	QMTe/QMTeA
CH vs Test	1	SQGr	QMGr	QMGr/QMGrA
Ambientes (A)	$a-1$	SQA	QMA	QMA/QMB
T x A	$(t-1)(a-1)$	SQTA	QMTA	QMTA/QMR
CH x Amb.	$(g-1)(a-1)$	SQGA	QMGA	QMGA/QMR
Test. X Amb.	$(te-1)(a-1)$	SQTeA	QMTeA	QMTeA/QMR
(CH vs Test) x Amb.	$a-1$	SQGrA	QMGrA	QMGrA/QMR
Resíduo	$(r-1)(t-1)a$	SQR	QMR	
Total	Tra-1	SQTo		

m: Média; $CV\% = (100\sqrt{QMR})/m$

Fonte: CRUZ (2001).

O teste de comparação múltipla de médias empregado foi o de Tukey, a 5% de probabilidade.

3.3.2. Análises dialélicas

A metodologia utilizada para estimar os efeitos de capacidade geral e específica de combinação foi a proposta por GRIFFING (1956), método 4, utilizando apenas as combinações híbridas.

Foram realizadas as análises dialélicas em cada ambiente para a característica produtividade de grãos (kg ha^{-1}). O modelo genético estatístico empregado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + G_j + S_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que

μ = efeito da média geral;

G_i e G_j = efeitos da capacidade geral de combinação (C.G.C.) associados ao i e j -ésimo progenitor; e

S_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação (C.E.C) entre os progenitores i e j;

Neste modelo Y_{ij} e $\bar{\varepsilon}_{ij}$ são, respectivamente, a média experimental e o erro aleatório médio associado ao tratamento de ordem ij.

Também foi realizada a análise dialélica conjunta para a característica produtividade de grãos (kg ha^{-1}). O modelo genético estatístico empregado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + G_j + S_{ij} + A_k + GA_{ik} + GA_{jk} + SA_{ijk} + \bar{\varepsilon}_{ij}.$$

em que

μ = efeito da média geral;

G_i e G_j = efeitos da capacidade geral de combinação (C.G.C.) associados ao i e j-ésimo progenitor;

S_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação (C.E.C) entre os progenitores i e j;

A_k = efeito do ambiente k;

$GA_{ik} + GA_{jk}$ = efeitos da interação entre a capacidade geral de combinação (C.G.C.) associados ao i e j-ésimo progenitor com os ambientes, respectivamente; e

SA_{ijk} = efeito da interação entre a capacidade específica de combinação (C.E.C) entre os progenitores i e j e o ambiente.

3.3.3. Análise de adaptabilidade e estabilidade

Foi realizada análise de adaptabilidade e estabilidade dos cultivares, utilizando o método proposto por EBERHART & RUSSELL (1966).

Neste método é adotado o seguinte modelo de regressão linear:

$$Y_{ij} = \beta_{01} + \beta_{11}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que

Y_{ij} = média do cultivar i no ambiente j;
 β_{0i} = média geral do cultivar i;
 β_{1i} = coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo cultivar à variação do ambiente;
 I_j = índice ambiental codificado ($\sum I_j = 0$);
 δ_{ij} = desvio da regressão; e
 ε_{ij} = erro experimental médio.

3.3.4. Correlações

Foram realizadas as correlações entre os pares de ambientes para a produtividade de grãos (PG) e a capacidade específica de combinação (CEC). Foi utilizado o estimador do coeficiente de correlação:

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{\hat{V}(X)\hat{V}(Y)}}.$$

A hipótese de que o coeficiente de correlação é igual a zero ($H_0: \rho=0$), foi avaliada pela estatística t, dada por:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2},$$

em que t está associado a n-2 graus de liberdade e em um nível de significância α .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de variância conjunta

O efeito de ambiente foi significativo para as características produtividade de grãos (kg ha^{-1}), altura de planta (AP, cm) e altura de espiga (AE, cm), evidenciando que os ambientes foram contrastantes (Tabela 4).

No período entre a germinação e a emergência de plântulas, no ambiente 1 (Coimbra-MG, 10/1999), foi observada a ocorrência de veranico (Figura 1), mas, com a utilização de irrigação o desempenho da lavoura não foi afetado. No ambiente 2 (Viçosa-MG, 12/1999), ocorreu veranico de cinco dias durante a emergência das plântulas e elevação da temperatura em relação ao ambiente 1. No ambiente 3 (Coimbra-MG, 11/2000), as condições foram similares às do ambiente 2. No ambiente 4 (Viçosa-MG, 12/2000), foram observados dois veranicos, o primeiro durante a germinação e logo em seguida outro de cinco dias durante a emergência das plântulas, sendo este o ambiente que propiciou as maiores limitações para o bom desempenho da cultura no estágio zero (semeadura à emergência).

No entanto, durante os estádios 4 (emissão do pendão) e 5 (florescimento e polinização) é que foram observadas as maiores diferenças entre os ambientes (Figura 2).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância conjunta, para as características: produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), altura de planta (AP, cm) e altura de espiga (AE, cm)

FV	GL	Quadrado Médio		Quadrado Médio	
		PG	GL	AP	AE
Blocos/Ambientes	4	1129554,3	3	965,8	231,9
Cultivares (T)	(12)	2251303,2 ^{ns}	12	671,6 ^{ns}	433,6 ^{ns}
Combinações híbridas (CH)	9	1745413,5 ^{ns}	9	660,9 ^{ns}	276,4 ^{ns}
Testemunhas (Test.)	2	4990673,8 ^{ns}	2	182,4 ^{ns}	282,9*
CH vs Test.	1	1325569,3 ^{ns}	1	1745,5 ^{ns}	2150,0 ^{ns}
Ambientes (A)	3	159904629,1**	2	24919,1*	15037,8**
T x A	(36)	1767706,9**	24	499,8*	272,7*
CH x A	27	1517608,6*	18	367,6 ^{ns}	195,7 ^{ns}
Test. x A	6	2977305,3**	4	104,6 ^{ns}	33,7 ^{ns}
(CH vs Test.) X A	3	1599395,1 ^{ns}	2	2480,4**	1444,0**
Resíduo	48	819971,6	36	261,2	146,4
Total	103		77		
Média geral		5727		183,3	97,64
Média das CH		5789		185,9	100,51
Média das testemunhas		5521		174,7	88,05
CV (%)		15,81		8,8	12,4

*,** significativo, a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns} não-significativo.

No ambiente 1, a temperatura máxima ficou abaixo de 30°C, faixa considerada ótima para a cultura do milho (FANCELLI & NETO, 2000). Somando-se a isso a irrigação, este ambiente proporcionou as melhores condições ambientais para o desenvolvimento da cultura, fato comprovado pela maior média geral de produtividade de grãos obtida entre os quatro ambientes (8.331 kg ha⁻¹), em que combinações híbridas (8.471 kg ha⁻¹) e testemunhas (7.857 kg ha⁻¹) puderam otimizar o potencial produtivo (Tabela 5).

A ocorrência de veranico logo após o florescimento (58 dias após a emergência), no ambiente 2, e durante o florescimento (60 dias após a emergência), no ambiente 3, foram os fatores responsáveis pela redução na média de produtividade de grãos em relação ao ambiente 1. No ambiente 2, a média de produtividade de grãos foi de 6.637 kg ha⁻¹ o que corresponde a 20% de redução em relação ao ambiente 1 (Tabela 6). Já no ambiente 3, a redução foi de 39%, sendo que a média foi de 5.495 kg ha⁻¹. Estes resultados concordam com os expostos por Fratini (1975), citado por CASTRO & KLUGE (1999),

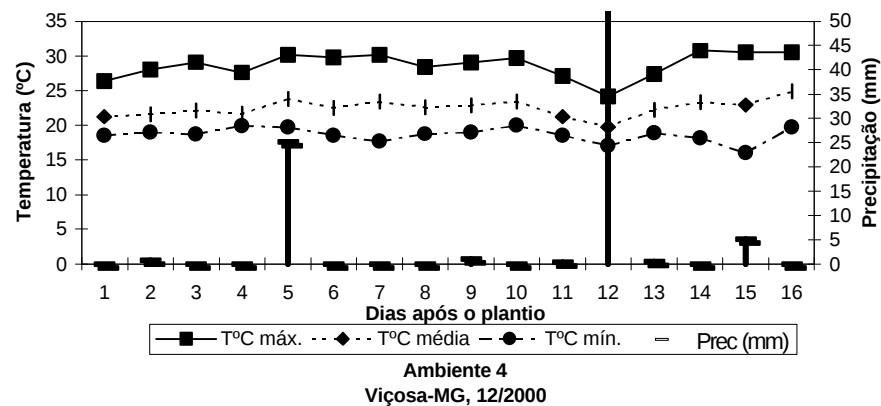
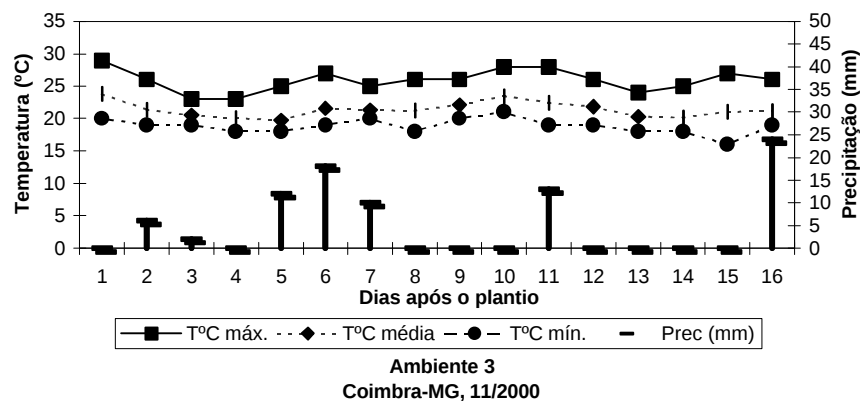
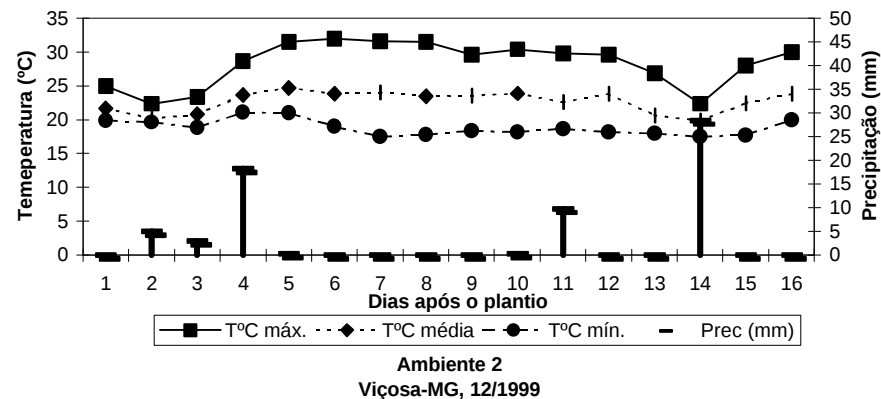
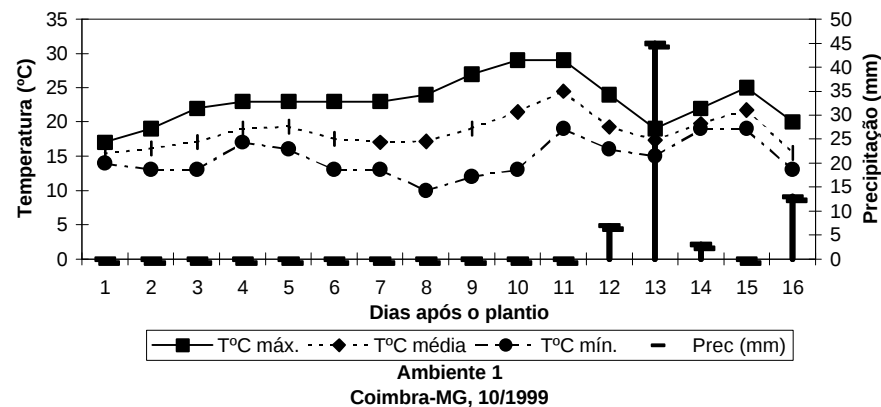


Figura 1 – Temperaturas máxima (T°C máx), média (T°C média) e mínima (T°C) e precipitação (Prec), em mm, ocorridas nos quatro ambientes da semeadura à emergência.

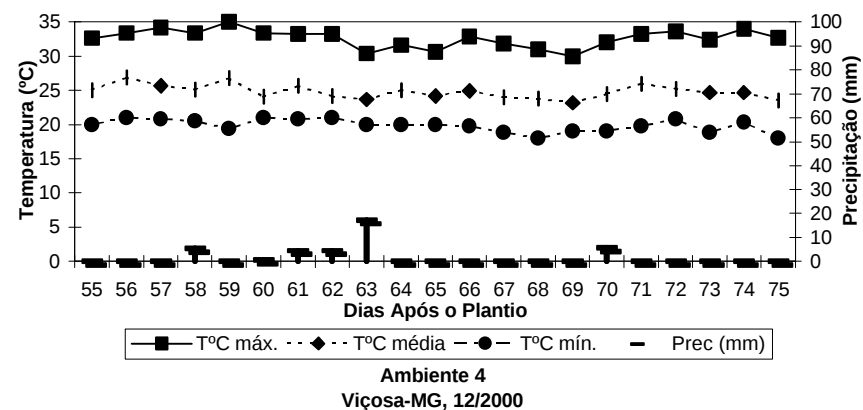
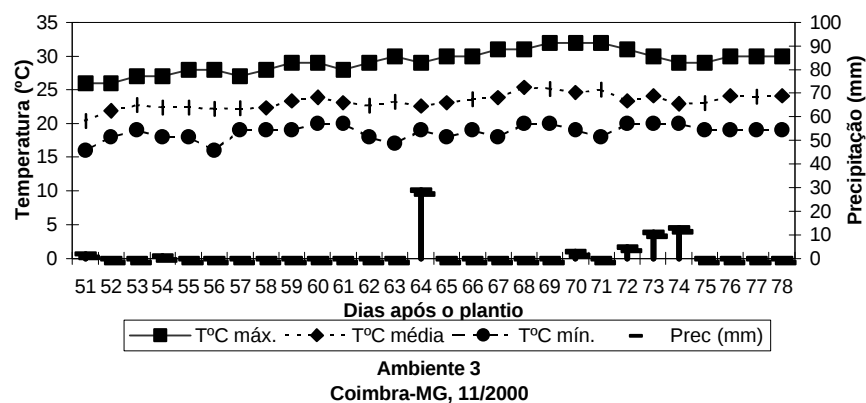
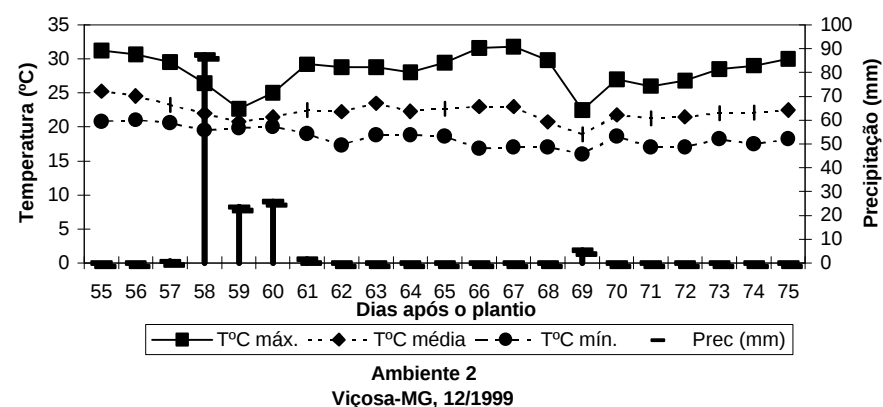
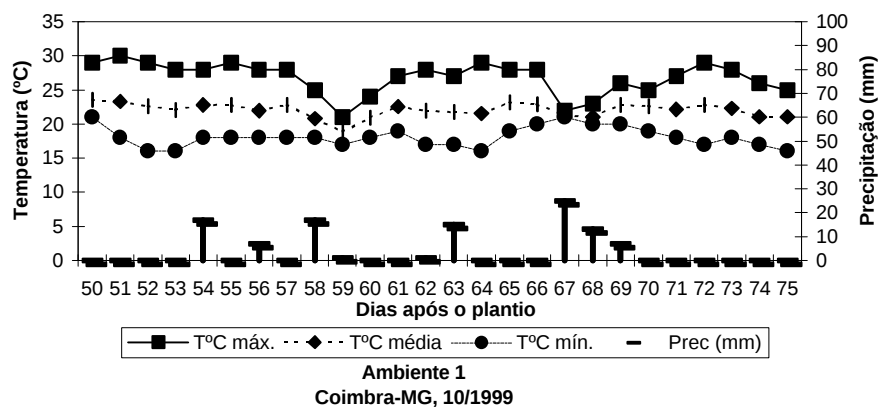


Figura 2 – Temperaturas máxima (T°C máx), média (T°C média) e mínima (T°C) e precipitação (Prec), em mm, ocorridas nos quatro ambientes da durante a emissão de pendão ao florescimento.

Tabela 5 – Médias de produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) das combinações híbridas (CH) e testemunhas (Test.), em quatro ambientes

Cultivares	Ambiente 1 ^{1/}	Ambiente 2 ^{1/}	Ambiente 3	Ambiente 4 ^{1/}
	Coimbra-MG, 10/1999	Viçosa-MG, 12/1999	Coimbra-MG, 11/2000	Viçosa-MG, 12/2000
Z8447 x BR 106	9019 A	5907 B	5150 B ab	2617 C
Z8447 x AL 25	8935 A	7671 AB	5376 B ab	2782 C
Z8447 x AG 122	8541 A	6136 A	6907 A ab	3087 B
Z8447 x BR 205	8512 A	5599 B	5674 B ab	1868 C
BR 106 x AL 25	9144 A	7677 AB	5873 B ab	2004 C
BR 106 x AG 122	9281 A	7663 A	3377 B ab	2073 B
BR 106 x BR 205	8056 A	6295 A	5883 A ab	2398 B
AL 25 x AG 122	6931 A	5157 AB	6389 A ab	3118 B
AL 25 x BR 205	7790 A	5979 AB	4681 B ab	1737 C
BR 205 x AG 122	8527 A	7537 A	7735 A a	2455 B
P30F80 (Test.)	9612 A	6867 B	6630 B ab	2610 C
BR 201 (Test.)	6268 A	6297 A	4911 AB ab	2907 B
AG 122 (Test.)	7693 A	7502 A	2840 B b	2102 B
Média geral	8331 A	6637 B	5495 C	2443 D
Média das CH	8471	6562	5705	2414
Média das Test.	7857	6889	4797	2540
CV(%)	11	14	20	27

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ^{1/} não diferem, estatisticamente, pelo teste F, a 5% de probabilidade

mostrando que o déficit hídrico por uma semana durante o florescimento pode reduzir em 50% o rendimento de grãos, enquanto posterior à polinização chega a reduzir 30%.

No ambiente 4, observou-se baixa disponibilidade hídrica com média diária inferior a 7 mm e temperatura máxima superior a 30°C. A planta de milho exige o mínimo de 350 a 500 mm de precipitação, e seu consumo diário raramente excede 3 mm até o estágio de sete folhas, porém, durante os estádios reprodutivos pode atingir 10 mm, principalmente sob altas temperaturas (CASTRO & KLUGE, 1999). Por isso, no ambiente 4 foi verificada a menor média de produtividade de grãos, 2.443 kg ha⁻¹ (Tabela 5).

Com base no desempenho obtido pelos cultivares no ambiente favorável foi possível quantificar a influência do estresse no potencial produtivo. Para isso, considerou-se que no ambiente 1 os cultivares otimizarão o potencial produtivo. As médias de reduções no potencial produtivo foram de 20, 39 e 73% nos ambientes 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 - Redução (%) no potencial produtivo dos cultivares, em relação ao ambiente favorável, devido a influência do estresse

Cultivares	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4
	Viçosa-MG, 12/1999	Coimbra-MG, 11/2000	Viçosa-MG, 12/2000
Z8447 x BR 106	-35	-43	-71
Z8447 x AL 25	-14	-40	-69
Z8447 x AG 122	-28	-23	-66
Z8447 x BR 205	-34	-37	-79
BR 106 x AL 25	-16	-35	-78
BR 106 x AG 122	-17	-63	-77
BR 106 x BR 205	-22	-35	-73
AL 25 x AG 122	-26	-29	-65
AL 25 x BR 205	-23	-48	-81
BR 205 x AG 122	-12	-14	-73
P30F80	-29	-26	-71
BR 201	0	-46	-68
AG 122	-2	-69	-77
Média	-20	-39	-73

No ambiente 2, a redução variou de 0 (BR 201) a 35% (Z8 447 x BR 106). No ambiente 3, o cultivar que sofreu a menor redução (14%) foi o BR 205 x AG 122 e o AG 122 foi o que sofreu a maior (69%). No ambiente 4, todos os cultivares sofreram redução acima de 60%, sendo que AL 25 x AG 122 (65%), Z8 447 x AG 122 (66%) e BR 201 (68%), foram os que sofreram as menores reduções.

No ambiente 4, para todas as características, foram observadas as menores médias e os maiores coeficientes de variação experimental (CV%) . Para a característica produtividade de grãos, o CV foi de 11% (ambiente 1), 14% (ambiente 2), 20% (ambiente 3) e 27% (ambiente 4). Segundo classificação proposta por SCAPIM et al. (1995), os valores dos ambientes 1, 2 e 3 podem ser classificados como médios e do ambiente 4 como alto. No entanto, é esperado que em ambiente sob estresse ocorra elevação do coeficiente de variação, pois em ensaios conduzidos em condições de estresses a influência deste na média é maior em relação à variância residual. Enquanto o efeito de redução provocado pelo estresse na média, no ambiente 4 foi de 73% em relação ao ambiente 1, para a variância residual foi de 44,9%. Os resultados apresentados concordam com os expostos por FISHER et al. (1982), os quais selecionando famílias da população Tuxpeno-1, em ambientes

favoráveis e sob estresse hídrico, obtiveram no ambiente favorável média de 5.177 kg ha⁻¹ e CV de 14,6% e no ambiente sob estresse média de 1.324 kg ha⁻¹ e CV de 32,3%; esses valores representam redução de 75% na média do ambiente sob estresse e de 67% na variância residual.

Desta forma, os ambientes puderam ser classificados em relação a intensidade de estresse, da seguinte forma: Ambiente 1, ótimo ou com baixa ocorrência de estresses; Ambientes 2 e 3, faixa intermediária de estresse; e Ambiente 4, desfavorável ou sob alta intensidade de estresses.

A significância do efeito cultivares x ambientes para as características PG, AP e AE (Tabela 4) demonstra o comportamento diferenciado dos cultivares nos ambientes.

A interação combinações híbridas *versus* testemunhas x ambientes foi significativa para as características de AP e AE, mostrando diferença de comportamento entre combinações híbridas e testemunhas e a possibilidade de seleção para estas características.

Na Tabela 7 podem ser observadas as médias de altura de planta e espiga (cm) obtidas em cada ambiente. Observou-se, para todos os cultivares, a redução na altura de planta e espiga à medida que aumentou o grau de intensidade do estresse.

No ambiente 1, os cultivares não diferiram estatisticamente em relação à altura de planta, sendo que esta variou de 181 a 225 cm. No entanto, em relação à altura de espiga foi verificada diferença significativa entre os cultivares, com a combinação híbrida BR 106 x AL 25 alcançando a maior média (137 cm), diferenciando estatisticamente dos cultivares AL 25 x AG 122 e AG 122 x BR 205. Nos ambientes 3 e 4 não foram verificadas diferenças significativas entre os cultivares. No ambiente 4, todos os cultivares obtiveram as menores médias de altura de planta e espiga.

Os efeitos de combinações híbridas x ambientes e testemunhas x ambientes foram significativos para a característica PG, mostrando que tanto combinações híbridas quanto testemunhas foram influenciados significativamente pelas alterações ambientais. Isso evidencia que é possível a seleção específica visando otimizar o potencial produtivo.

Tabela 7 – Médias de altura de planta (AP, cm) e altura de espiga (AE, cm) obtidas pelos cultivares, combinações híbridas (CH) e testemunhas (Test.), em cada ambiente

Cultivares	Ambiente 1		Ambiente 3		Ambiente 4	
	AP ^{1/}	AE	AP ^{1/}	AE ^{1/}	AP ^{1/}	AE ^{1/}
Z8447 x BR 106	221	127 Ab	184	103	174	85
Z8447 x AL 25	224	121 Ab	214	118	170	83
Z8447 x AG 122	214	111 Ab	212	120	152	76
Z8447 x BR 205	199	106 Ab	193	114	136	62
BR 106 x AL 25	225	137 A	217	127	138	66
BR 106 x AG 122	212	121 Ab	178	102	140	62
BR 106 x BR 205	212	121 Ab	213	126	154	70
AL 25 x AG 122	181	96 b	218	123	124	66
AL 25 x BR 205	202	115 Ab	188	102	143	63
BR 205 x AG 122	188	100 b	192	106	144	69
P30F80 (Test.)	209	121 Ab	176	93	153	72
BR 201 (Test.)	209	110 Ab	155	79	142	67
AG 122 (Test.)	208	106 Ab	158	73	157	68
Média Geral	208	115	192	107	148	70
Média das CH	208	116	201	114	148	70
Média das Test.	209	112	163	82	151	69
CV(%)	6	7,5	10	13	10	18

Médias seguidas pela mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey, a de 5% de probabilidade; ^{1/} não diferem, estatisticamente, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Entre as combinações híbridas avaliadas observou-se que BR 106 X BR 205, AL 25 x AG122 e BR 205 x AG 122 apresentaram médias de produtividade de grãos alta e estatisticamente semelhantes nos ambientes 1, 2 e 3 (Tabela 5). A testemunha BR 201 também apresentou produtividade estatisticamente semelhante nestes três ambientes, porém obteve médias inferiores às obtidas pelas combinações híbridas, com exceção da média alcançada no ambiente 2 que superou a combinação híbrida AL 25 x AG 122. Para o ambiente 1, classificado como ótimo, não foi verificada diferença significativa entre os cultivares pelo teste de F, a 5%. No entanto, a testemunha P30F80 foi o cultivar que alcançou a maior média de produtividade de grãos (9.612 kg ha⁻¹), mas as testemunhas BR 201 e AG 122 foram superadas por nove combinações híbridas, evidenciando a importância da avaliação e introdução contínua de novos cultivares.

No ambiente 2, classificado como faixa intermediária de estresse, também não foram verificadas diferenças significativas entre os cultivares pelo

teste F. Porém, as combinações híbridas Z8 447 x AL 25, BR 106 x AL 25, BR 106 x AG 122 e BR 205 x AG 122 superaram o AG 122, a testemunha de melhor desempenho, em aproximadamente 2%, valor percentual médio do progresso genético da cultura do milho no Brasil, de acordo com resultados apresentados por VENCOVSKY et al. (1986) e ALLIPRANDINI et al. (1998).

Já no ambiente 3, também classificado em uma faixa intermediária de estresse, foram verificadas diferenças significativas entre os cultivares pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A combinação híbrida BR 205 x AG 122 alcançou a maior média de produtividade de grãos, 7.735 kg ha⁻¹. Apesar de não diferir estatisticamente da testemunha de melhor desempenho, o P30F80, a combinação híbrida BR 205 x AG 122 a superou em 1.104 kg ha⁻¹, valor que na prática deve ser considerado, principalmente para a agricultura em áreas marginais ou sob estresse onde a média de produtividade de grãos é baixa.

No ambiente 4, sob intenso estresse, não foi observada diferença significativa entre os cultivares pelo teste F, a 5%. No entanto, as combinações híbridas Z8 447 x AG 122 (3.087 kg ha⁻¹) e AL 25 x AG 122 (3.118 kg ha⁻¹) foram os cultivares que alcançaram as maiores médias de produtividade de grãos, superando a testemunha de maior produtividade de grãos em 6%, valor superior à média do progresso genético da cultura do milho no Brasil.

Os resultados apresentados evidenciam o potencial das combinações híbridas, já que em todos os ambientes algumas destas superaram pelo menos duas testemunhas. Também confirmam o exposto por CECARELLI (1996), mostrando que cultivares desenvolvidos em ambientes ótimos não se mostram adequados para serem utilizados em condições de estresses, evidenciando que para otimizar o potencial produtivo da cultura do milho é necessário que os programas de melhoramento capitalizem o efeito da interação genótipos x ambientes, desenvolvendo cultivares adaptados para condições específicas.

4.2. Análise dialélica

4.2.1. Análise dialélica individual

Nos ambientes 1 e 4 nenhum dos efeitos foi significativo, mostrando que os efeitos gênicos aditivos e não-aditivos têm efeitos semelhantes (Tabela 8).

Tabela 8 – Resumo da análise dialélica para produtividade de grãos em cada ambiente, com desdobramento do efeito de combinações híbridas em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrados médios			
		Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4
Combinações híbridas	9	1030925 ^{ns}	1901163+	2883070+	481751 ^{ns}
CGC	4	1067545 ^{ns}	560784 ^{ns}	1770434 ^{ns}	566175 ^{ns}
CEC	5	1001629 ^{ns}	2973466*	3773179+	414212 ^{ns}
Resíduo	12	792276	855229	1225718	436662

+,* significativo, a 10 e 5% de probabilidade, pelo teste F; ^{ns} não-significativo.

Para os ambientes 2 e 3, foram verificadas significâncias para os efeitos de combinações híbridas (C.H.) e CEC, mostrando que os efeitos gênicos não-aditivos são os mais importantes e que é possível selecionar genitores com potencial para o melhoramento. Estes resultados evidenciam que o controle gênico para produtividade de grãos é distinto entre ambientes, definindo a estratégia de desenvolvimento de cultivares e os métodos de melhoramento como relatado por ATLIN & FREY (1989).

4.2.2. Análise dialélica conjunta

A interação C.H. x ambientes apresentou significância, evidenciando a interação genótipos x ambientes e mostrando que as diferenças entre os ambientes influenciaram de forma significativa o desempenho dos genitores (Tabela 9).

A significância observada para a interação CEC x ambientes mostra que a atuação dos efeitos gênicos não-aditivos e a capacidade específica de combinação foram influenciadas de forma significativa pelas alterações ambientais. Desta forma, o desenvolvimento de híbridos e a aplicação dos métodos de melhoramento interpopulacionais apresentam maior importância. Os resultados encontrados concordam com os apresentados por CARDWELL (1982), o qual relata que grande contribuição no aumento de produtividade de milho em Minnesota foi devido à utilização do milho híbrido, deixando evidente que o híbrido pode ser produtivo tanto nas condições favoráveis como desfavoráveis.

Tabela 9 – Resumo da análise dialélica conjunta para produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), com a decomposição do efeito de combinações híbridas em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Combinações híbridas (C.H.)	9	1744725,4 ^{ns}
CGC	4	504832,0 ^{ns}
CEC	5	2736640,0 ^{ns}
Ambiente	3	128015691,4 ^{**}
C.H. x Ambiente	27	1517395,3 *
CGC x Ambiente	12	1153369,5 ^{ns}
CEC x Ambiente	15	1808616,0*
Resíduo	48	819923,6

*,** significativo, a 5 e 1% de probabilidade; ^{ns} não-significativo.

A partir das estimativas dos efeitos de capacidade específica de combinação e médias de produtividade de grãos, duas alternativas podem ser utilizadas para a seleção dos genitores. A primeira seria considerar as médias gerais das estimativas dos efeitos de CEC e da produtividade de grãos obtidas pelas combinações híbridas em todos os ambientes. A outra seria considerar as médias em cada ambiente.

Considerando as médias gerais de CEC e produtividade de grãos, as combinações híbridas mais indicadas são BR 106 x AL 25, com estimativa de CEC igual a 516 e produtividade de grãos de 6.174 kg ha⁻¹, e BR 205 x AG 122 com CEC de 740 e média de produtividade de 6.563 kg ha⁻¹ e, ainda, a combinação híbrida Z8447 x AL 25 com CEC de 419 e média de produtividade de grãos igual a 6.191 kg ha⁻¹ (Tabela 10).

Considerando as médias obtidas em cada ambiente, observa-se que no ambiente 1, as combinações híbridas Z8447 x AL 25, BR 106 x AL 25, BR 106 x AG 122 e BR 205 x AG 122 alcançaram as maiores estimativas de CEC e médias de produtividade de grãos superiores a 8.500 kg ha⁻¹. A combinação híbrida Z8447 x AL 25 com estimativa de CEC igual 1.342 e média de produtividade de grãos 7.671 kg ha⁻¹ e a BR 205 x AG 122 com produtividade de grãos igual a 7.537 kg ha⁻¹ e estimativa de CEC de 1.172, foram as mais promissoras para o ambiente 2. Para o ambiente 3, as combinações híbridas mais indicadas foram Z 8447 x AG 122, CEC igual a 576 e produtividade de grãos de 6.907 kg ha⁻¹, BR 106 x BR 205, com médias de produtividade de

grãos de 5.883 kg ha⁻¹ e CEC de 638 e BR 205 x AG 122 com CEC igual 1.114 e produtividade de grãos de 7.735 kg ha⁻¹. No ambiente 4, as combinações híbridas BR 106 x BR 205 e AL 25 x AG 122 com médias de CEC de 571 e 350 e produtividade de grãos 2.398 e 3.118 kg ha⁻¹, respectivamente, foram as mais promissoras (Tabela 10).

Os resultados apresentados mostram que ao considerar médias de CEC obtidas em cada ambiente, torna-se possível identificar combinações híbridas superiores específicas para diferentes intensidade de estresse, no entanto, ao considerar o desempenho médio entre os ambientes, combinações híbridas com potencial para ambientes específicos não são selecionadas.

As médias de CEC e de produtividade de grãos dos cultivares apresentaram correlações positivas significativas apenas entre os pares de ambientes 1 x 2 e 3 x 4 (Tabela 11). Para os pares de ambiente 1 x 3, 1 x 4, 2 x 3 e 2 x 4 a produtividade de grãos não apresentou correlações significativas.

Para os ambientes 1 x 4 e 2 x 4, a capacidade específica de combinação apresentou correlações negativas significativas. Nos pares de ambientes 1 x 3 e 2 x 3 a CEC não apresentou correlação significativa.

A ausência de correlações positivas entre vários pares de ambientes para a produtividade de grãos e, principalmente, as correlações negativas significativas observadas para a capacidade específica de combinação, evidenciam a importância da caracterização dos ambientes, discriminando os ambientes favoráveis dos não-favoráveis, já que não considerando as diferenças entre os ambientes, os resultados obtidos na fase final do melhoramento, na ocasião da avaliação dos novos cultivares, poderão ser totalmente distinto do que se esperava, devido a influência das alterações ambientais no desempenho produtivo e, principalmente, na capacidade de combinação dos genitores, limitando o progresso genético da cultura. Os resultados obtidos evidenciam que a seleção deve ser feita em ambientes específicos.

Estes resultados concordam com os apresentados por RESENDE et al. (1997), que afirmaram que a seleção direta no próprio ambiente conduz a melhores resultados no mesmo. Portanto, visando aumentar a eficiência do melhoramento para condições de estresses, a seleção dos genitores deve ser feita com base no desempenho no ambiente específico.

Tabela 10 – Efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) e produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹)

Combinações híbridas	Ambiente 1		Ambiente 2		Ambiente 3		Ambiente 4		Média	
	CEC	PG	CEC	PG	CEC	PG	CEC	PG	CEC	PG
Z8447 x BR 106	-360	9.019	-774	5.907	194	5.150	158	2.617	-195	5.673
Z8447 x AL 25	455	8.935	1.342	7.671	-258	5.376	140	2.782	419	6.191
Z8447 x AG 122	-98	8.541	-196	6.136	576	6.907	81	3.087	90	6.168
Z8447 x BR 205	4	8.512	-371	5.599	-511	5.674	-379	1.868	-314	5.413
BR 106 x AL25	499	9.144	605	7.677	1.179	5.873	-217	2.004	516	6.174
BR 106 x AG122	477	9.281	588	7.663	-2.012	3.377	-512	2.073	-364	5.598
BR 106 x BR 205	-616	8.056	-418	6.295	638	5.883	571	2.398	43	5.658
AL 25 x AG 122	-973	6.931	-1.564	5.157	321	6.389	350	3.118	-466	5.399
AL 25 x BR 205	18	7.790	-382	5.979	-1.242	4.681	-273	1.737	-469	5.047
BR 205 x AG 122	594	8.527	1.172	7.537	1.114	7.735	81	2.455	740	6.563
P30F80		9.612		6.867		6.630		2.610		6.432
BR 201		6.268		6.297		4.911		2.907		5.096
AG 122		7.693		7.502		2.840		2.102		5.034
Média		8.331		6.637		5.495		2.443		5.727

Tabela 11 – Correlação entre produtividade de grãos (PG) e capacidade específica de combinação (CEC) em ambientes de intensidades contrastantes de estresses

Pares de ambientes	PG	CEC
1 x 2	0,46*	0,92**
1 x 3	0,14 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
1 x 4	-0,27 ^{ns}	-0,62**
2 x 3	-0,23 ^{ns}	0,01 ^{ns}
2 x 4	-0,25 ^{ns}	-0,30*
3 x 4	0,44*	0,61**

** e * significativamente diferente de zero, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} não-significativo pelo teste t.

Os resultados de capacidade de combinação e produtividade de grãos mostram que os cultivares comerciais utilizados no dialelo, apesar de serem considerados de ampla adaptação, não apresentam potencial para serem fonte de germoplasma em condições de intenso estresse. No entanto, para ambientes ótimos e de estresse intermediário, os cultivares apresentaram potencial para melhoramento.

A alternativa para o melhoramento do milho para condições de intenso estresse é a utilização da seleção recorrente com base nos resultados obtidos no ambiente específico, uma vez que o aumento da frequência dos alelos favoráveis nas populações conduz também ao melhoramento de híbridos.

4.3. Análise de adaptabilidade e estabilidade

A partir das estimativas dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade, segundo a metodologia de EBERHART & RUSSELL (1966), pode-se classificar os cultivares. A combinação híbrida BR 106 x AG 122 foi a única classificada como de adaptabilidade específica a ambiente favorável, no entanto, apresentou previsibilidade baixa (Tabela 12). Este comportamento também pôde ser verificado com base na influência do estresse, já que este cultivar ficou entre os que sofreram maior redução no potencial produtivo em ambiente de intenso estresse (Tabela 6). Os cultivares AL 25 x AG 122 e BR 201 foram classificados como de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, previsibilidade alta e menor influência do estresse. Este

comportamento do BR 201 está de acordo com os critérios utilizados na sua obtenção.

Os cultivares BR 205 x AG 122 e AG 122 foram classificados como de baixa previsibilidade e adaptabilidade ampla. Os demais cultivares foram classificados como de alta previsibilidade e adaptabilidade ampla (Tabela 12).

Tabela 12 – Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade estimados segundo a metodologia de EBERHART & RUSSELL (1966), para 13 cultivares, avaliados em ambientes com intensidade contrastante de estresse

Cultivares	Média	$\hat{\beta}_{1j}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$
Z8447 x BR 106	5.673	1,0344 ^{ns}	150247,06 ^{ns}
Z8447 x AL 25	6.191	1,0772 ^{ns}	-115755,79 ^{ns}
Z8447 x AG 122	6.168	0,8725 ^{ns}	403485,08 ^{ns}
Z8447 x BR 205	5.413	1,0743 ^{ns}	79353,67 ^{ns}
BR 106 x AL 25	6.174	1,2392 ^{ns}	-301567,97 ^{ns}
BR 106 x AG 122	5.598	1,2773 ⁺	2133736,44 [#]
BR 106 x BR 205	5.658	0,9471 ^{ns}	-271832,75 ^{ns}
AL 25 x AG 122	5.399	0,5977 ^{**}	588086,35 ^{ns}
AL 25 x BR 205	5.047	1,0268 ^{ns}	-397610,21 ^{ns}
BR 205 x AG 122	6.563	1,0416 ^{ns}	1107064,41 ^s
P30F80	6.432	1,1480 ^{ns}	-96070,92 ^{ns}
BR 201	5.096	0,6166 [*]	-96579,71 ^{ns}
AG 122	5.034	1,0465 ^{ns}	2770312,87 [#]

^{**}, ^{*} e ⁺ significativamente diferente de um, pelo teste t, a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

[#] e ^s significativamente diferente de zero, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

O híbrido simples P30F80 foi classificado como sendo de adaptabilidade ampla e previsibilidade alta, não concordando com os resultados apresentados por SPRAGUE & FEDERER (1951), que classificaram os cultivares com base genética estreita como menos estáveis.

EBERHART & RUSSELL (1966) consideram como cultivar ideal aquele que apresenta alta produtividade, adaptabilidade ampla e previsibilidade alta. Cultivares de adaptabilidade ampla têm sido comumente os mais indicados, já que podem ser indicados para uma maior área de abrangência. Entre os cultivares classificados como de adaptação ampla, apenas a combinação híbrida Z8447 x AG 122 apresentou desempenho satisfatório em todos ambientes, com resposta significativa à melhoria do ambiente. No entanto,

apenas no ambiente 2 foi o cultivar mais produtivo. Porém, todos os cultivares classificados como de adaptação ampla não poderiam ser indicados para condições de estresse intenso, já que todos sofreram mais de 60% de redução no potencial produtivo em ambiente sob intenso estresse.

Portanto, os resultados obtidos evidenciam que para otimizar o potencial produtivo deve-se considerar a adaptabilidade específica aos diferentes tipos de ambientes.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a capacidade de combinação de cultivares comerciais de milho em condições ambientais contrastantes e os objetivos específicos foram avaliar o potencial de cultivares comerciais de milho como genitores para condições de estresses; caracterizar o ambiente de pesquisa; estudar o controle gênico da produtividade de grãos em ambientes favoráveis e sob estresse; definir qual a melhor estratégia de desenvolvimento de cultivares para condições de estresses;. Os ensaios foram conduzidos nas Estações Experimentais de Coimbra e Aeroporto, nos anos agrícolas 1999/00 e 2000/01. Os ensaios conduzidos na Estação Experimental do Aeroporto foram instalados no mês de dezembro com o intuito de submeter a cultura a estresse climático. Os ensaios instalados na Estação Experimental de Coimbra foram plantados no mês de outubro ou novembro e foi utilizada irrigação nos estádios fenológicos de maior exigência. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com duas repetições. Foram realizadas as análises de variância individual e conjunta. Utilizou-se o método 4 de GRIFFING, utilizando apenas as combinações híbridas, para estimar os efeitos de capacidade geral e específica de combinação, sendo que foram feitas análises dialélicas individuais e conjunta. Foram estimadas as correlações para produtividade de grãos e capacidade específica de combinação obtidas entre os pares de ambientes.

A significância do efeito ambiente caracterizou que os ambientes foram contrastantes. Com base nas médias de produtividade de grãos, os ambientes foram classificados em relação à intensidade de estresse em favorável (ambiente 1, com produtividade de 8.331 kg ha⁻¹); intermediários (ambientes 2 e 3, com 6.637 e 5.495 kg ha⁻¹, respectivamente); e sob intenso estresse (ambiente 4, 2443 kg ha⁻¹).

Os efeitos de combinações híbridas x ambientes e testemunhas x ambientes foram significativos para produtividade de grão, evidenciando a ocorrência de interação genótipos x ambientes. Apenas no ambiente 1 as combinações híbridas foram superados por uma testemunha, P30F80 (9.612 kg ha⁻¹), porém nos ambientes 2, 3 e 4 algumas combinações híbridas superaram todas as testemunhas, demonstrando o potencial destas para diferentes condições ambientais. A indicação de cultivares com base no comportamento médio não otimiza o potencial produtivo, uma vez que o desempenho produtivo é altamente influenciado pelo ambiente. Portanto, a indicação de cultivares deve ser feita com base no desempenho no ambientes que mais se aproxima para a região para qual será feita a indicação.

Os resultados da análise dialélica em cada ambiente mostraram que nos ambientes 1 e 4 não foram observadas significância para algum dos efeitos. Para os ambientes 2 e 3, foram verificadas significâncias para os efeitos de combinações híbridas e capacidade específica de combinação (CEC), mostrando que para estes ambientes os efeitos gênicos não-aditivos são os mais importantes. Estes resultados evidenciam que o controle gênico para produtividade de grãos é distinto entre ambientes. Portanto, a estratégia de desenvolvimento de cultivares e os métodos de melhoramento também o são.

A interação CEC x ambientes significativa evidencia que a atuação dos efeitos gênicos não-aditivos e a capacidade específica de combinação são influenciados pelas alterações ambientais. A CEC e PG apresentaram correlações positivas significativas apenas entre os pares de ambientes 1 x 2 e 3 x 4. Para os ambientes 1 x 4 e 2 x 4, a CEC apresentou correlações negativas significativas, evidenciando que a seleção deve ser feita em ambientes específicos.

A combinação híbrida BR106xAG122 foi a única classificada como de adaptabilidade específica a ambiente favorável, no entanto, apresentou previsibilidade baixa. Os cultivares AL 25 x AG 122 e BR 201 foram classificados com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, previsibilidade alta e menor influência do estresse. Os cultivares BR 205 x AG 122 e AG 122 foram classificados como de baixa previsibilidade e adaptabilidade ampla. Os demais cultivares foram classificados como de alta previsibilidade e adaptabilidade ampla

Assim, concluiu-se que:

- os cultivares comerciais avaliados no dialelo não apresentaram potencial para o melhoramento para ambientes de intenso estresse.
- Os efeitos gênicos não-aditivos são os mais importantes para ambientes intermediários de estresse, sendo a obtenção de híbridos a estratégia mais indicada para o desenvolvimento de novos cultivares.
- Em ambientes com intensidades similares de estresses, cultivares apresentam desempenho fenotípico e genotípico correlacionados.
- O controle gênico para produtividade de grãos é diferente para ambientes contrastantes.
- O melhoramento de plantas para estresse abiótico deve ser feito em ambiente específico e não pelo comportamento médio dos cultivares em ambientes favoráveis e desfavoráveis.
- Os cultivares comerciais desenvolvidos e avaliados em múltiplos ambientes não se mostram adequados como fontes de germoplasma genitores para ambientes de intenso estresse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2002. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo-SP: FNP Consultoria & Comércio. 2002. 535p.

ALLARD, R. W. **Princípios de melhoramento genético de plantas**. Rio de Janeiro: USAID – Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional. 1971. 381p.

ALLIPRANDINI, L. F.; DUARTE, A. P.; KANTHACK, R. A. D., Genetic gain in commercial maize in summer and autumn-winter crops in the Paranapanema River Valley, Brazil, 1992 to 1997. **Maydica**, Bergamo, v.43, p.55-64, 1998.

ARBOLEDA-RIVERA, F.; COMPTON, W. A. Differential response of maize (*Zea mays* L.) to mass selection in diverse selection in environments. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.44, p.77-81, 1974.

ATLIN, N. G. & FREY, K. J. Breeding crops varieties for low-input agriculture. **American Journal of Alternative agriculture**. v.4, n.2, p.53-28, 1989.

BÄNZIGER, M.; MUGO, S.; EDMEDS, G.O. Breeding for drought tolerance in tropical maize-conventional approaches and challenges to molecular approaches. In: WORKSHOP ON MOLECULAR APPROACHES FOR THE GENETICS IMPROVEMENT OF CEREALS FOR STABLE PRODUCTION IN WATER-LIMITED ENVIRONMENTS. Athenas, Greece, 1999.

CARDWELL, V. B. Fifty years of Minnesota corn production: Sources of yield Increase. **Agronomy Journal**, v.74., November-December, p.984-990, 1982.

CASTLEBERRY, R, M.; CRUM, C. W.; KRULL, C. F. Genetic yield improvement of U.S. maize cultivars under varying fertility and climatic environments. **Crop Science**, Madison, v.24, n.1, 1984.

CASTRO, P.R.C. & KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**: trigo, milho, soja, arroz, mandioca. São Paulo: Nobel, 1999. 126p.

CECCARELLI, S. Adaptation to low/high input cultivation. **Euphytica**, v.92, p.203-214, 1996.

CECCARELLI, S.; GRANDO, S. Efficiency of empirical selection under stress conditions in barley. **Journal of Genetics & Breeding**, Roma, v.43, p.25-31, 1989.

COMSTOCK, R. E. & MOLL, R. H. Genotype x environment interactions. In: HANSON, W. D. & RODINSON, H. F. (Ed.). **Statistics and plant breeding**. Washington: National Academy of Sciences, p.165-196, 1963.

CRUZ, C. D. **Programa GENES**: aplicativo computacional em genética e estatística versão Windows. Viçosa - MG. UFV, 2001. 442 p.

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

CRUZ, J. C.; CORRÊA, L. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; PEREIRA, F. T. F.; VERSIANI, R. P.; GUISCHEM, J. M. O milho que se planta. **Cultivar**, Grandes Culturas, Pelotas-RS, n.42, ano IV, p.30-39, 2002.

DUVICK, D. N. What is yield? p.332-335. In: G. O. EDMEDS et al. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**. In: PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM, El Batán, Mexico: CIMMYT, 25-29 March, 1996. 566p.

EBERHART, S. A., RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Sci.**, Madison, v.6, p36-40, 1966.

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

FISCHER, K. S.; JOHNSON, E. C.; EDMEDS, G. O. **Breeding and selection for drought resistance in tropical maize**. CIMMYT. 1-16. 1982.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba, 2000, 477 p.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v.9, p.463-493, 1956.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos-SP, 2000. 531p.

MACHADO, A. T. **Perspectiva do melhoramento genético em milho (*Zea mays* L.) visando eficiência na utilização do nitrogênio**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. 219p. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

MELO, W. M. C.; VON PINHO, R. G.; FERREIRA, D. F. Capacidade combinatória e divergência genética em híbridos comerciais de milho. **Ciência & Agrotecnologia**, v.25, n.4, p.821-830, 2001.

RAMALHO, M. A. P., O impacto da tecnologia transgênica em países em desenvolvimento. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA DEL MAÍZ, 18. 1999, Sete Lagoas. **Memórias...**, Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS/CIMMYT, 1999. 684p.

REEVES, T. G. Foreword: Food security and stress tolerant maize p.VII-III. In: G. O. EDMENDS et al. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**. In: PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM, El Batán, Mexico: CIMMYT, 25-29 March, 1996. 566p.

RESENDE, M. D. V.; SOUZA JÚNIOR, C. L.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVA, R. Análise quantitativa da seleção envolvendo progênies de milho (*Zea mays* L.) em solos sob cerrado e fértil. I. Progressos genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.32, n.5, p.495-507, 1997.

RIBEIRO, P. H. E.; RAMALHO, M. A. P. R.; FERREIRA, D.F., Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho em diferentes condições ambientais do estado de Minas Gerais. In: REUNIÓN LATINOAMERICANA DEL MAÍZ, 18. 1999, Sete Lagoas. **Memórias...**, Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS/CIMMYT, 1999. 684p.

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**, v.30, p.683-86, 1995.

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

SPRAGUE, G.F.; FEDERER, W.T., A comparison of variance components in corn yield trials: II. Error, year x variety, location x variety, and variety components. **Agronomy Journal**, v.43, p.535-541, 1951.

VENCOVSKY, R.; MORAES, A. R.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16. Belo Horizonte, 1986. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1988. p. 300-307.