

**AVALIAÇÃO DE TOPCROSSES DE MILHO
EM DUAS DOSES DE NITROGÊNIO**

FERNANDO LISBOA GUEDES

2009

FERNANDO LISBOA GUEDES

**AVALIAÇÃO DE TOPCROSSES DE MILHO EM DUAS DOSES
DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas de Importância na Região, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. João Cândido de Souza

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Guedes, Fernando Lisboa.

Avaliação de *topcrosses* de milho em duas doses de nitrogênio
/ Fernando Lisboa Guedes. – Lavras : UFLA, 2009.
54 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.
Orientador: João Cândido de Souza.
Bibliografia.

1. Milho. 2. Topcross. 3. Dose de nitrogênio. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.1589

FERNANDO LISBOA GUEDES

**AVALIAÇÃO DE TOPCROSSES DE MILHO EM DUAS DOSES
DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Melhoramento Genético de Plantas de Importância na Região, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 31 de julho de 2009

Flávio Deussane Tardin

EMBRAPA

Lauro José Moreira Guimarães

EMBRAPA

Prof. João Cândido de Souza
UFLA

(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus.

A Papai Mauro Guedes e Mamãe Ana Angélica.

A Vovó Joana Mendes e Tia Mísia.

Aos meus irmãos, Felipe,

Marcelo e Márcio.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus. Sem Ele nada disso seria possível.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida.

Aos meus pais, Mauro Guedes e Ana Angélica Guedes, e meus irmãos, Felipe, Marcelo e Márcio, pelo apoio constante em todos os momentos de minha vida.

Ao professor João Cândido, pela orientação, pelos ensinamentos transmitidos e pela confiança em todos os momentos da pós-graduação. Sinto-me honrado de tê-lo como orientador.

Aos membros da banca, Lauro Guimarães e Flávio Tardin, pela disponibilidade e valiosas sugestões apresentadas para a melhoria do presente trabalho.

Aos professores da Unimontes, Guilherme Nippes e Dário e aos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, Schaffert, Flávio e Jurandir, pelo incentivo e conselhos durante o período pré-mestrado.

Aos professores da área de genética e melhoramento de plantas, em especial aos professores César, João Bosco, Magno, Elaine, Flávia Avelar, Maluf, Renzo, Samuel, Antônio Carlos, Lisete e Geovana, pelos ensinamentos transmitidos e agradável convivência.

À grande equipe do milho, Zé Luis, Carioca, Emiliano, Guilherme, Pedro, Fernandão, Constantino, Ulisses, Hugo, Matheus, Balbi, Vavá, Geovana, Marquito, Lívia, Carlos Henrique e Ricardo, pela colaboração nos trabalhos e amigável convivência no campo.

A todos colegas do GEN, pela amizade e convivência,

Às amigas Cristiane, Flávia Carneiro e Flávia Mendes, pela amizade, convivência e ensinamentos.

A Fernandão, José Luis, Isabela Furtini e Márcio Balestre, pelos auxílios nas análises estatísticas e na redação da dissertação.

Aos funcionários de campo Leonardo e Lindolfo, pelo auxílio na condução dos experimentos e pelo companheirismo.

Aos funcionários do DBI, Tia Ironдина, Dui, Lamartine, Zélia, Rafaela, Elaine e Heloísa, pela convivência amigável.

Aos companheiros de república ‘Cunhão de Touro’, Marcus, Ranoel, Fabrício, Leandro (Baiano), Diogo, Zé Wilson, Alisson Janú e Cotonete, pela amizade e pelos momentos de distração.

À Capes, pelo auxílio financeiro e pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, estiveram envolvidos na realização deste trabalho, meu MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Nitrogênio na cultura do milho.....	4
2.2 Seleção de plantas visando melhoria na eficiência do uso de nutrientes.....	6
2.3 Topcrosses e capacidade de combinação.....	10
2.4 Relação entre testadores e topcrosses.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Local.....	20
3.2 Material experimental.....	20
3.3 Condução e avaliação dos experimentos.....	20
3.4 Análises estatísticas.....	23
3.4.1 Análises de variâncias dos topcrosses.....	23
3.4.2 Análise dialélica.....	24
3.4.3 Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.....	25
3.4.4 Correlações entre topcross.....	27
4 RESULTADOS.....	28
5 DISCUSSÃO.....	37
6 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	52

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 Análises químicas dos solos amostrados à profundidade de 0 a 20 cm, nas áreas experimentais	21
TABELA 2 Quadrados médios e significâncias, coeficientes de variação (CV%), médias gerais e eficiência relativa do látex (ER) da análise de variância conjunta para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF)	30
TABELA 3 Estimativas dos componentes de variância da análise conjunta para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF)	31
TABELA 4 Quadrados médios, significâncias, porcentagens relativas das capacidades gerais (CGC%) e específicas (CEC%) de combinação em relação à soma de quadrados da análise dialélica para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF)	32
TABELA 5 Estimativas de capacidade geral de combinação (gi) dos genitores do grupo I (CGC Test.) e das 10 melhores progênies do grupo II (CGC Prog.) para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF), médias dos dois ambientes.....	34
TABELA 6 Porcentagem de coincidência com diferentes intensidades de seleção (I) e correlação de Spearman dos topcrosses selecionados entre os dois testadores, para o caráter produtividade, em duas doses de nitrogênio	36

LISTA DE FIGURAS

Página

- FIGURA 1 Comportamento quanto à eficiência de uso de N e resposta à adubação nitrogenada dos 67 topcrosses com o testador 1, em relação à produtividade média de grãos (kg ha^{-1}), na média dos ambientes..... 35
- FIGURA 2 Comportamento da eficiência de uso de N e resposta à adubação nitrogenada, na média dos ambientes dos 67 topcrosses com o testador 2, em relação à produtividade média de grãos (kg ha^{-1}), na média dos ambientes 35

RESUMO

GUEDES, Fernando Lisboa. **Avaliação de topcrosses de milho em duas doses de nitrogênio**. 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento de progênies $S_{0:1}$, em combinação com dois testadores contrastantes, cultivadas em duas doses de nitrogênio. Foram utilizadas 67 progênies $S_{0:1}$, oriundas de híbridos comerciais, em *topcross* com dois testadores (T_1 - híbrido simples comercial com bom potencial produtivo; T_2 - uma mistura equitativa das progênies $S_{0:1}$), na safra 2007/2008. Foram obtidos 134 progênies híbridas, que foram avaliadas, juntamente com 10 testemunhas, em dois experimentos (um em ambiente com média disponibilidade de nitrogênio e outro em ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio), no delineamento experimental látice triplo 12 x 12, em Lavras - MG. Os resultados obtidos permitiram verificar que a produtividade média de grãos do ambiente com Médio N foi 9,2% superior ao Baixo N. Não ocorreu alteração no comportamento dos *topcrosses* em diferentes doses de nitrogênio, para produtividade de grãos. Os testadores não se diferenciaram, na produtividade média de grãos dos *topcrosses* na média dos dois ambientes. É possível selecionar progênies responsivas e eficientes a adubação nitrogenada, provenientes de híbridos comerciais. A intensidade de seleção para *topcrosses* de progênies $S_{0:1}$ deve ser branda.

*Orientador: João Cândido de Souza – UFLA

ABSTRACT

GUEDES, Fernando Lisboa. **Evaluation of Maize topcrosses under two nitrogen dosages.** 2009. 54 p. Dissertation (Masters in Genetics and Plant Breeding) – Lavras Federal University, Lavras.*

The aim of this study was to evaluate the performance of $S_{0:1}$ progenies, in crosses with two contrasting testers, under two nitrogen dosages. Sixty seven $S_{0:1}$ progenies from populations of single cross hybrids were used in crosses with two tester (T_1 – single cross hybrid with good yield; T_2 - equal mixture of the $S_{0:1}$ progenies), in the 2007/2008 season. One hundred thirty four hybrid progenies were obtained. This hybrids progenies plus ten checks were evaluated in two trials (one environment with average availability of nitrogen and other with low availability of nitrogen) in 12 x 12 lattice design with three replications. The results showed that gain yield in the environment with average dosage of N was 9.2% higher than low N environment. There was no changes in the testcross yield performance under different nitrogen dosages. Tester did not differ in grain yield from the topcrosses in the two environments. It is possible to select progenies from commercial single cross hybrids, responsive and efficient to nitrogen application. The selection intensity of topcrosses from $S_{0:1}$ progenies should be low.

* Major professor: João Cândido de Souza – UFLA

1 INTRODUÇÃO

Em muitas regiões, tem sido frequente a expansão da agricultura para solos de fertilidade marginal, nos quais o retorno econômico é insuficiente para justificar o emprego de pesadas doses de fertilizantes. Além do mais, o custo dos fertilizantes, principalmente os nitrogenados, é crescente (Skalsky et al., 2008).

No Brasil, o cultivo do milho é submetido a vários sistemas de produção. Há um grande número de agricultores que praticamente não utilizam as tecnologias disponíveis. No outro extremo, grandes empresas rurais realizam o cultivo irrigado e empregam o que há de mais moderno em técnicas de produção. As diferenças básicas entre eles são o emprego ou não de fertilizantes e a utilização de sementes híbridas.

Embora o uso de fertilizantes nitrogenados esteja aumentando em algumas regiões do Brasil, o nitrogênio, provavelmente, continuará sendo um dos principais fatores limitantes à produção de milho. Isso porque o preço dos fertilizantes nitrogenados vem aumentando a cada ano, uma vez que a produção industrial de adubos nitrogenados requer alta demanda energética, com a utilização de grandes quantidades de combustíveis fósseis que, aliada à baixa taxa de recuperação pelas culturas, implica em médio custo da adubação nitrogenada, limitando o seu uso (Gerner & Harris, 1993; Agriannual, 2005; Dangl, 2000).

Mesmo que as dificuldades econômicas para a adoção de maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados sejam superadas e a deficiência nutricional deixe de ser um fator limitante da produção, ainda assim podem ocorrer outros problemas decorrentes do uso de fertilizantes, principalmente nas áreas da saúde e do meio ambiente, devido ao grande potencial poluidor do nitrogênio. Nesse contexto, cultivares mais eficientes em absorver e utilizar os nutrientes têm sido procuradas intensamente.

Ribeiro et al. (1999) citam que 89% das propriedades brasileiras que cultivam milho não fazem uso de quantidades adequadas de insumos e representam grande diversidade de condições ambientais. Por outro lado, Duvick (1992) verificou, por meio da regressão de híbridos de milho para a produtividade de grãos durante o período de 1930 a 1980, que as cultivares modernas foram superiores às antigas, tanto em ambientes com altos insumos quanto em baixos. No entanto, alguns resultados contrastantes foram encontrados na literatura. O'Neill et al. (2004) avaliaram híbridos de milho de diferentes épocas em ambientes com e sem estresses de nitrogênio e observaram que houve tendência de progresso genético entre os híbridos das diferentes épocas para a produtividade de grãos. Mas, nos ambientes com estresses, não foi possível visualizar o progresso devido ao melhoramento genético e ainda verificou-se que os híbridos das épocas mais recentes sofreram maiores efeito do estresse.

Os resultados mostraram, principalmente, que os híbridos das épocas mais recentes tenderam a ser mais produtivos apenas em ambientes sem estresses. Isso, possivelmente, se deve às condições ambientais favoráveis a que foram submetidos durante o processo de melhoramento, sendo expostos a altas doses de nitrogênio. Esse comportamento diferencial de genótipos, durante a mudança de níveis de nitrogênio disponível às plantas, indica diferentes mecanismos relacionados à eficiência no uso de nitrogênio.

Dessa forma, observa-se a necessidade de se desenvolver cultivares com maior eficiência no uso de nitrogênio, visando manter as médias de produtividades com menores doses aplicadas. Para o desenvolvimento de cultivares direcionadas a condições limitantes de N, é fundamental a obtenção de informações mais detalhadas sobre germoplasmas eficientes e ineficientes no uso de N. Por isso, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o

comportamento de progênies $S_{0:1}$, em combinação com dois testadores contrastantes, cultivadas em duas doses de nitrogênio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nitrogênio na cultura do milho

O nitrogênio é um dos nutrientes mais requeridos nos sistemas agrícolas e, para garantir seu suprimento, fertilizantes industrializados são utilizados de forma extensiva em todo o mundo, principalmente para culturas de cereais, visando aumentar a produtividade e/ou compensar as perdas em solos pobres, erodidos ou muito explorados.

Para a cultura do milho, a adubação nitrogenada é recomendada pela perspectiva de produtividade. É indicada a aplicação de um terço do N no plantio, visto que, na fase inicial, as plantas precisam de poucas quantidades deste nutriente e a aplicação do restante em cobertura. Entretanto, a eficiência da adubação nitrogenada é baixa, em torno de 50%, em função de vários processos de perda de N, como lixiviação de nitrato, volatilização da amônia, desnitrificação e competição com a microbiota do solo (Baligar & Bennett, 1986).

Para a produção de grãos em condições limitantes de disponibilidade de N, é fundamental a geração de informações mais detalhadas sobre a disponibilidade de germoplasma eficiente e ineficiente no uso de N. Segundo Manske (2001), a elucidação dos aspectos relacionados com as frequências de alelos favoráveis e complementação gênica e a investigação de fatores fisiológicos, bioquímicos e genético-moleculares, além de características de interações bactérias-planta, promovem melhor entendimento da herança da eficiência no uso de nitrogênio.

Cultivares eficientes no uso de nitrogênio requerem menores quantidades deste nutriente para produzir satisfatoriamente. Os genes que controlam a produtividade em condições de estresses abióticos são diferentes daqueles para condições ótimas (Atlin & Frey, 1989). Por isso, germoplasma selecionado em

condições otimizadas, como acontece nas empresas de melhoramento de plantas, nem sempre se mostra adequado para ser utilizado em condições de estresses abióticos.

Em trabalhos realizados por Gallais & Hirel (2004), avaliando a eficiência no uso de nitrogênio em ambientes com e sem estresse de nitrogênio, foi verificado que os alelos responsáveis pelo controle genético da eficiência no uso de nitrogênio foram expressos de acordo com o nível de suprimento de nutriente.

Monneveux et al. (2005) avaliaram, em ambientes com e sem estresse de nitrogênio, cultivares de milho de diferentes bases genéticas, 24 variedades de polinização aberta, 30 linhagens e 25 híbridos de milho. A média de redução na produtividade de grãos, em estresse de nitrogênio, foi de 65,3% para as variedades de polinização aberta e de 67,4% para os híbridos. Para as linhagens, a redução foi ainda mais severa. Esses resultados mostraram que, independente da base genética, as cultivares de milho foram sensíveis aos estresses de nitrogênio.

Guimarães (2006) avaliou progênies híbridas, oriundas de genótipos desenvolvidos sob estresse de nitrogênio, em dois níveis contrastantes de N e concluiu que, para cruzamentos entre linhagens de milho eficientes no uso de N, os efeitos genéticos aditivos e os não aditivos foram importantes para a produtividade, porém, de magnitudes diferentes em cada ambiente. Para ambientes com baixa disponibilidade de N, os efeitos genéticos aditivos e não aditivos apresentaram importâncias similares. Para os ambientes com alta disponibilidade de N, os efeitos genéticos aditivos apresentaram-se ligeiramente mais importantes que os não aditivos.

Dessa forma, é evidente que a seleção para eficiência de uso de N deve ser conduzida em ambientes com limitações de disponibilidade deste nutriente. Mas, se os genótipos forem testados, também em condições de médio N, pode-se

verificar o comportamento de resposta ao aumento da fertilidade, possibilitando melhor caracterização do germoplasma e identificação de fontes de alelos favoráveis para estresses e ambientes favoráveis, simultaneamente.

2.2 Seleção de plantas visando melhoria na eficiência do uso de nutrientes

A variação intraespecífica na resposta das plantas a determinado estresse nutricional geralmente está relacionada a diversos fatores morfológicos, anatômicos e fisiológicos, tais como alteração da relação raiz/parte aérea; aumento do tamanho, densidade, diâmetro e formação de pelos do sistema radicular; associação com microrganismos; modificações do microambiente na rizosfera; distribuição e remobilização do nutriente na parte aérea, compreendendo remobilização de partes maduras como folhas velhas para meristemas de crescimento vegetativo e reprodutivo e variação nos parâmetros cinéticos de absorção. E, ainda, a capacidade do genótipo em manter o metabolismo normal com concentrações reduzidas do nutriente no tecido (Marschner, 1995).

Para conduzir trabalhos visando à identificação de cultivares eficientes, um primeiro questionamento é como medir a eficiência. Diversos parâmetros morfológicos e fisiológicos têm sido adotados, para auxiliar no entendimento da eficiência no uso de nutrientes e também para serem utilizados como indicadores dessa eficiência e da produtividade de grãos.

Tem sido proposta a classificação das cultivares em quatro categorias, dependendo da produção em solos pobres e da capacidade em responder à adubação (Blair, 1993), da seguinte forma:

1- cultivares eficientes e não responsivas (ENR): são as que apresentam alta produção sob baixos teores do elemento, não respondendo ao aumento do fornecimento desse elemento;

2- cultivares eficientes e responsivas (ER): são as que apresentam alta produção sob baixos teores do elemento, mas respondem positivamente ao aumento do fornecimento do elemento;

3- cultivares ineficientes e responsivas (IR): são as que produzem pouco sob baixos teores do elemento, respondendo positivamente ao aumento no fornecimento do elemento;

4- cultivares ineficientes e não responsivas (INR): são aquelas que produzem pouco sob baixos teores do elemento, não respondendo ao aumento no fornecimento do elemento.

Na avaliação da eficiência nutricional são utilizados diversos índices (Malavolta & Amaral, 1978; Blair & Cordero, 1978; Siddiqi & Glass, 1981; Moll et al., 1982; Gerloff & Gabelman, 1983; Fageria & Baligar, 1993). Destacam-se, entre eles, para seleção e classificação de genótipos, os índices que permitem avaliar isoladamente os processos de absorção, distribuição e utilização do nutriente para a produção de matéria seca de grãos (Dechen et al., 1999). Alguns índices serão listados a seguir.

Eficiência agrônômica (EA): é a produção econômica (grãos, por exemplo) obtida por unidade de nutriente aplicado e expressa em kg kg^{-1} . A EA pode ser calculada pela seguinte equação: $EA = (Y_f - Y_0) / Q_f$, em que Y_f é a produção, em kg, com adubação; Y_0 é a produção, em kg, sem adubação; Q_f é a quantidade de nutriente aplicado, em kg.

Eficiência fisiológica (EF): é a produção biológica obtida (grãos mais palha, em culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado, expressa em kg kg^{-1} . Às vezes, esta eficiência é também chamada eficiência biológica e pode ser calculada pela seguinte equação: $EF = (Y_f - Y_0) / (N_{abf} - N_{abo})$, em que Y_f é a produção total de matéria seca, em kg, com adubação; Y_0 é a produção total de matéria seca, em kg, sem adubação; N_{abf} é a acumulação de nutriente com adubação, em kg; N_{abo} é a acumulação de nutriente sem adubação, em kg. A

acumulação de nutrientes é calculada pela multiplicação do peso da matéria seca da parte aérea e de grãos pelo teor do nutriente.

Eficiência na produção de grãos (IG): é a produção de grão obtida por unidade de nutriente acumulado, em kg kg^{-1} e pode ser calculada pela seguinte equação: $IG = (Y_f - Y_0) / (Q_{Nf} - Q_{No})$, em que Y_f é a produção de grãos, em kg, com adubação; Y_0 é a produção de grãos, em kg, sem adubação; Q_{Nf} é a acumulação de nutriente na parte aérea e grãos, em kg, com adubação e Q_{No} é a acumulação de nutriente na parte aérea e grãos, em kg, sem adubação.

Eficiência de recuperação (RAN): é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado; a eficiência de recuperação de nutriente pode ser calculada pela seguinte equação: $RAN = [(Q_{Nf} - N_0) / Q_f] \times 100$, em que Q_{Nf} é acumulação de nutriente, em kg, com adubação; N_0 é a acumulação de nutriente, em kg, sem adubação e Q_f é a quantidade do nutriente aplicado, em kg. A eficiência de recuperação de nutriente é, geralmente, expressa em porcentagem. Às vezes, a eficiência de recuperação é também chamada eficiência de aquisição de nutriente.

.Eficiência de utilização (EUN): a eficiência fisiológica e a eficiência de recuperação podem ser combinadas para se calcular a eficiência da utilização do nutriente, como expressa a seguinte equação: $EUN = EF \times RAN$, em que EF é o índice de eficiência biológica e RAN , o índice de eficiência de recuperação. A EUN é expressa em kg kg^{-1} .

Com relação à eficiência no uso de nitrogênio (EUN), a maioria dos trabalhos foi realizada com gramíneas, principalmente com a cultura do milho. Um trabalho clássico para a interpretação dos fatores que contribuem para a eficiência de utilização de nitrogênio pelo milho foi apresentado por Moll et al. (1982). Foram avaliados oito híbridos de milho, de acordo com a produtividade de grãos, acumulação de N nos grãos e restos culturais. Diferenças foram encontradas em todos os níveis de N e para todos os caracteres avaliados. Sob

baixa disponibilidade de N, a diferença entre híbridos na eficiência no uso de N ocorreu devido, principalmente, à variação na utilização do nutriente acumulado, bem como à proporção do N translocado para os grãos.

Ao estudar a eficiência no uso de nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho, Majerowicz et al. (2002) observaram que a massa seca das plantas deficientes em N apresentou elevada correlação positiva (0,86), com a massa seca acumulada nas raízes dos diferentes genótipos. Os autores relatam a importância do estudo das características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular na seleção de genótipos eficientes quanto ao uso do N.

Para pesquisar com mais detalhes o controle genético da produtividade do milho sob baixo nível de N, estudos de correlação entre os diferentes componentes da eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e produção têm sido efetuados. O objetivo é de identificar os componentes da EUN, as regiões cromossômicas e os genes candidatos que podem controlar a produção e seus componentes, direta ou indiretamente, quando a quantidade de fertilizantes nitrogenados fornecidos às plantas é variável (Hirel et al., 2007).

Um parâmetro adicional de importância para avaliação da EUN refere-se ao índice de colheita (IC), que corresponde à razão entre a produção de grãos e a biomassa total (Dawson et al., 2008). Quanto maior for o índice de colheita, significa que a planta converte, com maior eficiência, o rendimento biológico em rendimento de grãos. Por exemplo, o IC de 20%, comparado ao IC de 40%, para um mesmo rendimento biológico, indica que as plantas com IC de 40% são duas vezes mais eficientes na conversão de seu rendimento biológico em grãos.

Alguns índices propostos para estresse hídrico também podem ser adaptados para estresse de nitrogênio. Fischer & Maurer (1978) desenvolveram o índice de intensidade de seca (IIS), que considera a produtividade de todas as linhagens em condições de cultivo com (Y_c) e sem deficiência hídrica (Y_s), resultando na seguinte expressão: $IIS = 1 - (Y_c / Y_s)$. A partir do IIS é calculado

o índice de suscetibilidade à seca (ISS) para cada linhagem, pela seguinte expressão $ISS = (1 - (Y_{ic} / Y_{is})) / IIS$.

Os valores desejáveis de IIS para a seleção dos melhores genótipos dependerão da média de produtividade de grãos, das condições climáticas e da variabilidade genética do material avaliado. Contudo, segundo Singh (2007), ambientes com IIS abaixo de 0,5, portanto, com leve estresse, permitem apenas identificar cultivares com um intermediário nível de tolerância à seca, sendo ambientes com médio IIS requeridos para identificar cultivares com altos níveis de tolerância.

Uma forma de agrupar grande número de genótipos de acordo com sua eficiência e responsividade a um dado nutriente foi apresentada por Fageria & Barbosa Filho (1982). Estes autores utilizaram gráficos bidimensionais do tipo (x, y), em que, no eixo x, tem-se a produção sob baixo nível do nutriente e, no eixo y, tem-se a eficiência de utilização de nitrogênio $[(PGA - PGB) / P(A-B)]$, em que PGA e PGB correspondem à produção de grãos nos ambientes com alta e baixa dose do nutriente, respectivamente.

2.3 Topcrosses e capacidade de combinação

Os programas de melhoramento de milho geram milhares de linhagens por ano e, devido à depressão por endogamia, que torna este tipo de genótipo pouco competitivo e com baixo potencial *per se*, existem algumas dificuldades na avaliação e na caracterização fenotípica desses materiais para a eficiência no uso de N. Além disso, o efeito ambiental pode promover alterações na classificação dos genótipos pela interação G x A. Tudo isso pode levar a estimativas imprecisas de parâmetros genéticos importantes, como variabilidade genotípica e herdabilidades para caracteres importantes, além de altas estimativas para coeficientes de variação experimentais, ocasionando baixa eficiência na escolha de linhagens elite. Dessa forma, a avaliação de caracteres

agronômicos deve ser feita em híbridos sintetizados em dialelos ou topcrosses, que possibilitam a expressão de heterose e permitem avaliar o mérito das linhagens genitoras com menores influências de erros experimentais.

Os cruzamentos dialélicos podem ser empregados para avaliação da capacidade de combinação, mas sua praticidade é reduzida quando o número de linhagens é elevado. Não sendo possível realizar todas as combinações híbridas, os melhoristas avaliam a capacidade de combinação relativa das linhagens com um testador comum, isto é, realizar um topcross, que resulta do cruzamento entre uma linhagem endogâmica e um genótipo (testador) que pode ser de base genética ampla ou estreita. Esse tipo de híbrido não tem sido considerado de valor comercial, mas é amplamente utilizado nos programas de avaliação de linhagens para utilização em híbridos.

As análises dos topcrosses são semelhantes às análises de um dialelo parcial (Vencovsky & Barriga, 1992), o que torna possível a determinação da importância dos efeitos aditivos e não aditivos no controle das características em questão. Entre os métodos mais utilizados, citam-se os propostos por Griffing (1956), pelos quais são estimados os efeitos da capacidade geral e específica de combinação; o método proposto por Gardner & Eberhart (1966), no qual são avaliados os efeitos de variedades e heterose varietal e o proposto por Hayman (1954), que fornece informações sobre os mecanismos básicos de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos e do limite de seleção.

A origem dos procedimentos para análises dialélicas é atribuída a Schmidt, por volta dos anos de 1920 (Ghosh & Biswas, 2003). Porém, os primeiros a definirem os termos capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) foram Sprague & Tatum (1942). Segundo esses autores, a CGC é definida como sendo o desempenho médio de um genitor em combinações híbridas. Já a CEC é quanto o comportamento de

combinações híbridas mostra-se superior ou inferior ao que seria esperado, com base no comportamento médio dos genitores envolvidos.

A interpretação genética da capacidade de combinação auxilia a compreensão da complexidade do processo da escolha do testador adequado. Vencovsky (1987) relata que, considerando um loco com dois alelos, a capacidade geral de combinação (CGC) é obtida pela expressão $CGC = (p_i - \bar{p})[a + (1 - 2t)d]$, em que p_i é a frequência do alelo favorável para o referido loco na linhagem sob avaliação; \bar{p} é a frequência alélica média de todas as linhagens que estão sendo avaliadas; t é a frequência alélica do testador utilizado; a é o desvio dos locos em homozigose em relação à média, ou seja, os efeitos aditivos e d é o desvio do heterozigoto em relação à média, isto é, os efeitos de dominância.

Como se observa, a capacidade geral de combinação é função direta das diferenças de frequências alélicas, ou seja, $p_i - \bar{p}$. Dessa forma, valores superiores de capacidades de combinação são esperados para genótipos cujas frequências de alelos favoráveis são elevadas, ou seja, maiores valores de p_i , o que permite inferir sobre a estrutura genética dos genótipos em avaliação.

A capacidade geral de combinação é, também, dependente da frequência alélica do testador. No caso de ausência de dominância ($d = 0$), a expressão se resume a $CGC = (p_i - \bar{p}) a$, sendo assim possível identificar, dentre os materiais em avaliação, aqueles com maiores frequências de alelos favoráveis, independente da constituição genética do testador. Entretanto, na presença de dominância ($d \neq 0$), podem-se ter as seguintes situações: a) para $t = 1/2$, a segunda parte da expressão é zero e, novamente, apenas os efeitos aditivos dos genes passam a ser considerados, ou seja, $CGC = (p_i - \bar{p}) a$; b) para $t \neq 1/2$, a estimativa da capacidade de combinação é influenciada pelos efeitos de dominância, sendo que quando $t = 1$, $CGC = [(p_i - \bar{p}) (a - d)]$, isto é, função do

produto de uma diferença de frequências alélicas e da diferença entre os efeitos aditivos e de dominância. Na presença de dominância completa ($a = d$), a segunda parte da expressão é zerada, o que torna a capacidade de combinação nula. Esta é uma situação indesejável, sob o ponto de vista do melhoramento, pois a diferença entre os locos não contribuirá para discriminar as linhagens que estão sendo avaliadas. Na ocorrência de frequências alélicas do testador de $t = 0$ ou $t < 1/2$, o valor ' $(1 - 2t)d$ ' não será nulo e os efeitos de dominância passarão a auxiliar na discriminação dos genótipos quanto à capacidade geral de combinação. Fato semelhante também é verificado para $t \neq 1/2$ e $a > d$.

Para capacidade específica de combinação, a expressão é: $CEC = 2d(p_i - \bar{p})(\bar{t} - t_i)$, em que se verifica que a mesma é dependente dos efeitos de dominância e do produto das diferenças entre as frequências alélicas médias das linhagens que estão sendo avaliadas, relacionadas aos efeitos de dominância e epistáticos (Vencovsky, 1987; Bernardo, 1992a). Assim, baixas estimativas positivas ou negativas de CEC significam que o comportamento de determinado híbrido é função da capacidade geral de combinação (CGC) de seus parentais, enquanto valores absolutos altos de CEC indicam que algumas combinações são relativamente melhores e outras piores, com base na CGC dos parentais (Cruz et al., 2004).

Todavia, os efeitos da CEC são indicativos de interações não aditivas para o caráter resultante da complementação gênica entre os parentais, possibilitando antever respostas de ganho genético com a exploração da heterose (Bastos et al., 2003). A ausência de significância do componente quadrático da CEC implica que os parentais não apresentam entre si um apreciável grau de complementação gênica em relação às frequências dos alelos nos locos que apresentam dominância (Vencovsky & Barriga, 1992).

A combinação híbrida mais favorável deve ser, portanto, aquela que apresentar maior estimativa de capacidade específica de combinação (CEC) e

que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos parentais apresente elevada capacidade geral de combinação (Cruz et al., 2004).

Outra estimativa que também pode ser utilizada para compreender os mecanismos de discriminação das linhagens é a variância genética liberada nos cruzamentos topcrosses. Para um loco com dois alelos, a variância genética apresenta a seguinte expressão: $\sigma_t^2 = (1/2) pq (1+F)[a + (1 - 2t) d]^2$ (Hallauer & Miranda Filho, 1988), em que σ_t^2 é a variância genética entre os topcrosses; p e q são as frequências dos alelos favoráveis e desfavoráveis; F é o coeficiente de endogamia da população e a , t e d já foram definidos anteriormente.

Da mesma forma que ocorre com a capacidade geral de combinação, a variância genética é constante quando a frequência alélica do testador é 0,5 e, portanto, nessas condições, o testador não influencia a discriminação das linhagens. Para um testador com frequência alélica $t = 1$ e na ausência de dominância ($d = 0$), a variância genética entre topcrosses apresenta a mesma estimativa que um testador com frequência alélica 0,5, decrescendo, a partir deste ponto, até atingir a dominância completa ($d = 1$), em que a variância genética é nula. A partir daí, é crescente, atingindo $d = 2$, em que a variância genética novamente apresenta a mesma estimativa de um testador com frequência alélica 0,5. No caso de um testador com frequência alélica $t = 0$, a variância genética é crescente para qualquer nível de dominância, permitindo, assim, discriminar as linhagens que estão sendo avaliadas (Rawlings & Tompson, 1962), como já visto na expressão da capacidade de combinação.

Entretanto, essas considerações são baseadas em um loco com dois alelos. A variância genética entre topcrosses, considerando-se vários locos, foi apresentada por Smith (1986). Neste caso, a variância genética entre topcrosses é $\sigma_t^2 = (1/2)(1+F) \sum_{i,j} p_i p_j (\alpha_{it})^2$, em que p_i é a frequência do i -ésimo alelo na população; p_j é a frequência do j -ésimo alelo na população; α_{it} é o efeito médio

de uma substituição alélica no testador e F é o coeficiente de endogamia da população.

Bernardo (2002), considerando vários locos, relata que, a partir de cruzamentos de linhagens de um grupo heterótico com um testador de baixa performance do mesmo grupo heterótico e um testador elite de um grupo heterótico oposto, as variâncias genéticas liberadas nos topcrosses apresentaram valores similares. Entretanto, os topcrosses com o testador elite do grupo heterótico oposto obtiveram maior média. Isso ocorre, pois, somente o testador do grupo heterótico oposto possui alelos que não estão presentes no outro grupo heterótico, fazendo com que seja maximizada tanto a variância quanto a média.

Hallauer & Lopez-Perez (1979) realizaram cruzamentos topcrosses com um grupo de 50 linhagens S_1 e S_8 da população Iowa Stiff Stalk Synthetic (BSSS), cruzadas com cinco testadores: (a) população de origem (BSSS); (b) população BSSS submetida à seleção recorrente (BS13(S)C1); (c) linhagem de baixa performance oriunda da população BSSS (BSSS-222); (d) linhagem elite da população BSSS, oriunda de seleção recorrente (B73) e (e) linhagem elite de outro grupo heterótico (Mo17). As variâncias genéticas entre os topcrosses foram maiores entre as linhagens S_8 do que entre as linhagens S_1 e, dentro de cada geração de endogamia, não diferiram, pois as estimativas encontravam-se dentro dos erros associados a elas. Nos testadores oriundos da população BSSS, foi observada tendência de os testadores com menor concentração de alelos favoráveis (BSSS população de origem e linhagem BSSS-222) apresentarem maiores estimativas de variância genética, possibilitando melhor discriminação das linhagens testadas. Entretanto, esta situação não é prática em termos de melhoramento, pois, além das variâncias, apesar de maiores, não diferirem das demais, a média dos topcrosses foi superior para os testadores elites do mesmo grupo heterótico – população BS13(S)C1 e linhagem B73.

Quando foi realizada a comparação com o testador elite do grupo heterótico oposto, a situação foi mais favorável, ou seja, quase 2 t ha⁻¹ mais produtivo em relação aos testadores de baixa performance do outro grupo heterótico (BSSS população de origem e linhagem BSSS-222) e com variâncias genéticas entre os topcrosses de mesma magnitude.

É importante ressaltar que a seleção para o testador elite do grupo heterótico oposto será mais efetiva, pois a resposta à seleção [$RS = (\bar{x}_s - \bar{x}_0)h^2$] é função da média dos indivíduos selecionados, subtraída da média original dos topcrosses, multiplicada pelo coeficiente de herdabilidade. Como as estimativas da variância genética são similares, esperam-se também estimativas de mesma magnitude para as herdabilidades e, conseqüentemente, maior resposta à seleção quando utilizada linhagem elite do grupo heterótico oposto e maior média da população selecionada (Falconer & Mackay, 1996).

Dessa forma, ao se utilizar, como testadores, genótipos (linhagens ou híbridos simples) elites de grupos heteróticos diferentes das linhagens a serem avaliadas, estas são discriminadas de forma tão eficiente quanto uma linhagem de baixa performance do mesmo grupo heterótico. Porém, ao se utilizar linhagens elites ou híbridos simples, tem-se a oportunidade de, além de se selecionar as linhagens com maior concentração de alelos favoráveis, selecionar, também, híbridos simples ou triplos a serem liberados comercialmente.

2.4 Relação entre testadores e topcrosses

A maioria dos melhoristas assume ocorrência de correlação favorável entre os caracteres das linhagens e seus respectivos híbridos. Entretanto, a correlação existente, principalmente para a produção de grãos, é extremamente baixa para ter valor preditivo. Hallauer & Lopez-Perez (1979) evidenciaram correlações praticamente nulas entre as linhagens S₇ da população Iowa Stiff

Stalk Synthetic e o desempenho dos topcrosses das linhagens com cinco diferentes testadores.

Smith (1986), em um estudo de simulação para um caráter controlado por 200 loci, na ocorrência de dominância completa, após cruzamento da população com três testadores (um mediano do mesmo grupo heterótico, um elite do mesmo grupo heterótico e um elite de um grupo heterótico oposto), relata que as correlações entre o desempenho *per se* das linhagens e a performance dos topcrosses foram sempre positivas, porém, inferiores a 0,5. Com o incremento de alelos favoráveis, em testadores do mesmo grupo heterótico, a correlação decresceu (de 0,34 a 0,22). Com o testador elite do outro grupo heterótico, a correlação foi intermediária (0,28). Para a correlação entre topcross com testadores do mesmo grupo heterótico foi, apenas, 0,20. Quando considerado o testador mediano do mesmo grupo heterótico da população simulada e o elite do outro grupo heterótico, a correlação obtida foi 0,41. No caso de topcrosses com testadores elites, a correlação foi negativa, próxima de zero (-0,04).

Bernardo (1991) relata que a relação existente entre topcrosses com linhagens em diferentes gerações de endogamia – seleção precoce – é reportada por diversos autores. Jenkins (1935), apud Bernardo (1991), concluiu que as linhagens endogâmicas adquirem suas individualidades em relação aos parentais em cruzamentos topcrosses muito cedo no processo de endogamia e permanecem relativamente estáveis após isso. Por outro lado, Richey (1945), apud Bernardo (1991), concluiu que o uso isolado de progênies endogâmicas ou em cruzamentos com testadores é a base para a seleção entre e dentro de progênies e sua utilização nas fases iniciais dos programas de melhoramento não seria recomendada. Entretanto, essas conclusões conflitantes não levam em consideração as correlações genéticas e fenotípicas entre a performance dos topcrosses nas diferentes gerações de endogamia (Bernardo, 1991). O mesmo

autor relata que a correlação genética entre a performance dos topcrosses com linhagens ou progênes nas gerações S_n e $S_{n'}$ ($n' > n$) é dada pela raiz quadrada da razão da variância genética nas diferentes gerações de endogamia, sendo função do coeficiente de endogamia das gerações de autofecundação F , ou seja, $r_{GnGn'} = [(1+F_n)/(1+F_{n'})]^{0.5}$.

A correlação genética entre uma linhagem parcialmente endogâmica e seu descendente direto na geração $n' = \infty$ é 0,71 para S_1 , 0,87 para S_2 , 0,93 para S_3 , 0,97 para S_4 , 0,98 para S_5 ; e 0,99 para S_6 . Entretanto, para o melhoramento, o interesse está na correlação entre o valor fenotípico na geração n e o valor genotípico quando a linhagem atingir homozigose total. Neste caso, a correlação é função do produto da correlação genética nas gerações n e n' e a raiz quadrada da herdabilidade do caráter na geração n , ou seja, $r_{FnGn'} = r_{GnGn'} h_n$ (Bernado, 1991).

Keller (1949) realizou cruzamentos topcrosses, envolvendo 98 linhagens F_2 do híbrido simples (I233xITE701). O autor utilizou, como testador, o próprio híbrido e outro híbrido simples não relacionado (R4xHy). A correlação entre os topcrosses foi baixa (0,17). Posteriormente, o autor selecionou 34 linhagens (17 com cada um dos testadores) e cruzou-as com quatro diferentes testadores: as linhagens 187-2, Hy e WF9 e a população Krug. Novamente, o autor evidenciou baixas correlações entre os topcrosses. A maior correlação (0,29) foi observada para topcrosses com os testadores 187-2 e Hy. Com os testadores 187-2 e WF9, a correlação foi negativa (-0,05). Em média, as correlações observadas foram de 0,14, entretanto, nenhuma delas significativamente diferente de zero.

Rissi & Hallauer (1991) realizaram cruzamentos topcrosses utilizando 100 linhagens F_2 de duas populações braquíticas (D219B00 e F209B00), cruzando cada uma delas com quatro diferentes testadores: a própria população, uma população não relacionada, um híbrido simples não relacionado e uma

linhagem não relacionada. As correlações foram elevadas em todas as situações, variando de 0,53 a 0,69, para D219B00 e de 0,43 a 0,79, para F209B00.

Bernardo (1992b), avaliando as performances dos cruzamentos topcrosses com 15 linhagens irmãs oriundas da autofecundação de cinco populações F_2 , em que em cada uma das populações foram obtidas três linhagens irmãs, obteve correlações baixas entre performances *per se* e preditas, para todas as características. A correspondência entre capacidade geral de combinação observada e predita das linhagens irmãs foi, também, de baixo valor. Os resultados sugerem, ao contrário do esperado, que a proporção do genoma derivado dos genitores para as linhagens irmãs não é suficiente para se determinar as performances dos cruzamentos testes.

Correlações entre topcrosses para outros caracteres não são comuns. Keller (1949) relata estimativas de 0,43 para acamamento de plantas e de 0,40 para quebraimento de plantas ($P \leq 0,01$). Austin et al. (2000), para teor de umidade, apresentaram correlações entre topcrosses sempre superiores a 0,60, independente da geração de endogamia das linhagens, em que correlações elevadas também foram observadas para altura de planta e espiga, variando de 0,66 a 0,92. Os mesmos autores, nos topcrosses com linhagens $F_{6,8}$, reportaram correlações entre florescimento masculino e feminino variando de 0,67 a 0,84. Para linhagens $F_{2,3}$, as correlações foram menores, variando de 0,36 a 0,63. Neste mesmo estudo, para intervalo de florescimento, as correlações entre os topcrosses variaram de 0,22 a 0,49.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido na área experimental da fazenda Vitorinha, pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, na região sul de Minas Gerais. O local está situado à altitude de 951 metros e nas coordenadas geográficas de 21°12' Sul e 44°58' Oeste.

3.2 Material experimental

Foram utilizadas 67 progênies $S_{0.1}$, do programa de melhoramento de milho do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em topcross com dois testadores (T_1 - híbrido simples comercial com bom potencial produtivo e T_2 - uma mistura equitativa das progênies $S_{0.1}$), na safra 2007/2008. Obtiveram-se 134 progênies híbridas, denominadas topcrosses.

3.3 Condução e avaliação dos experimentos

Os 134 topcrosses obtidos e dez testemunhas (um híbrido simples, um híbrido duplo, dois híbridos triplos e seis híbridos de progênies parcialmente endogâmicas $S_{0.1}$) foram avaliados em dois experimentos (um em ambiente com média disponibilidade de nitrogênio – médio N, e outro em ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio, baixo N), no ano agrícola 2008/2009. Os dois experimentos foram instalados em áreas adjacentes.

O delineamento experimental utilizado foi o de látice triplo 12 x 12. As parcelas constituíram-se de duas linhas de três metros, com espaçamento de 0,8 metros(m) entre linhas e 0,20m entre plantas, com densidade populacional equivalente a 62.500 plantas por hectare.

A semeadura foi realizada no sistema de plantio direto. Para isso, a área foi submetida à prévia dessecação, utilizando-se glifosato, cerca de 15 dias antes

da sementeira. Antes das instalações dos experimentos, foram determinadas as principais características químicas dos solos, que são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 Análises químicas dos solos amostrados à profundidade de 0 a 20 cm, nas áreas experimentais^{1/}.

Características ^{2/}	Experimentos	
	Médio N	Baixo N
pH H ₂ O	5,3 cM	5,4 cM
P (mg dm ⁻³)	5,6 M	6,0 M
K (mg dm ⁻³)	47,3 M	43,3 M
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,76 M	1,76 M
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,4 Ba	0,4 Ba
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,26 Ba	0,3 Ba
H + Al (cmolc dm ⁻³)	5,6 Bo	4,6 M
SB (cmolc dm ⁻³)	2,3 M	2,3 M
t (cmolc dm ⁻³)	2,5 M	2,6 M
T (cmolc dm ⁻³)	7,9 M	6,9 M
V (%)	29,0 Ba	33,1 Ba
m (%)	10,6 MBa	11,6 MBa
MO (dag kg ⁻¹)	2,3 M	1,9 Ba
P-rem (mg L ⁻¹)	19,4	19,9

^{1/}Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo (DCS), de acordo com a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 1997) e interpretação de acordo com Alvarez V. et al. (1999). AcM – acidez média, MBa – teor muito baixo, Ba – teor baixo, M – teor médio, Bo – teor bom, MBo – teor muito bom.

^{2/} SB – soma de bases, t – CTC efetiva, m – saturação por alumínio, T – CTC a pH 7,0, V – saturação por bases.

Na semeadura, os dois experimentos receberam 350 kg ha⁻¹, no formulado 0-20-20, de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

A adubação nitrogenada foi realizada utilizando-se duas doses de nitrogênio (alta e baixa), sendo o sulfato de amônio utilizado como fonte de nitrogênio. No experimento Médio N, foram aplicados 250 kg/ha de sulfato de amônio em cobertura e, no experimento Baixo N, foi aplicada a metade de sulfato de amônio, correspondente a 125 kg/ha. Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura. Os caracteres avaliados foram:

- florescimento masculino (FM): correspondente ao número de dias após o plantio até a antese de 50% das flores masculinas das plantas da parcela;
- florescimento feminino (FF): correspondente ao número de dias após o plantio até a emissão dos estilos-estigmas de 50% das plantas da parcela;
- prolificidade (PROL): número médio de espigas por planta obtido para cada parcela, obtida pela divisão do número total de espigas pelo estande da parcela;
- produção de grãos (PROD): peso de grãos da parcela, obtido em kg parcela⁻¹, corrigido para o teor de umidade de 13% e para estande, conforme Schmildt (2001). Posteriormente, foi convertido para kg ha⁻¹, utilizando a área útil da parcela, 6m x 0,80m, que corresponde a 4,8 m², como referência. A correção para a umidade foi efetuada da de acordo com a equação (1):

$$(1) PGC = PROD(100 - UM) / 87$$

em que

PGC: peso de grãos corrigido, em kg parcela⁻¹;

PROD: peso de grãos não corrigido, em kg parcela⁻¹;

UM: teor de umidade de grãos da parcela.

3.4 Análises estatísticas

3.4.1 Análises de variâncias dos topcrosses

Inicialmente, foram realizadas as análises individuais para cada ambiente a partir do modelo estatístico, equação (2):

$$(2) Y_{ijk} = m + t_i + b_{j(k)} + r_k + e_{ijk}$$

em que

Y_{ijk} : valor do tratamento i no bloco j dentro da repetição k ;

m : média geral do experimento;

t_i : efeito do tratamento i ($i=1,2,3,\dots,144$);

$b_{j(k)}$: efeito do bloco j dentro da repetição k ($j=1,2,3,\dots,12$);

r_k : efeito da repetição k ($k=1,2,3$);

e_{ijk} : erro experimental associado à observação Y_{ijk} , com $e_{ijk} \cap N(0, \sigma^2)$

Posteriormente, foi realizada análise conjunta, dos dois ambientes (Médio e Baixo N), equação (3):

$$(3) Y_{ijkl} = m + t_i + a_l + b_{j(kl)} + r_{k(l)} + (ta)_{il} + e_{ijkl}$$

em que

Y_{ijkl} : valor do tratamento i no bloco j dentro da repetição k no nível l

m : média geral do experimento;

t_i : efeito do tratamento i ($i=1,2,3,\dots,144$);

a_l : efeito do ambiente l ($l=1,2$);

$b_{j(kl)}$: efeito do bloco j dentro da repetição k no ambiente l ($j=1, 2, 3,\dots,12$);

$r_{k(l)}$: efeito da repetição k dentro do ambiente l ($k=1, 2, 3$);

$(ta)_{il}$: efeito da interação tratamentos x ambiente;

e_{ijkl} : erro experimental associado à observação Y_{ijkl} , com $e_{ijkl} \cap N(0, \sigma^2)$.

Os esquemas das análises individuais e conjuntas, bem como as esperanças dos quadrados médios, estão apresentados na Tabela 1A. Na análise

conjunta, foram desdobradas as somas de quadrados de tratamento em topcrosses, testemunhas e seu contraste, e a interação destes com ambientes. Além disso, as somas de quadrados de topcrosses foram desdobradas para cada um dos testadores e o contraste entre os mesmos. Novamente, foram realizadas as interações destes com doses.

3.4.2 Análise dialélica

As médias ajustadas de cada uma das análises individuais dos topcrosses, excetuando as testemunhas, foram organizadas para, então, ser realizada a análise dialélica. A análise foi realizada de acordo com o método 4 do modelo I de Griffing (1956), adaptado para dialélos parciais em múltiplos ambientes (Ferreira et al., 1993). Utiliza-se este método quando se dispõe de um conjunto de híbridos sem seus recíprocos. Neste caso, o modelo estatístico utilizado foi, equação (4):

$$(4) Y_{rsl} = m + a_l + g_r + g'_s + s_{rs} + (ag)_{rl} + (ag')_{sl} + (as)_{rsl} + \bar{e}_{rsl}$$

em que

Y_{rsl} : valor médio observado da combinação híbrida entre o r -ésimo testador com a s -ésima linhagens no nível de nitrogênio l ;

a_l : efeito da dose de nitrogênio l ($l=1,2$);

g_r : efeito da capacidade geral de combinação do r -ésimo testador ($r=1,2$);

g'_s : efeito da capacidade geral de combinação da s -ésima progênie ($s=1, 2, 3, \dots, 67$);

s_{rs} : efeito da capacidade específica de combinação entre o testador r e a progênie s ;

$(ag)_{rl}$: efeito da interação entre a capacidade geral de combinação do r -ésimo testador e o efeito da dose de nitrogênio;

$(ag')_{sl}$: efeito da interação entre a capacidade geral de combinação da s -ésima progênie e o efeito da dose de nitrogênio;

$(as)_{rsl}$: efeito da interação entre a capacidade específica de combinação entre os testadores r e as progênies s e o efeito da dose de nitrogênio;

\bar{e}_{rsl} : erro experimental médio, obtido a partir da soma dos quadrados médios dos resíduos, ajustado para o número de observações.

A análise dialélica e o teste F estão apresentados na Tabela 2A.

3.4.4 Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos

A partir das esperanças dos quadrados médios da análise conjunta (Tabela 6A), foram estimados os parâmetros genéticos e fenotípicos, por meio dos seguintes estimadores:

a) Variâncias fenotípicas entre as médias das progênies ($\hat{\sigma}_F^2$), equação (5):

$$(5) \hat{\sigma}_F^2 = \frac{Q_6}{r}$$

b) Variância genética entre os topcrosses da análise conjunta dos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio, equação (6):

$$(6) \hat{\sigma}_p^2 = \frac{Q_6 - Q_9}{rl}$$

Os intervalos de confiança (IC) associados às estimativas dos componentes de variância foram estimados a partir da expressão apresentada por Ramalho et al. (2005), equação (7):

$$(7) IC_{1-\alpha} : \left[\frac{V_p \hat{\sigma}_p^2}{\chi_{\alpha/2}^2}, \frac{V_p \hat{\sigma}_p^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2} \right]$$

em que

α : nível de significância preestabelecido (no caso 0,05);

$\hat{\sigma}_p^2$: estimativa da variância genética entre os topcrosses;

V_p : número de graus de liberdade associados ao componente da variância genética;

$\chi_{\alpha/2}^2$ e $\chi_{1-\alpha/2}^2$: valores tabelados da distribuição de qui-quadrado para V_p graus de liberdade.

c) Herdabilidade no sentido amplo na média das progênies dos experimentos com e sem aplicação de nitrogênio, equação (8):

$$(8) h_i^2 = \frac{\hat{\sigma}_{G_i}^2}{\hat{\sigma}_F^2}$$

em que

$\hat{\sigma}_{G_i}^2$: variância genética entre os topcrosses

$\hat{\sigma}_F^2$: variância fenotípica entre as médias dos topcrosses.

Pelas expressões apresentadas por Knapp et al. (1985), com confiança de $1-\alpha = 0,95$, foram obtidos os limites inferiores (LI) e superiores (LS) das estimativas de herdabilidade (h^2), equações (9) e (10):

$$(9) LI = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_6}{Q_{10}} \right) x F_{1-\alpha/2; v_1; v_2} \right]^{-1} \right\}$$

$$(10) LS = \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Q_6}{Q_{10}} \right) x F_{\alpha/2; v_1; v_2} \right]^{-1} \right\}$$

em que

$F_{\alpha/2}$ e $F_{1-\alpha/2}$: valores tabelados da distribuição de F, com v_1 e v_2 graus de liberdade, sendo $a = 0,05$;

v_1 e v_2 : graus de liberdade associados QM de progênies e QM do erro, respectivamente;

Q_1 e Q_2 : quadrado médio de progênies e quadrado médio do erro, respectivamente.

3.4.5 Correlações entre topcrosses

A correlação foi estimada utilizando-se a produtividade média dos topcrosses, entre os dois testadores, em cada ambiente e na média conjunta. Na estimativa da correlação, utilizou-se a expressão do coeficiente de correlação de postos de Spearman, ou seja, equação (11):

$$(11) \rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

em que

d_i : diferença entre cada posto de valor correspondente de x e y;

n : o número dos pares dos valores.

As estimativas dos índices de coincidência dos topcrosses entre os dois testadores, em cada ambiente e na média conjunta, em diferentes intensidades de seleção (10%, 20%, 30%, 40% e 50%), foram obtidas pela expressão apresentada por Hamblin & Zimmermann (1986), ou seja, equação (12):

$$(12) I_C = \frac{C - A}{M - A} \times 100$$

em que

I_C : índice de coincidência;

A : número de topcrosses que coincidiriam, devido ao acaso, entre os dois testadores, assumido como a mesma proporção da intensidade de seleção;

C : número de materiais selecionados que coincidiram entre os dois testadores;

M : número de topcrosses selecionados, conforme a intensidade de seleção utilizada.

4 RESULTADOS

Os resumos das análises de variância conjunta para prolificidade (PROL), produtividade de grãos (PROD), florescimento masculino (FM) e florescimento feminino (FF) estão apresentados na Tabela 2. A eficiência relativa do látice (ER) em relação aos blocos casualizados para os dois experimentos foi superior para todos os caracteres avaliados, evidenciando ser vantajoso o emprego do látice. A precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV%) pode ser considerada muito boa para os caracteres PROL, FM e FF, pois os CVs foram inferiores a 10%. Para o caráter PROD, o CV foi inferior a 20%, o que indica boa precisão experimental. Estes valores estão dentro dos limites reportados na literatura (Scapim et al., 1995; Raposo, 2002; Lima et al., 2006).

As fontes de variação doses e tratamentos apresentaram teste F significativo ($P \leq 0,01$) para todos os caracteres. A fonte de variação tratamentos foi desdobrada em topcrosses (topcross testador 1 e topcross testador 2), testemunhas e seus contrastes (topcrosses vs. testemunha; topcross testador 1 vs topcross testador 2). Constatou-se que tanto para fonte de variação topcrosses, topcross testador 1 e topcross testador 2 quanto para testemunha, o teste F foi significativo para todos os caracteres, indicando existência de variabilidade genética entre os tratamentos, exceto para PROL, no caso da fonte de variação testemunha. O contraste entre topcross testador 1 vs. topcross testador 2 apresentou teste F significativo apenas para FM e FF, não apresentando significância ($P > 0,05$) para os caracteres PROL e PROD, o que indica que os testadores não se diferenciaram em relação a esses caracteres. O contraste topcrosses vs. testemunha foi significativo ($P \leq 0,05$) apenas para PROD, indicando que, em média, os topcrosses diferem das testemunhas para esse caráter (Tabela 2).

A produtividade média geral de grãos foi de 6.387,43 kg ha⁻¹, tendo a produtividade no ambiente com médio N sido 9,2% superior à produtividade média do Baixo N. Os topcrosses avaliados na dose média de N foram, em média, 1,25 dia mais tardio, em relação ao florescimento masculino e feminino, do que na dose baixa de N (Tabela 2).

Para todos os caracteres avaliados, não ocorreu interação entre doses x tratamentos (P>0,05), indicando que os tratamentos apresentaram performances coincidentes nas doses em que foram avaliados. Dessa forma, não foi realizado o desdobramento das somas de quadrados dos tratamentos e a interação destes com doses (Tabela 2).

A existência de variabilidade genética entre as progênies para os caracteres avaliados pode ser comprovada também pelas estimativas dos parâmetros genéticos (Tabelas 3). As estimativas das variâncias genéticas entre as progênies ($\hat{\sigma}_p^2$) foram todas diferentes de zero. Em nenhuma das situações, obteve-se estimativa do limite inferior negativa (P≤0,05). As estimativas de herdabilidade das análises conjuntas foram superiores a 70%, exceto para PROL (46,37%) e os intervalos de confiança apresentam limites inferiores todos positivos, sendo, portanto, diferentes de zero.

TABELA 2 Quadrados médios e significâncias, coeficientes de variação (CV%), médias gerais e eficiência relativa do látice (ER) da análise de variância conjunta para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF).

FV	GL	QM			
		PROL	PROD	FM	FF
Rep/Nível	4	0,00871**	48,697**	48,666**	50,9270**
Doses (N)	1	0,0270**	193,934**	326,34**	311,760**
Tratamentos (T)	143	0,00401**	4,7465**	8,852**	9,7068**
Topcrosses (TC)	133	0,00427**	4,644**	8,699**	9,511**
TC t ₁	66	0,00704**	5,964**	8,106**	8,808**
TC t ₂	66	0,00156**	3,395**	9,425**	10,358**
TC t ₁ vs TC t ₂	1	0,00431 ^{ns}	0,2310 ^{ns}	14,240**	23,3445**
Testemunha (Tm)	9	0,00053 ^{ns}	6,775*	12,091*	13,678**
TC vs Tm	1	0,00143 ^{ns}	15,210*	1,6592 ^{ns}	1,77615 ^{ns}
T x N	143	0,00229 ^{ns}	1,313 ^{ns}	2,325 ^{ns}	2,5273 ^{ns}
Resíduo	572	0,00204	2,0518	1,779	2,017
Médias MédioN		1,02	6696,59	65,54	67,54
Médias Baixo N		1,01	6078,26	64,29	66,34
Médias Gerais		1,017	6387,43	64,92	66,94
CV(%)		4,44	18,17	1,33	2,12
ER		Alto/Baixo(N)	Alto/Baixo(N)	Alto/Baixo(N)	Alto/Baixo(N)
		100,32/101,43	116,53/108,44	109,53/100,14	110,46/100,29

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

TABELA 3 Estimativas dos componentes de variância da análise conjunta para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF).

	$\hat{\sigma}_F^2$	$\hat{\sigma}_G^2$ (IC)	h_a^2 (LI – LS)
PROL	0,0071	0,00022 (0,000176 – 0,00028)	46,37 (13,6 – 61,03)
PROD	0,774	0,555 (0,445 – 0,709)	71,72 (60,01 – 79,05)
FM	1,449	1,062 (0,853 – 1,358)	73,27 (62,5 – 80,02)
FF	1,585	1,164 (0,935 – 1,489)	73,42 (62,8 – 81,03)

(IC) Intervalo de confiança; (LI, LS) Limites inferior e superior, respectivamente; σ_p^2 : variância genética entre progênies; σ_F^2 : variância fenotípica entre progênies; h_a^2 : herdabilidade para progênies dos dois topcrosses.

O resumo da análise dialélica está apresentado na Tabela 4. Foram constatadas diferenças significativas ($P \leq 0,05$) para as fontes de variação doses e topcrosses, com exceção apenas para PROL. Infere-se, portanto, que existem diferenças entre as doses de nitrogênio aplicadas e que também existe variabilidade entre os topcrosses.

Os efeitos de capacidade geral de combinação (CGC), relativos aos efeitos aditivos (ou à frequência de alelos favoráveis nos locos gênicos importantes para o caráter), foram significativos, a 1% de probabilidade, para FM e FF, para fonte de variação do grupo dos testadores (CGC Test.). Verifica-se, pelas estimativas da capacidade geral desse grupo, que o testador 2 apresentou sinal positivo para todos os caracteres, exceto PROL, indicando que contribui com alelos que tendem a aumentar a produtividade e o número de dias para florescimento masculino e feminino (Tabela 4). Para a fonte de variação do grupo das progênies (CGC Prog), os caracteres FM e FF apresentaram significância a 1% e o caráter PROD apresentou significância, a 5% de probabilidade, indicando que as progênies contribuem diferentemente para os cruzamentos onde elas estão envolvidas (Tabela 4).

Quanto às capacidades específicas de combinação (CEC), que são referentes aos efeitos gênicos não aditivos (dominância e epistasia – ou efeitos

de complementação intra e intergênica), houve significância, a 5% de probabilidade, para PROD, indicando que as combinações híbridas apresentam performances que diferenciam das esperadas somente pelos efeitos das capacidades gerais de combinação dos seus parentais e que a heterose é um componente genético importante na expressão fenotípica (Tabela 4). A interação topcrosses x doses foi significativa a 1% apenas para PROL, FM e FF. Não houve significância ($P>0,05$) para PROD, indicando que os topcrosses apresentaram desempenho coincidente nas duas doses de nitrogênio.

TABELA 4 Quadrados médios, significâncias, porcentagens relativas das capacidades gerais (CGC%) e específicas (CEC%) de combinação em relação à análise dialélica para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF).

FV	GL	Quadrado Médio (QM)			
		PROL	PROD	FM	FF
Doses (N)	1	0,000115 ^{ns}	8539004,36 ^{**}	34,52 ^{**}	32,42 ^{**}
<i>Topcrosses</i> (TC)	133	0,002276 ^{ns}	1516092,46 [*]	3,91 [*]	4,21 [*]
CGC (Test.)	1	0,000036 ^{ns}	874911,42 ^{ns}	22,18 ^{**}	18,98 ^{**}
CGC (Prog.)	66	0,002667 ^{ns}	1536195,48 [*]	5,88 ^{**}	6,40 ^{**}
CEC Test x Prog	66	0,001918 ^{ns}	1505704,29 [*]	1,67 ^{ns}	1,81 ^{ns}
TC x N	133	0,002586 ^{**}	494562,04 ^{ns}	3,19 ^{**}	2,67 ^{**}
CGC (Test) x N	1	0,010032 ^{**}	96935,33 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,36 ^{ns}
CGC (Prog) x N	66	0,00234 ^{**}	920824,28 ^{ns}	3,68 ^{**}	2,36 ^{**}
CEC(Test x Prog)xN	66	0,00272 ^{**}	743524,46 ^{ns}	2,75 ^{**}	3,02 ^{**}
Resíduo	536	0,001308	743807,23	1,09	0,80
CGC(%)		58,18	50,71	78,80	78,66
CEC(%)		41,81	49,28	21,19	21,33

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

Dentre os caracteres avaliados, apenas para PROD a contribuição dos efeitos não aditivos foi de elevada magnitude; a CGC contribuiu com 50,71% e a CEC, com 49,21% da variação dos topcrosses.

Para os demais caracteres, os efeitos aditivos foram mais importantes que os não aditivos, pois a contribuição da CGC variou de 58,18%, para PROL a 78,80% para FM (Tabela 4).

As classificações dos híbridos topcrosses quanto à disponibilidade de nitrogênio, para produtividade de grãos, pode ser observada nas Figuras 1 e 2, para os testadores T_1 e T_2 , respectivamente. Em relação ao testador 1, 37% dos topcrosses foram responsivos à aplicação de N e tolerantes à baixa disponibilidade de N (quadrante II); 11,94% dos topcrosses foram responsivos e não tolerantes (quadrante III); 32,83% foram não responsivos e não tolerantes (quadrante IV) e apenas 16,41% foram não responsivos e tolerantes (quadrante I).

Em relação ao testador 2, 28,35% dos topcrosses foram responsivos à aplicação de N e tolerantes à baixa disponibilidade de N (quadrante II); 16,41% foram responsivos e não tolerantes (quadrante III) e 37,31% foram não responsivos e não tolerantes (quadrante IV) e apenas 14,92% foram não responsivos e tolerantes (quadrante I) (Figura 2).

TABELA 5 Estimativas de capacidade geral de combinação (gi) dos genitores do grupo I (CGC Test.) e das 10 melhores progênies do grupo II (CGC Prog.) para os caracteres prolificidade (PROL), produtividade de grãos (kg ha⁻¹) (PROD), número de dias para florescimento masculino (FM), número de dias para florescimento feminino (FF), médias dos dois ambientes.

		Efeito das CGC				
GRUPO I		PROL	PROD	FM	FF	
Testador 1		0,0003 ^{ns}	-46,651 ^{ns}	-0,234 ^{**}	-0,217 ^{**}	
Testador 2		-0,0003 ^{ns}	46,651 ^{ns}	0,234 ^{**}	0,217 [*]	
GRUPO II		Prog/CGC	Prog/CGC	Prog/CGC	Prog/CGC	
1	52	0,078134	9 1001,139	8 -1,90149	8 -2,02082	
2	8	0,053134	45 864,0745	61 -1,50649	61 -1,72082	
3	5	0,043134	4 817,6545	7 -1,45649	7 -1,52582	
4	3	0,038134	1 798,4795	39 -1,19649	25 -1,38082	
5	2	0,033134	61 696,7495	20 -1,15649	39 -1,17082	
6	1	0,028134	34 665,1345	10 -1,15149	3 -1,13582	
7	1	0,023134	47 663,2845	25 -1,12649	35 -1,08582	
8	6	0,018134	62 611,2345	23 -1,09649	20 -1,00582	
9	2	0,018134	53 601,5845	3 -1,02149	32 -0,99082	
10	3	0,018134	30 574,9595	32 -0,98649	14 -0,98082	

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

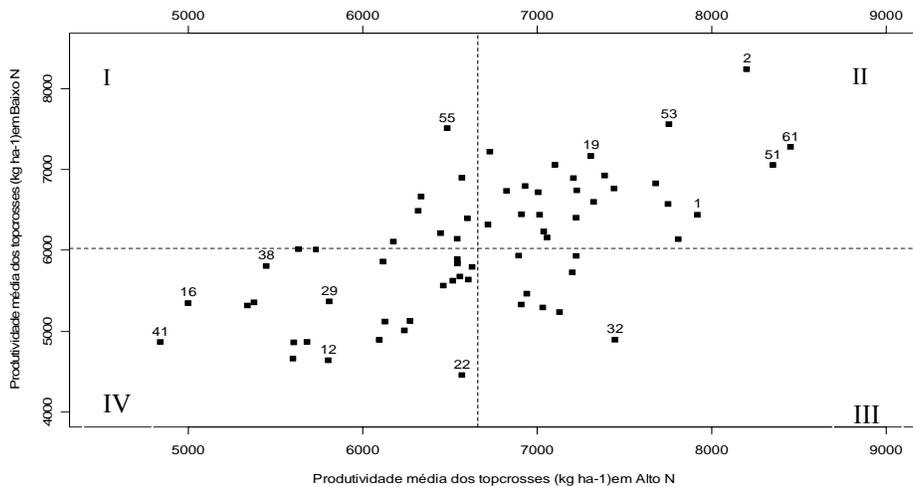


FIGURA 1 Comportamento quanto à eficiência de uso de N e resposta à adubação nitrogenada dos 67 topcrosses com o testador 1, em relação à produtividade média de grãos (kg ha^{-1}), na média dos ambientes.

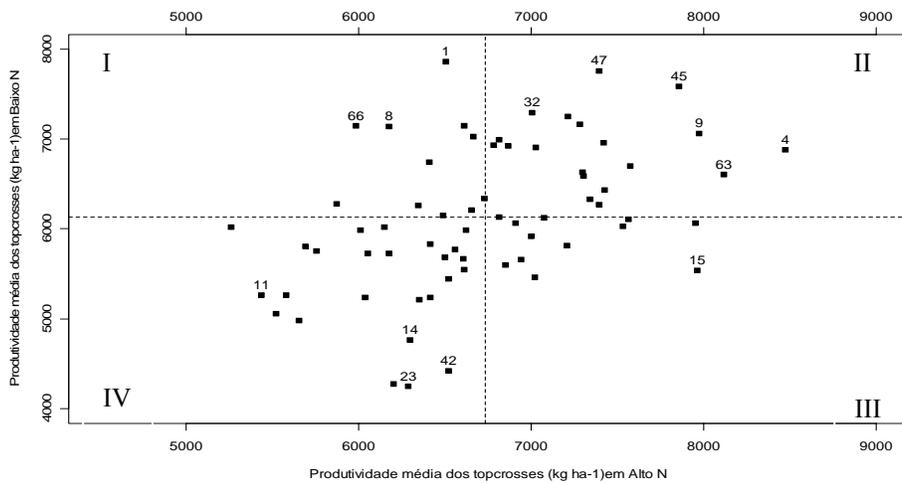


FIGURA 2 Comportamento da eficiência de uso de N e resposta à adubação nitrogenada, na média dos ambientes dos 67 topcrosses com o testador 2, em relação à produtividade média de grãos (kg ha^{-1}), na média dos ambientes.

Os valores das correlações para PROD entre os topcrosses variaram nas diferentes doses (Tabela 6). No Médio N e na média conjunta, as correlações foram de pequena magnitude (7,49% e 7,30%), porém, de sinal positivo, indicando que os melhores topcrosses com o testador 1 apresentaram comportamento semelhante com o testador 2. No Baixo N, as correlações foram de pequena magnitude e de sinal negativo, indicando que houve uma inversão no comportamento dos topcrosses entre os dois testadores.

Verifica-se que, pela coincidência na porcentagem de topcrosses que seriam selecionados nas diferentes intensidades de seleção entre os dois testadores (Tabela 6), não houve nenhum topcross coincidente entre os testadores no Médio N e no Baixo N na intensidade de 10% e apenas, em média, de 5,47% de coincidência na média conjunta. A partir da intensidade de 20%, a porcentagem de coincidência foi crescente com o abrandamento da intensidade de seleção, entretanto, só apresentou coincidência superior a 50%, com intensidade de seleção de 50% no Baixo N.

TABELA 6 Porcentagem de coincidência com diferentes intensidades de seleção (I) e correlação de Spearman dos topcrosses selecionados entre os dois testadores, para o caráter produtividade, em duas doses de nitrogênio.

	Níveis			
	I (%)	MédioN (%)	Baixo N (%)	Conjunta (%)
Índice de coincidência	10	0	0	5,47
	20	13,76	13,76	5,47
	30	16,57	22,09	27,62
	40	30,34	42,75	34,49
	50	45,27	51,90	41,95
Correlação de Spearman		0,0749	-0,0108	0,0730

5 DISCUSSÃO

Em relação às médias das análises conjuntas, será dada ênfase para o caráter produção de grãos. Em experimentos dessa natureza, um questionamento que surge, inicialmente, é sobre quais doses de fertilizante utilizar.

Considerando que foram avaliadas apenas duas doses, optou-se por considerar aquela que tem sido recomendada, em condições de cultivo de média tecnologia, para o ambiente de médio N, e aplicação da metade dessa dose para o ambiente de baixo N. Verificou-se, na média, que o experimento médio N foi 9,2% mais produtivo do que o experimento Baixo N (Tabela 1), tendo a fonte de variação dose sido altamente significativa para o caráter PROD (Tabela 2). Essa redução de 9,2% na média de produtividade de grãos, observada no ambiente com estresse em relação à obtida na ausência do estresse, foi 11% menor do que a proposta por Bolaños & Edmeades (1996) para caracterizar o estresse. Estes autores sugeriram que a média obtida em estresse abiótico esteja entre 20% e 30% inferior à alcançada pelo mesmo conjunto genético no ambiente sem estresses abióticos, considerando os ensaios em um mesmo ano e local. Monneveux et al. (2005) constataram que a média de redução na produtividade de grãos, em estresse de nitrogênio, foi de 65,3% para as variedades de polinização aberta e de 67,4% para os híbridos.

Entretanto, considerando que a diferença de produção de grãos entre os dois ambientes foi de 618 kg ha⁻¹ e que a diferença de dose de N aplicada foi de 25 kg, a resposta média de kg de grãos produzidos por kg de N aplicado foi de 24 kg. Esses resultados estão de acordo com os de Fidelis et al. (2007), que encontraram resposta média de 17 kg de grãos por kg de N aplicado, na cultura do milho.

Percebe-se que, em média, os testadores não se diferenciaram na produção de grãos dos topcrosses. Este fato é comprovado pela não significância

do contraste (topcross testador 1 vs. topcross testador 2) (Tabela 2) e também pela porcentagem semelhante da alocação dos topcrosses nos quatro quadrantes (Figura 1 e 2). Este fato pode estar relacionado com a frequência alélica dos dois testadores. O testador 1 é um híbrido simples com frequência alélica $t = 1/2$ e o testador 2, que é uma mistura das progênies testadas, as quais são provenientes de híbridos simples comerciais, também deve possuir frequência alélica $t = 1/2$.

Também se pode inferir que, como o testador 2 é uma mistura equitativa das próprias progênies testadas, isto é, o testador é a própria população, o desempenho dos topcrosses com esse testador equivale ao desempenho *per se* das progênies. Então, infere-se que o desempenho *per se* das progênies não foi alterado quando se utilizou como testador o híbrido simples, isto é, a alteração da fonte de pólen, no caso da utilização do testador 1 (híbrido simples), na obtenção do topcross, não interferiu no desempenho *per se* das progênies. Esse fato é importante, pois pode otimizar o método de topcross, uma vez que a avaliação *per se* das progênies pode ser realizada no mesmo campo de obtenção do topcross, o que economizaria recursos e diminuiria o tempo para a obtenção de híbridos. Apesar de não existir correlação entre o desempenho *per se* das progênies e o desempenho dos híbridos derivados dessas progênies, a etapa de avaliação *per se* das progênies é importante para eliminar progênies pouco produtivas, evitando que, no futuro, sejam selecionadas linhagens com baixas produtividades.

O melhorista deve realizar a seleção de forma a minimizar a ocorrência de perdas de genótipos superiores. O mesmo é válido para seleção entre topcrosses com diferentes testadores, pois, dada a ocorrência de correlação entre os mesmos, pode-se conhecer a probabilidade de realizar a seleção em um dos topcrosses, mantendo-se genótipos superiores no outro.

Ao se realizar a seleção em topcrosses com uma linhagem testadora r , espera-se também que sejam selecionados cruzamentos com outras linhagens

testadoras r' , em função da correlação existente entre os topcrosses (Bernardo, 1992b). Se a correlação entre os topcrosses for 1, a coincidência será total, ou seja, todos os topcrosses que forem superiores com a linhagem testadora r serão também com a linhagem r' ; na ocorrência de correlação -1, não haveria coincidência entre os topcrosses com as diferentes linhagens testadoras, pois as classificações seriam opostas.

No entanto, houve baixa correlação dos topcrosses entre os dois testadores, nas duas doses e observa-se que a coincidência dos melhores topcrosses, para produtividade de grãos entre os dois testadores, só foi alta quando se utilizou intensidade de seleção branda (Tabela 6). À medida que a intensidade de seleção foi reduzida, ou seja, com maior porcentagem de cruzamentos selecionados, maiores foram as coincidências entre os topcrosses, alcançando, em média, 50% na intensidade de seleção de 50% (correspondente à seleção de 33 topcrosses superiores).

A contribuição dos efeitos não aditivos (CEC) foi de elevada magnitude, para PROD (Tabela 5), ocorrendo a existência de alta variabilidade genética, que também é comprovada pela variância genética (Tabela 3). O fato de os testadores não serem relacionados, ou seja, pertencerem a grupos heteróticos diferentes, não se obteve alta correlação, também contribui para a existência de alta variabilidade. Este fato implica que a escolha do testador para seleção precoce tem que estar de acordo com o objetivo final do melhorista. É preferível utilizar um testador que tenha potencial para ser utilizado como um dos parentais no híbrido a ser sintetizado, como, por exemplo, utilizar uma linhagem elite como testador, para obter, no final do processo, um híbrido simples ou utilizar um híbrido simples como testador, para obter um híbrido triplo no final do processo.

A intensidade de seleção a ser aplicada é dependente da coincidência que o melhorista deseja no momento em que é realizada a seleção. Por exemplo, para

o caráter produção de grãos na intensidade de seleção de 10% (correspondente a sete *topcrosses* superiores), se o melhorista estivesse interessado em que pelo menos um dos sete *topcrosses* fosse coincidente, a condição não seria satisfeita nos ambiente médio N e baixo N e somente seria satisfeita na média da conjunta.

Smith (1986), em um estudo de simulação para um caráter quantitativo, relata a expectativa de que a correlação seja baixa e inferior a 0,40. O mesmo autor não evidenciou correlações consistentes entre os *topcrosses* em um estudo de simulação de um caráter controlado por 200 locos na ocorrência de dominância completa.

Correlações baixas para o caráter produção de grãos entre os *topcrosses* com testadores de grupos heteróticos opostos foram reportadas por Keller (1949) e Vale-Razo & Stucker (1996), sendo de 0,17 e 0,14, respectivamente. Entre *topcrosses* com testadores do mesmo grupo heterótico, os mesmos autores observaram correlação de apenas 0,20 e, para testadores de grupos heteróticos opostos, em que eram esperadas menores correlações que as observadas para testadores do mesmo grupo heterótico, as correlações foram de 0,41 e -0,04. Correlações medianas e baixas foram observadas por Austim et al. (2001), variando de 0,28 a 0,31 para progênies $S_{2.3}$ e de 0,48 a 0,59 quando foram utilizadas progênies $S_{6.8}$ para realização dos *topcrosses*, com valor médio de 0,42. A tendência das correlações serem mais elevadas para *topcrosses* com testadores relacionados não foi evidenciada pelos autores.

Fato semelhante foi observado por Rissi & Hallauer (1991), que avaliaram a correlação entre linhagens de duas populações pertencentes a grupos heteróticos distintos e utilizaram, como testadores, a própria população, a população do grupo heterótico oposto, um híbrido simples e uma linhagem não relacionada. As correlações entre os *topcrosses* foram de medianas a elevadas, em todas as situações, com valor médio de 0,58, variando de 0,43 a 0,79.

Neste trabalho, percebe-se que houve ampla dispersão na representação gráfica dos híbridos sintetizados a partir dos cruzamentos entre as progênes e os testadores, com segregação para todo tipo de comportamento: eficientes e responsivos (q. II), eficientes e não-responsivos (q. III), ineficientes e responsivos (q. IV) e ineficientes e não-responsivos (q. I)) (Figura 1 e 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Guimarães (2006), que observou grande dispersão na representação gráfica dos híbridos sintetizados a partir dos cruzamentos entre linhagens eficientes com ineficientes.

Ainda assim, no presente trabalho foi possível identificar alguns topcrosses que se classificam como adequados para a condição de estresse, ou seja, híbridos que apresentam elevada produtividade de grãos no ambiente com estresse, mas que também são responsivas à melhoria do ambiente, quadrante II (Figura 1 e 2). Assim, as progênes parentais desses híbridos devem ser aproveitadas nos programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares para os agricultores menos tecnificados, em grande número no Brasil, e também para aqueles que empregam alta tecnologia.

Entretanto, ainda é passível de verificação se os topcrosses alocados no quadrante IV são realmente não responsivos e não tolerantes ao N, uma vez que, neste trabalho, foram utilizadas progênes $S_{0:1}$ e, Bernardo (2002), com base nas correlações genéticas e fenotípicas entre linhagens nas gerações n e n' ($n' > n$) de autofecundação, relata que a probabilidade de se realizar seleção precoce das linhagens sem perda de genótipos superiores existentes na população é variável, em função da correlação existente entre as diferentes gerações de endogamia e da herdabilidade do caráter na população de origem.

A correlação entre o valor fenotípico de progênes $S_{0:1}$ e o valor genético de linhagens completamente endogâmicas S_{∞} , $r_{FnG\infty}$ apresenta os seguintes valores: 0,35 para $h^2 = 0,25$; 0,50 para $h^2 = 0,50$; e 0,61 para $h^2 = 0,75$, sendo, portanto, de pequena magnitude, quando o caráter é de baixa herdabilidade. A

partir da geração $S_{0.3}$ de endogamia, o incremento nas correlações entre o valor fenotípico e genético é pequeno, portanto, mesmo para caracteres de baixa herdabilidade, a seleção precoce não deve ser postergada além de famílias $S_{0.3}$ (Bernardo, 2002).

Na análise dialélica conjunta, verifica-se que tanto os efeitos de CGC(Prog) quanto de CEC foram significativos para PROD, demonstrando que os efeitos genéticos aditivos e não-aditivos são importantes (Tabela 4). Assim, tanto a quantidade de alelos favoráveis doados pelas progênies quanto a complementação gênica obtida em cruzamentos específicos foram importantes para a formação de híbridos superiores, na média dos ambientes. Para os caracteres FF e FM, além de CGC(Prog) e CEC, a CGG(Test) também foi significativa (Tabela 4). Observa-se que o testador 1 apresentou alelos favoráveis para diminuir o número de dias para o florescimento masculino e feminino, condição essa desejável pelos melhoristas.

A interação topcrosses x doses foi significativa para PROL, FM e FF e que, no desdobramento da interação, tanto as fonte de variação $CGC_{Test} \times N$, $CGC_{Prog} \times N$ quanto $CEC \times N$ foram significativos para o caráter PROL, indicando que o número de alelos favoráveis, doados pelos genitores, é alterado entre os ambientes. Assim, alelos favoráveis, em uma determinada dose de N, podem não contribuir da mesma forma em outra dose de N e que os efeitos de complementação gênica apresentaram diferenças na expressão de heterose dos topcrosses em doses diferentes. Para FM e FF, a fonte de variação CGC(test) não foi significativa (Tabela 4), indicando que a alteração na quantidade de nitrogênio aplicada não interferiu, em média, na quantidade de alelos favoráveis doadas pelos testadores.

Observa-se que, para PROL, FM e FF, houve maior contribuição dos efeitos aditivos em relação aos efeitos não aditivos (Tabela 4), demonstrando

que os efeitos genéticos aditivos exercem mais influência nas médias dos topcrosses avaliados sob condições de alta e baixa disponibilidade de N.

Para o caráter PROD, não houve interação topcross x dose (Tabela 4), indicando que não existe diferença nas frequências de alelos favoráveis entre os parentais dos topcrosses avaliados em ambientes contrastantes na disponibilidade de nitrogênio. Resultados diferentes foram encontrados por Médici (2005) e Guimarães (2006), que relatam a existência de interação genótipos x doses de N para produtividade de grãos de milho. Os mesmos autores evidenciaram que, para os ambientes com alta disponibilidade de N, os efeitos genéticos aditivos apresentaram-se ligeiramente mais importantes que os efeitos genéticos não aditivos e, para ambientes com baixa disponibilidade de N, os efeitos genéticos aditivos e não aditivos apresentaram importâncias similares.

Devido a esse fato, Guimarães (2006) sugere que, para o desenvolvimento de cultivares eficientes no uso de N, devem-se avaliar os genótipos em ambientes com baixo N e, posteriormente, obter progênies híbridas apenas das linhagens mais adaptadas ao estresse por deficiência de N, em dialelos ou topcrosses, para avaliações mais detalhadas. Este esquema proporcionaria economia de recursos pela diminuição do número de progênies testadas.

Neste trabalho, os resultados sugerem que a seleção seja realizada, no médio ou baixo N, com base nos resultados da Tabela 4, em que se pode verificar que a contribuição dos efeitos aditivos e não aditivos foram similares. Resultados semelhantes, para o caráter produção de grãos, são reportados na literatura, com valor médio de 56%, variando de 22% até 87% (Aguilar et al., 2003; Fuzatto, 2003; Machado et al., 2006).

5 CONCLUSÕES

A produtividade média de grãos do ambiente com médio N foi 9,2% superior ao baixo N.

Não ocorreu alteração no comportamento dos topcrosses em diferentes doses de nitrogênio, para produtividade de grãos.

Os testadores não se diferenciaram na produtividade média de grãos dos topcrosses na média dos dois ambientes.

É possível selecionar progênies responsivas à aplicação de N e tolerantes à baixa disponibilidade de N, provenientes de híbridos comerciais.

A intensidade de seleção para topcrosses de progênies $S_{0.1}$ deve ser branda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. M.; CARLINI-GARCIA, L. A.; SILVA, A. R. da; SANTOS, M. F.; GARCIA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 83-89, jan./abr. 2003.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: FNP Consultorias e Agroinformativos, 2005. p. 373 – 394.

ATLIN, G. N.; FREY, K. J. Breeding crop varieties for low-input agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 4, n. 2, p. 53-58, Apr./June 1989.

AUSTIN, D. F.; LEE, M.; VELDBOOM, L. R. Genetic mapping in maize hybrid progeny across testers and generations: plant height and flowering. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 102, n. 1, p. 163-176, Jan. 2001.

AUSTIN, D. F.; LEE, M.; VELDBOOM, L. R.; HALLAUER, A. R. Genetic mapping in maize with hybrid progeny across testers and generations: grain yield and grain moisture. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 1, p. 30-39, Jan./Feb. 2000.

BALIGAR, V. C.; BENNETT, O. L. NPK-fertilizer efficiency - a situation analysis for the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 10, n. 2, p. 147-164, June 1986.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D.; BURNQUIST, W. L.; BRESSIANI, J. A.; SILVA, F. L. da. Análise dialélica em clones de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 199-206, abr./jun. 2003.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma, 2002. 369 p.

BERNARDO, R. Correlation between testcross performance of lines at early and late selfing generations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, n. 1, p. 17-21, Jan. 1991.

BERNARDO, R. Relationship between single-cross performance and molecular marker heterozygosity. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 83, n. 5, p. 628-634, Mar. 1992a.

BERNARDO, R. Retention of genetically lines during early-generation testcrossing of maize. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 4, p. 933-937, July/Aug. 1992b.

BLAIR, G. J. Nutrient efficiency: what to we really mean. In: RANDALL, P. J.; DELHAIZE, E.; RICHARD, R. A.; MUNNS, R. **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 205-213.

BLAIR, G. J.; CORDERO, S. The phosphorus efficiency of three annual legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 50, n. 1/2, p. 387-398, Dec. 1978.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 65-80, Jan./Mar. 1996.

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

DANGL, J. L.; DIETRICH, R. A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1044-1100.

DAWSON, J. C.; MURPHY, K. M.; JONES, S. S. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. **Euphytica**, Dordrecht, v. 160, n. 2, p. 143-154, Mar. 2008.

DECHEN, A. R.; FURLANI, A. M. C.; FURLANI, P. R. Tolerância e adaptação de plantas aos estresses nutricionais. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 183-204.

DUVICK, D. N. Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. **Maydica**, Rome, v. 37, n. 1, p. 69-79, Jan./Mar. 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 94., 1993, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p. 142-159.

FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 1709-1712, dez. 1982.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. England: Longman, 1996. 464 p.

FERREIRA, D. F.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P. An adaptation of Griffing's method IV of complete diallel cross analysis for experiments repeated in several environments. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 16, n.3, p. 357-366, set./nov. 1993.

FIDELIS, R. R.; MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C. dos; GALVÃO, J. C. C.; PELUZIO, J. M.; LIMA, S. O. Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 147-153, jul./set. 2007.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars: I, grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 29, n. 5, p. 897-912, Sept./Oct. 1978.

FUZATTO, S. R. **Dialelo parcial circulante interpopulacional em milho (Zea mays L.)**: efeito do número(s) de cruzamentos. 2003. 131 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

GALLAIS, A.; HIREL, B. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 396, p. 295-306, Mar. 2004.

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

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. Berlin: Springer Verlag, 1983. p. 453-480.

GERNER, H.; HARRIS, G. The use and supply of fertilizers in sub-Saharan Africa. In: VAN, R. H.; PRINS, W. H. (Ed.) **The role of plant nutrients for sustainable crop production in Sub-Saharan Africa**. Leidschendam: Vereniging van Kunstmest Producenten, 1993. p. 107-126.

GHOSH, D. K.; BISWAS, P. C. Complete diallel crosses plans through balanced incomplete block designs. **Journal of Applied Statistics**, Hants, v. 30, n. 6, p. 697-708, July 2003.

GRIFFING, B. A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 6, p. 463-493, June 1956.

GUIMARÃES, L. J. M. **Caracterização de genótipos de milho desenvolvidos sob estresse de nitrogênio e herança da eficiência de uso deste nutriente**. 2006. 110 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

HALLAUER, A. R.; LOPEZ-PEREZ, E. Comparisons among testers for evaluating lines of corn. In: ANNUAL CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 34., 1979, Chicago. **Proceeding...** Chicago: Seed Trade Association, 1979. p. 57-75.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2. ed. Ames: Iowa State University, 1988. 468 p.

HAMBLIN, J.; ZIMMERMANN, M. J. O. Breeding common bean for yield in mixtures. **Plant Breeding Reviews**, Connecticut, v. 4, n. 1, p. 45-72, Jan./Dec. 1986.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, Baltimore, v. 39, n. 6, p. 789-809, June 1954.

HIREL, B.; GOUIS, J. L.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 9, p. 2369-2387, Sept. 2007.

KELLER, K. R. A comparison involving the number of, and relationship between testers in evaluating inbred lines of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 41, n. 2, p. 323-331, Mar./Apr. 1949.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, n. 1, p. 192-194, Jan./Feb. 1985.

LIMA, M. L. A.; SOUZA JÚNIOR, C. L.; BENTO, D. A. V.; SOUZA, A. P.; CARLINI GARCIA, L. A. Mapping QTL for grain yield and plant traits in a tropical maize population. **Molecular Breeding**, Wageningen, v. 17, n. 3, p. 227-239, May/June 2006.

MACHADO, J. C.; SOUZA, J. C. de; LIMA, J. L.; REIS, M. C. dos. Capacidade de combinação entre híbridos de milho no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26., 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

MAJEROWICZ, N.; PEREIRA, J. M. S.; MEDICI, L. O.; BISON, O.; PEREIRA, M. B.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Estudo da eficiência de uso do nitrogênio em variedades locais e melhoradas de milho. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 129-136, abr./jun. 2002.

MALAVOLTA, E.; AMARAL, F. A. L. Nutrition efficiency of 104 bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.). In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON PLANT ANALYSIS AND FERTILIZER PROBLEMS, 8., 1978, Aukland. **Proceeding...** Aukland: Department Scientific & Industrial Research, 1978. v. 2, p. 313-317.

MANSKE, G. G. B.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; VLEK, P. L. G. Techniques for measuring genetic diversity in Roots. In: REYNOLDS, M. P.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; MCNAB, A. **Application of physiology in wheat breeding**. México: CIMMYT, 2001. 240 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic, 1995. 889 p.

MEDICI, L. O.; PEREIRA, M. B.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. de. Identification of maize lines with contrasting responses to applied nitrogen. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 28, n. 5, p. 903-915, May 2005.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-64, May/June 1982.

- MONNEVEUX, P.; ZAIDI, P. H.; SANCHES, C. Population density and low nitrogen affects yield: associated traits in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 1, p. 535-545, Jan./Feb. 2005.
- O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S.; CALDWELL, B. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 6, p. 1660-1667, Nov./Dec. 2004.
- RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 300 p.
- RAPOSO, F. V.; RAMALHO, M. A. P.; RIBEIRO, P. H. E. Alterations in heterosis of maize populations derived from single -cross hybrids after a reciprocal recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 4, n. 1, p. 74-80, jan./mar. 2004.
- RAWLINGS, J. O.; THOMPSON, D. L. Performance level as criterion for the choice of maize testers. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 217-220, Jan./Feb. 1962.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizante em Minas Gerais**. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- RISSI, R.; HALLAUER, A. R. Evaluation of four testers for evaluating maize (*Zea mays* L.) lines in a hybrid development program. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 2, p. 467-481, jun. 1991.
- SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação de coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 683-686, jun. 1995.
- SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D.; ZANUNCIO, J. C.; PEREIRA, P. R. G.; FERRÃO, R. G. Avaliação de métodos de correção do estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1011-1018, ago. 2001.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, Mar. 1981.

SINGH, S. P. Drought resistance in the race durango dry bean landraces and cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 6, p. 1219-1225, Nov./Dec. 2007.

SKALSKY, S. A.; JACOBS, J. J.; MENKHAUS, D. J.; STEVENS, W. B. Impact of fuel and nitrogen prices on profitability of selected crops: a case of study. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 4, p. 1161-1165, July/Ago. 2008.

SMITH, O. S. Covariance between line per se and testcross performance. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 3, p. 540-543, May/June 1962.

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

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 5, p.137-214.

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

ANEXOS

	Página
TABELA 1A Esquema das análises individuais por doses e conjunta envolvendo dose alta e baixa de N, com as respectivas esperanças dos quadrados médios	53
TABELA 2A Esquema de análise dialéctica e esperança dos quadrados médios, com respectivos testes de F.....	54

TABELA 1A Esquema das análises de variâncias individuais por doses e conjunta, envolvendo as duas de N, com as respectivas esperanças dos quadrados médios E(QM) e graus de liberdade (GL).

FV	Análises individuais		
	GL	QM	E(QM)
Blocos	2		
Tratamentos (T)	143		
Topcrosses (TC)	133	Q ₁	$\sigma^2_{ei} + r\sigma^2_{pi}$
TC t ₁	66	Q ₂	$\sigma^2_{ei} + r\sigma^2_{p1i}$
TC t ₂	66	Q ₃	$\sigma^2_{ei} + r\sigma^2_{p2i}$
TC T ₁ vs TC T ₂	1		
Testemunhas (Tm)	9	Q ₄	
Tm vs TC	1		
Resíduo	-	Q ₅	σ^2_{ei}
Análises conjuntas			
Bloco/doses	4		
Doses(N)	1		
Tratamentos(T)	143		
Topcrosses(TC)	133	Q ₆	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{dp} + rl\sigma^2_p$
TC t ₁	66	Q ₇	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{dp} + rl\sigma^2_{p1}$
TC t ₂	66	Q ₈	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{dp} + rl\sigma^2_{p2}$
TC t ₁ vs TC t ₂	1		
Testemunha(Tm)	9		
TC vs Tm	1		
T x N	143		
TC x N	133	Q ₉	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{dp}$
TC t ₁ x N	66	Q ₁₀	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{dp1}$
TC t ₂ x N	66	Q ₁₁	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{dp2}$
TC t ₁ vs TC t ₂ x N	1		
Tm x N	9		
TC vs Tm x N	1		
Resíduo	-	Q ₁₂	σ^2_e

σ^2_{ei} : variância ambiental na dose i; σ^2_{pi} : variância genética entre topcrosses na dose i; σ^2_{p1i} : variância genética entre topcrosses do testador 1 na dose i; σ^2_{p2i} : variância genética entre topcrosses do testador 2 na dose i; σ^2_e : variância ambiental na média conjunta; σ^2_p : variância genética entre topcrosses na média conjunta; σ^2_{p1} : variância genética entre topcrosses do testador 1 na média conjunta; σ^2_{p2} : variância genética entre topcrosses do testador 2 na média conjunta; σ^2_{dp} : variância da interação topcrosses x doses; r: números de repetições; l: número de doses.

TABELA 2A Esquema de análise dialélica conjunta, modelo 4 Griffing, com suas respectivas fontes de variação (FV) e seus respectivos graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM), esperança dos quadrados médios E (QM) e teste F de topcross de milho avaliado em ambientes com diferentes doses de N.

FV	GL	QM	E(QM)	F
Doses (N)	1	Q ₁	$\sigma_e^2 + r\sigma_N^2$	Q ₁ / Q ₁₀
<i>Topcrosses</i> (TC)	133	Q ₂	$\sigma_e^2 + r\sigma_{TCN}^2 + rl\sigma_{TC}^2$	Q ₂ / Q ₆
CGC (Test.)	1	Q ₃	$\sigma_e^2 + r\sigma_{TCN}^2 + rl\sigma_{CGC(Test)}^2$	Q ₃ / Q ₆
CGC (Prog.)	66	Q ₄	$\sigma_e^2 + r\sigma_{TCN}^2 + rl\sigma_{CGC(Prog)}^2$	Q ₄ / Q ₆
CEC Test x Prog	66	Q ₅	$\sigma_e^2 + r\sigma_{TCN}^2 + rl\sigma_{CEC}^2$	Q ₅ / Q ₆
TC x N	133	Q ₆	$\sigma_e^2 + r\sigma_{TCN}^2$	Q ₆ / Q ₁₀
CGC (Test) x N	1	Q ₇	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CGC(Test)N}^2$	Q ₇ / Q ₁₀
CGC (Prog) x N	66	Q ₈	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CGC(Prog)N}^2$	Q ₈ / Q ₁₀
CEC(Test x Prog)xN	66	Q ₉	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CECN}^2$	Q ₉ / Q ₁₀
Resíduo	536	Q ₁₀	σ_e^2	

r: número de repetição; l: número de doses;