

# Capacidade Combinatória de Genótipos de Milho Contrastantes Sob Baixa e Alta Disponibilidade de Nitrogênio no Solo

Amanda Oliveira Martins<sup>1</sup>, Paulo César Magalhães<sup>2</sup>, Lauro José Moreira Guimarães<sup>2</sup>, Thiago Corrêa de Souza<sup>3</sup>, Eliemar Campostrini<sup>1</sup>

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi estimar a capacidade combinatória de seis linhagens de milho, em esquema de dialelo completo, sob baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo, com intuito de indicar genótipos para futura utilização no programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo. Para tanto, foi realizado um dialelo completo entre seis linhagens contrastantes quanto à eficiência do uso de nitrogênio, cujas combinações híbridas foram avaliadas em campo na Embrapa Milho e Sorgo, em ambientes com baixa (12 kg ha<sup>-1</sup>) e alta (120 kg ha<sup>-1</sup>) adubação nitrogenada. O delineamento foi em blocos casualizados, com três repetições. As variáveis avaliadas foram área foliar, teor de nitrogênio foliar e na planta, altura de planta e de espiga, e produtividade de grãos. As linhagens L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub> foram consideradas promissoras para o programa de melhoramento visando à eficiência do uso de nitrogênio, pois apresentaram maiores valores de capacidade geral de combinação para a maioria das variáveis. Verificou-se maior importância dos efeitos gênicos não-aditivos para produtividade de grãos. Os híbridos L<sub>1</sub>xL<sub>5</sub>, L<sub>1</sub>xL<sub>6</sub> e L<sub>3</sub>xL<sub>4</sub> seriam os mais indicados para serem utilizados em programas de seleção genética visando à alta eficiência na utilização do nitrogênio.

## Introdução

A deficiência de nitrogênio (N) é um fator limitante para o desenvolvimento das plantas, e o milho (*Zea mays* L.) é uma cultura particularmente sensível a esse estresse, que afeta bastante os processos fotossintéticos e enchimento de grãos. Portanto, a adaptação de plantas a estresses abióticos, como o de nitrogênio, constitui uma das alternativas para redução de custos com adubação e de impactos ambientais de atividades agrícolas (Sinebo et al. 2004). Dessa forma, o melhor entendimento dos mecanismos envolvidos no processo juntamente com o melhoramento genético contribuirá para a geração de cultivares produtivas em condições de baixa disponibilidade de nitrogênio no solo.

Os cruzamentos dialélicos são amplamente utilizados em quase todas as espécies cultivadas em razão do grande número de informações genéticas que podem oferecer como inferências sobre a capacidade combinatória de genitores e híbridos (Cruz et al. 2004, Bordallo et al. 2005). A capacidade geral de combinação (CGC), que consiste na resposta média de um genitor em uma série de cruzamentos, está associada aos efeitos aditivos dos alelos, e a capacidade específica de combinação (CEC), que representa o desvio do comportamento esperado de um dado genótipo, tomando como base as capacidades gerais de combinação de seus parentais, é relativa aos efeitos não-aditivos de dominância e epistasia (Vencovsky 1987, Hallauer e Miranda Filho 1988, Ramalho et al. 1993). O estudo da capacidade combinatória auxilia o melhorista na identificação de combinações híbridas superiores, tanto para aproveitamento imediato na forma de híbridos F<sub>1</sub> comerciais, como para a escolha de genitores para formação de populações base de alto potencial genético (Cruz et al. 2004). Por meio deste trabalho, objetivou-se estimar a capacidade de combinação de seis linhagens de milho, em esquema de dialelo completo, sob baixa e alta disponibilidade de nitrogênio no solo, com o intuito de indicar genótipos eficientes na utilização deste nutriente para o programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo.

## Material e Métodos

O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG (19°28'00''S, 44°15'08''W), cujo clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AW (savana com inverno seco), no ano de 2007. Foram avaliados 15 híbridos obtidos de cruzamentos em esquema dialélico completo entre seis linhagens de milho, em S<sub>6</sub>, derivadas da população CMS 28 e contrastantes quanto à eficiência de uso de nitrogênio. As linhagens L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> são caracterizadas como eficientes no uso de N e as linhagens L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> e L<sub>6</sub> são caracterizadas como ineficientes no uso de N.

<sup>1</sup> Doutoranda e Pesquisador da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF/ CCTA/ LMGV), Avenida Alberto Lamego, 2000, Horto, 28.015-620, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil E-mail: [aom@uenf.br](mailto:aom@uenf.br); [campost@uenf.br](mailto:campost@uenf.br), respectivamente.

<sup>2</sup> Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Empresa Brasileira Agropecuária, Rodovia MG 424, km 65, Zona Rural, 35.701-970, Sete Lagoas, MG, Brasil.

<sup>3</sup> Doutorando da Universidade Federal de Lavras, caixa postal 37, 37.200-000, Lavras, MG, Brasil.

As avaliações foram realizadas em ambientes contrastantes quanto à disponibilidade de nitrogênio no solo, sendo que em baixo nitrogênio foram aplicados apenas 12 kg ha<sup>-1</sup> de N, na semeadura, enquanto que no alto nitrogênio foram aplicados 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo 12 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura mais duas adubações de cobertura com 54 kg ha<sup>-1</sup> de N, cada.

As adubações de cobertura foram realizadas quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas expandidas, utilizando-se uréia. Ambos os ambientes receberam na semeadura uma adubação de 300 kg.ha<sup>-1</sup> da fórmula 04-30-16, como fontes de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 15 x 2, considerando-se genótipos e níveis de N, com três repetições. Cada parcela foi constituída por duas linhas de cinco metros, com espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. As análises de solo foram feitas com amostras retiradas em duas profundidades (0 a 20 e 20 a 40 cm), que apresentaram para o ambiente de baixo e alto N, respectivamente: 5,40 e 5,30 de pH em água; 22,27 e 36,81 de mg dm<sup>-3</sup> de P; 97 e 166 mg dm<sup>-3</sup> de K; 0,25 e 0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>; 3,09 e 4,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 0,63 e 0,81 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>; 2,98 e 3,02 dag kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica.

A área foliar fotossinteticamente ativa (AF) foi determinada, no florescimento, por meio de um medidor de esteira modelo LI-3100, utilizando três plantas por parcela. Na colheita foram feitas as determinações do teor de nitrogênio foliar (NF) pelo método de Nessler (Jackson 1965), nitrogênio na parte aérea (NP) pelo método Kjeldahl (Silva 1999), altura da planta (AP) quantificada em cm, do nível do solo à inserção da folha bandeira, usando a média de cinco plantas por parcela, e altura de espiga (AE) pela quantificação da distância, em cm, do nível do solo ao nó de inserção da espiga superior, obtida da média de três plantas competitivas por parcela. A produtividade de grãos (PG) foi determinada por meio da pesagem dos grãos de três plantas por parcela, com correção para 13% de umidade, expressa em g.planta<sup>-1</sup>. Para a análise do dialeto balanceado foram utilizados os recursos computacionais do Programa Genes (Cruz 2005). Foram realizadas as análises dialélicas individual e conjunta adotando-se o método 4 proposto por Griffing (1956), tendo-se considerado apenas a geração F<sub>1</sub>.

## Resultados e Discussão

As variáveis analisadas podem ser agrupadas de acordo com as significâncias dos efeitos das capacidades geral de combinação e específica de combinação (CGC e CEC), nos níveis baixo e alto de nitrogênio. Para as variáveis AF e NF houve significância para os efeitos da CGC nos ambientes de baixa e alta disponibilidade de N. Para todas as variáveis avaliadas, exceto produtividade de grãos, não foram observados efeitos significativos para interação da CGC e CEC com os níveis de N. Pode-se observar que a variável nitrogênio da parte aérea (folhas+colmos) não apresentou efeito significativo para CGC nos dois níveis de N, entretanto, foi observada significância para CEC no ambiente de alto N. Para AP e AE os efeitos da CGC foram significativos nos dois níveis de N, não apresentando, para ambas as variáveis, interação da CGC com os níveis de N. Já para PG foi detectada significância para os efeitos da CGC nos dois níveis de N, da CEC no nível de alto N, e também para interação da CGC com os níveis de N, indicando importância dos efeitos gênicos aditivos e não-aditivos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise dialélica conjunta para os quinze híbridos derivados dos cruzamentos entre seis linhagens de milho da população CMS 28, em nível baixo e alto de nitrogênio (N).

Variável <sup>1/</sup>	Quadrados Médios						Média dos quadrados dos efeitos						
	CGC			CEC			Resíduo			CGC		CEC	
	Baixo N	Alto N	CGCx Amb	Baixo N	Alto N	CEC x Amb	Baixo N	Alto N	Comb	Baixo N	Alto N	Baixo N	Alto N
AF	0,0116**	0,0060 <sup>ns</sup>	0,0021 <sup>ns</sup>	0,0017 <sup>ns</sup>	0,0028 <sup>ns</sup>	0,0020 <sup>ns</sup>	0,0023	0,0036	0,0029	0,0008	0,0002	-0,0002	-0,0003
NF	14,5819 <sup>ns</sup>	15,4580**	8,8395 <sup>ns</sup>	3,9980 <sup>ns</sup>	4,4580 <sup>ns</sup>	3,2658 <sup>ns</sup>	6,622	4,0709	5,3464	0,6633	0,9489	-0,8747	0,1290
NP	0,0140 <sup>ns</sup>	0,0131 <sup>ns</sup>	0,0045 <sup>ns</sup>	0,0189 <sup>ns</sup>	0,0182*	0,0113 <sup>ns</sup>	0,0276	0,0065	0,0171	-0,0011	0,0006	-0,0029	0,0039
AP	1211,7000**	1313,9930**	68,8015 <sup>ns</sup>	92,7000 <sup>ns</sup>	80,1337 <sup>ns</sup>	44,4218 <sup>ns</sup>	65,5178	56,4531	60,9854	95,5152	104,7950	9,0607	7,8935
AE	309,1050**	463,6460**	78,0205 <sup>ns</sup>	55,7937 <sup>ns</sup>	51,8020 <sup>ns</sup>	26,4608 <sup>ns</sup>	36,8182	42,8175	39,8178	22,6906	35,0690	6,3252	2,9948
PG	636,7850*	779,7990**	558,0685*	226,1137 <sup>ns</sup>	350,5597*	211,6248 <sup>ns</sup>	227,1651	135,5127	181,3389	34,1350	53,6905	69,1733	71,6823
GL	5			9			28			56			

<sup>1/</sup> AF= área foliar; NF = nitrogênio foliar; NP = nitrogênio da parte aérea (folhas+colmos); AP = altura de planta; AE = altura de espiga; e PG = produção de grãos.

\*, \*\* - Significativos aos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup> - Não significativo

Em relação aos efeitos quadráticos de CGC e CEC, para as variáveis AF, NF, AP e AE nos dois níveis de N, houve predominância dos efeitos gênicos aditivos. Cruz et al. (2004) relatam que essa situação pode proporcionar ganhos para estas características, quando os genitores são utilizados em programas de melhoramento intrapopulacional. Por outro lado, para as variáveis NP em alto N e PG, os efeitos quadráticos

relativos à CEC foram superiores àqueles de aditividade, o que indica que o melhoramento envolvendo hibridações, explorando o efeito da heterose, poderá propiciar ganhos superiores (Tabela 1).

A significância dos efeitos da CGC indica que pelo menos um dos híbridos difere dos demais quanto à quantidade de genes favoráveis com efeitos aditivos. A significância da CEC indica, por sua vez, que existe complementação entre os híbridos nos *loci* com algum grau de dominância (Hallauer e Miranda Filho 1988). A interação da CGC com os níveis de N indica que não há consistência entre os efeitos observados em cada nível, ou seja, um parental pode apresentar alta frequência de alelos favoráveis em um determinado nível de N, mas pode não apresentar a mesma superioridade no outro nível.

Para as variáveis com interação não significativa da CGC e CEC com os níveis de N, seus efeitos foram calculados na média dos dois níveis de N (Tabela 2 e 4). Na média dos ambientes, a linhagem L<sub>2</sub> apresentou os maiores valores para os efeitos de CGC para nitrogênio foliar, nitrogênio da parte aérea (folhas+colmos) e altura de planta. Para as variáveis, área foliar e altura de espiga, esta linhagem mostrou também efeitos positivos e de altas magnitudes, indicando possuir alta quantidade de alelos favoráveis para essas características. Considerando a área foliar, a linhagem L<sub>1</sub> apresentou o maior valor positivo de CGC (0,038), contribuindo para aumentar a expressão dessa característica. Portanto, as linhagens L<sub>1</sub> e L<sub>2</sub> podem ser indicadas para o programa de melhoramento visando à eficiência do uso de N, pelos maiores valores de capacidade geral de combinação para a maioria das variáveis avaliadas. Em alusão à variável altura de planta, essas linhagens não revelaram contribuição para a redução do porte das plantas, sendo que esta questão deve ser considerada uma vez que é desejável a obtenção de cultivares de milho de porte baixo.

**Tabela 2.** Efeitos de CGC na média dos níveis baixo e alto de nitrogênio, para as variáveis que não apresentaram significâncias para a interação CGCxAmb: área foliar (AF, em m), nitrogênio foliar (NF, em g kg<sup>-1</sup>), nitrogênio da parte aérea (NP, em %), altura de planta (AP, em cm), altura da 1ª espiga (AE, cm).

Linhagem	AF	NF	NP	AP	AE
L1	0,038	-1,158	-0,03	6,12	3,121
L2	0,015	1,517	0,037	12,208	3,146
L3	0,002	0,167	0,015	-5,867	0,621
L4	-0,005	0,104	-0,045	-2,317	-0,079
L5	-0,013	-0,833	0,02	5,75	3,72
L6	-0,037	0,204	0,007	-15,892	-10,529

Os efeitos da CGC foram calculados separadamente para cada nível de N, para a variável produtividade de grãos por apresentar interação significativa da CGC com os níveis de N (Tabela 3). Para essa variável, a linhagem L<sub>2</sub>, previamente classificada como eficiente no uso de N, foi a que apresentou maior efeito para a CGC em baixo N. As linhagens L<sub>1</sub> e L<sub>3</sub> se destacaram pelos valores elevados em alto N. Por sua vez, as linhagens L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> e L<sub>6</sub> mostraram efeitos negativos e de altas magnitudes para CGC da produtividade de grãos em ambos os níveis de N, demonstrando que possuem baixas frequências de alelos favoráveis para esta característica.

**Tabela 3.** Efeitos de CGC de linhagens em ambientes de baixa e alta disponibilidade de nitrogênio, para a variável produtividade de grãos (PG, em g planta<sup>-1</sup>).

Linhagem	PG	
	Baixo N	Alto N
L1	4,608	9,875
L2	11,083	-7,2
L3	0,433	10,225
L4	-8,217	-6,2
L5	-0,617	-1,1
L6	-7,292	-5,6

Os efeitos da CEC (Tabela 4) foram calculados na média dos ambientes, pois não houve interação entre CEC e níveis de N para qualquer das variáveis avaliadas. Segundo Cruz et al. (2004) as combinações híbridas mais promissoras devem apresentar elevadas estimativas de CEC e serem derivadas de pelo menos um genitor que tenha alto efeito de CGC para a variável avaliada. Quanto maior a magnitude dos valores da CEC, melhor é a combinação híbrida, pois indica desvios de dominância favoráveis. Com base nos resultados apresentados na Tabela 4, dentre os híbridos, destacaram-se as combinações L<sub>1</sub>xL<sub>6</sub> e L<sub>3</sub>xL<sub>4</sub> para AF, L<sub>2</sub>xL<sub>4</sub> para NF. Para as variáveis avaliadas durante a colheita, observou-se superioridade para os híbridos L<sub>3</sub>xL<sub>6</sub> e L<sub>1</sub>xL<sub>5</sub> para nitrogênio na parte aérea (folhas+colmos), L<sub>3</sub>xL<sub>4</sub> e L<sub>1</sub>xL<sub>2</sub> para altura de planta e L<sub>3</sub>xL<sub>4</sub> e L<sub>1</sub>xL<sub>6</sub> para altura da inserção da primeira espiga e L<sub>1</sub>xL<sub>5</sub> para produtividade de grãos.

**Tabela 4.** Efeitos da CEC na média dos níveis baixo e alto de nitrogênio, para as variáveis área foliar (AF, em m), nitrogênio foliar (NF, em g kg<sup>-1</sup>), nitrogênio da parte aérea (NP, em %), altura de planta (AP, em cm), altura de espiga (AE, em cm) e produtividade de grãos (PG, em g planta<sup>-1</sup>).

Híbrido	AF	NF	NP	AP	AE	PG
L <sub>1</sub> xL <sub>2</sub>	-0,002	-0,305	-0,021	4,217	1,51	-10,33
L <sub>1</sub> xL <sub>3</sub>	-0,03	0,395	-0,054	-8,408	-6,315	-8,217
L <sub>1</sub> xL <sub>4</sub>	-0,007	-1,043	0,046	0,442	-0,565	3,67
L <sub>1</sub> xL <sub>5</sub>	0,01	-0,105	0,066	-0,17	-0,035	10,97
L <sub>1</sub> xL <sub>6</sub>	0,029	1,058	-0,036	3,917	5,335	3,908
L <sub>2</sub> xL <sub>3</sub>	-0,001	-0,53	0,034	-2,145	0,26	7,733
L <sub>2</sub> xL <sub>4</sub>	0,016	1,533	-0,041	-1,495	-1,74	-0,73
L <sub>2</sub> xL <sub>5</sub>	-0,011	-0,43	0,034	1,442	0,51	-4,38
L <sub>2</sub> xL <sub>6</sub>	-0,002	-0,267	-0,007	-2,02	-0,54	7,708
L <sub>3</sub> xL <sub>4</sub>	0,024	-0,367	-0,034	6,68	5,835	-0,417
L <sub>3</sub> xL <sub>5</sub>	0,017	1,22	-0,059	3,418	1,735	0,433
L <sub>3</sub> xL <sub>6</sub>	-0,01	-0,717	0,114	0,455	-1,515	0,47
L <sub>4</sub> xL <sub>5</sub>	-0,016	-0,367	0,03	-3,983	-1,265	1,27
L <sub>4</sub> xL <sub>6</sub>	-0,017	0,245	-0,001	-1,645	-2,265	-3,793
L <sub>5</sub> xL <sub>6</sub>	0	-0,317	-0,071	-0,708	-1,015	-8,292

Os híbridos L<sub>1</sub>xL<sub>5</sub>, L<sub>1</sub>xL<sub>6</sub> e L<sub>3</sub>xL<sub>4</sub> podem ser considerados bons genótipos para serem utilizados em programas de seleção genética visando à alta eficiência na utilização do nitrogênio. Verificou-se maior importância dos efeitos gênicos não-aditivos para produtividade de grãos. De modo geral, na maioria das variáveis, os maiores valores encontrados foram dos híbridos derivados de cruzamentos que envolveram pelo menos uma linhagem eficiente no uso de N. Observou-se que os híbridos derivados de cruzamentos entre linhagens ineficientes apresentaram valores negativos para a maioria das variáveis avaliadas.

## Referências

- Bordallo PN, Pereira MG, Amaral Júnior AT do, Gabriel APC (2005) Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, **23**(1): 123-127.
- Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS (2004) **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 480p.
- Cruz CD (2005) Programa GENES. **Aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV. Versão 2005.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal Biology Science**, East Melbourn, 9:462-493.
- Hallauer AR, Miranda Filho JB de (1988) **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University, 468p.

Jackson ML (1965) **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 498p.

Ramalho, M.P.A., Santos, J.B. dos, Zimmermann, M.J.O. (1993) **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao feijoeiro**. Goiânia: UFG, 271p.

Silva FC (1999) **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. 1.ed. Brasília: Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, 370p.

Sinebo W, Gretzmacher R, Edelbauer A (2004) Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian barley. **Field Crops Research** **85**:43–60.

Vencovsky R (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani E; Viégas GP [Ed.]. **Melhoramento e produção do milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, p.137-214.