



# Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo

Gustavo André Colombo<sup>1</sup>

Aurélio Vaz-de-Melo<sup>2</sup>

André Silva de Souza<sup>3</sup>

José Guilherme Carneiro Silva<sup>4</sup>

## Resumo

Recentes estimativas apontam que o estresse nutricional que aflige áreas agrícolas ao longo do mundo pode levar à extinção precoce de reservas naturais de fósforo, de forma que o desenvolvimento de genótipos de milho eficientes no uso do nutriente terá papel fundamental na agricultura. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar, por meio de cruzamentos dialélicos, as capacidades geral (CGC) e específica (CEC) da combinação de oito híbridos comerciais de milho, em níveis distintos de adubação fosfatada, com o intuito de identificar combinações híbridas promissoras para as condições edafoclimáticas das regiões sul do estado do Tocantins. Os oito híbridos comerciais e suas 28 combinações híbridas foram avaliados no ano agrícola de 2011/2012, em ambientes denominados baixo fósforo e alto fósforo; foram determinadas a produção de grãos (PROD), a eficiência no uso do fósforo (EUP) e a resposta ao uso do fósforo (RUP). Observou-se maior contribuição da ação gênica não aditiva no controle dos atributos. Apenas o genitor AG 1051 apresentou estimativas positivas de CGC para todas as características avaliadas em ambos os ambientes de cultivo, sendo descrito como promissor para compor hibridações que visem à EUP, RUP e PROD, independente do nível de adubação fosfatada proposto. De acordo com as estimativas de CEC para PROD em baixo fósforo e EUP, a combinação híbrida AG 2040 x P30F53 é classificada como promissora. Da mesma forma, a combinação híbrida BM 2202 x P30F80 é classificada como promissora para PROD em alto fósforo e RUP.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Dialelo. Melhoramento genético. Estresse abiótico. Eficiência nutricional.

## Introdução

A seleção de genitores é uma das etapas primordiais em um programa de melhoramento de plantas, pois são nesses genitores que devem ser concentrados os alelos favoráveis para as características de interesse, permitindo a obtenção de indivíduos superiores (OLIBONI et al., 2012). Em função

1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, docente, [gustavo.colombo@ifam.edu.br](mailto:gustavo.colombo@ifam.edu.br). Estrada dos Moraes, s/n, Maués, Amazonas.

2 Universidade Federal do Tocantins, docente, [vazdemelo@uft.edu.br](mailto:vazdemelo@uft.edu.br).

3 Evidência Agrícola LTDA, engenheiro agrônomo, [andresousa0@hotmail.com](mailto:andresousa0@hotmail.com).

4 GDM Genética do Brasil LTDA, engenheiro agrônomo, [jgsilva@gdmseeds.com](mailto:jgsilva@gdmseeds.com).

disto, tem-se cada vez mais utilizado ferramentas que facilitam a coleta de informações a respeito da população-base em estudo (SOUZA NETO et al., 2015).

Uma das metodologias mais eficientes e comumente utilizadas em programas de melhoramento genético é a análise dialélica, a qual propicia estimativas de parâmetros úteis à seleção de genitores para hibridação e ao entendimento da ação dos genes envolvidos na determinação dos caracteres (CRUZ et al., 2012). Na análise dialélica é estimada a capacidade geral de combinação (CGC) do genitor, indicativa de quanto este difere da média geral da população dialélica, na qual os maiores valores referentes à CGC, positivos ou negativos, indicam maior divergência, superior ou inferior, em relação aos demais genitores. Por outro lado, a capacidade específica de combinação (CEC) indica casos em que certas combinações híbridas se mostram superiores ou inferiores ao que seria esperado com base na performance média dos genitores que compõem o referido híbrido (BORDALLO et al., 2005).

O desenvolvimento de cultivares de milho deve ser baseado na interação existente entre genótipos e o ambiente de cultivo, principalmente para as várias condições edafoclimáticas, uma vez que, segundo estimativas, 60% dos produtores agrícolas em todo o mundo cultivam suas áreas sob algum tipo de estresse abiótico (TURNER; RAO, 2013; COIMBRA et al., 2014). Para Whang et al. (2010), as reservas de fósforo mais facilmente exploradas poderão ser extintas ainda neste século, de forma que o desenvolvimento de plantas mais eficientes no uso do nutriente terá papel fundamental na agricultura nos próximos anos.

São vários os conceitos de eficiência no uso do fósforo (EUP), geralmente baseados na relação entre taxas de aquisição do nutriente e produção de matéria seca e grãos, em condições de baixo ou alto suprimento do nutriente (PARENTONI; SOUZA-JÚNIOR, 2008). Segundo DoVale e Fritsche-Neto (2013), existe um déficit de informações consistentes para o direcionamento de programas de melhoramento voltados para condições de estresse de fósforo. Informações quanto aos efeitos gênicos predominantes, bem como a herança genética no controle de caracteres relacionados ao EUP em condições contrastantes de disponibilidade de fósforo, são fundamentais ao melhorista na escolha do método de seleção a ser utilizado.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar e identificar genitores e suas combinações híbridas promissoras quanto à eficiência e resposta ao uso do fósforo, assim como determinar os efeitos genéticos que controlam a herança da eficiência e resposta nutricional no milho.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido na safra 2011/2012, na Universidade Federal do Tocantins - UFT, localizada no município de Gurupi (TO), em altitude de 280 m, na localização de 11°43'45" de latitude Sul, 49°04'07" de latitude Oeste. Segundo Köppen (1948), a classificação climática regional é do tipo B1wA'a, úmido com moderada deficiência hídrica. A temperatura média anual é de 29,5 °C, com precipitação média anual de 1.804 mm.

O solo é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura arenosa, com as seguintes características físico-químicas: pH em água = 6,11; P (Mel) = 2,85 mg dm<sup>-3</sup>; K = 11,97 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 1,59 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 0,12 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 0 cmolc dm<sup>-3</sup>; H+Al = 3,50 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC(t) = 1,74 cmolc dm<sup>-3</sup>; V = 33,16%; MO = 1,18%, Textura: 72,1% de areia; 4,05% de silte e 23,83% de argila.

Foram semeadas em campo 28 combinações híbridas (híbridos F1s), oriundas da síntese de dialelo completo entre oito híbridos comerciais de milho, indicados ao cultivo nas condições eda-

foclimáticas do Tocantins, de acordo com o zoneamento agroclimático do milho (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA, 2016), oriundas de diferentes empresas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição dos híbridos comerciais de milho utilizados para a síntese do dialelo completo, no município de Gurupi (TO)

Híbridos	Empresa	Base Genética	Textura do Grão	Nível tecnológico
AG 2040	Monsanto/Agroceres	HD	SMDURO	Médio
AG 8060	Monsanto/Agroceres	HS	DURO	Alto
AG 1051	Monsanto/Agroceres	HD	DENTADO	Médio/alto
BM 2202	Sementes Biomatrix	HD	SMDENT	Médio/baixo
P30F53	Pioneer Sementes	HS	SMDURO	Alto
P30F80	Pioneer Sementes	HS	DURO	Alto
TRUCK	Syngenta Seeds	HT	SMDURO	Médio
IMPACTO	Syngenta Seeds	HS	DURO	Alto

Base Genética: HS – Híbrido Simples; HD – Híbrido Duplo; HT – Híbrido Triplo. Textura do Grão: SMDENT – Semidentado; SMDURO – Semiduro.

**Fonte:** Elaboração dos autores (2016).

O delineamento experimental utilizado foi o látice 6 x 6, com duas repetições, sendo avaliados 36 tratamentos (28 híbridos experimentais e 8 híbridos comerciais). As parcelas foram constituídas de duas fileiras de 4 metros com espaçamento de 0,7 metros entre fileiras. A semeadura foi realizada de forma a se obter 5 plantas por metro linear, o equivalente a um estande final de aproximadamente 71 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

As combinações híbridas foram avaliadas em dois ambientes contrastantes quanto à dose de fósforo, para a qual se estipulou a dose de 34 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para baixo fósforo e a dose de 170 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para alto fósforo. Foi utilizado o sistema convencional de preparo de solo. A adubação dos demais nutrientes utilizados foi baseada na análise química do solo, segundo Alvarez et al. (1999), sendo realizada manualmente no dia do plantio e aplicada diretamente no sulco.

Foi realizada a adubação de cobertura utilizando 150 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N), dividida em duas aplicações, a primeira (75 kg ha<sup>-1</sup>) quando a cultura alcançou o estágio de quatro folhas (V4) e a segunda (75 kg ha<sup>-1</sup>) no estágio de oito folhas (V8). Os demais tratamentos culturais foram realizados sempre que necessário, de acordo com as recomendações técnicas da cultura do milho (CRUZ et al., 2009).

Quando os grãos apresentaram estágio fenológico ½ leitoso e ½ farináceo (VELHO et al., 2006), duas plantas aleatórias dentro da parcela foram ceifadas rentes ao solo e posteriormente trituradas por completo. O material coletado foi acondicionado em estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas e, após apresentar peso constante, foi pesado para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) em gramas planta<sup>-1</sup>. Com a massa seca, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, com peneira de malha de 0,5 milímetro. E, por final, as amostras moídas foram submetidas à digestão sulfúrica, segundo metodologia adaptada de Tedesco et al. (1995), para obtenção dos teores fósforo (P) contidos na parte aérea dos híbridos de milho.

Uma vez obtidos os teores de fósforo na planta foram estimados os índices de eficiência e resposta ao uso do fósforo, baseados nas equações propostas por Silva (2012):

$$EUP = (CPNPb / PASb) \times MSb$$

e

$$RUP = (CPNPa / PASa) \times MSa$$

em que:

EUP: Eficiência no uso do fósforo;

CPNPb: Conteúdo de fósforo na planta em baixo P;

PASb: Fósforo aplicado no solo em baixo P;

MSb: Massa seca da parte aérea em baixo P;

RUP: Resposta ao uso do fósforo;

CPNPa: Conteúdo de fósforo na planta em alto P;

PASa: Fósforo aplicado no solo em alto P;

MSa: massa seca da parte aérea em alto P.

Após a maturação fisiológica dos grãos foi determinada a produtividade de grãos (PROD), obtida com a pesagem dos grãos debulhados da área útil da parcela, corrigidos para 13% de umidade e posteriormente convertidos os valores em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Em posse dos dados de PROD, EUP e RUP, foram estimados os efeitos de capacidade geral e específica de combinação, segundo metodologia proposta por Griffing (1956), método 2, utilizando progenitores e  $F_1$ s.

Todas as análises genéticas estatísticas foram realizadas utilizando o Aplicativo Computacional em Genética e Estatística – Programa Genes (CRUZ, 2007).

## Resultados e discussão

Para todos os atributos houve efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) da interação entre genótipos e ambientes (baixo e alto P), indicando que os efeitos dos genótipos e ambientes não explicam todas as variações encontradas, sendo realizados, neste caso, os desdobramentos (Tabela 2). Nos atributos, os fatores isolados também foram significativos ( $p \leq 0,01$ ). Verifica-se, portanto, a existência de variabilidade genética entre as médias dos genótipos tanto na presença da interação quanto em função dos fatores isolados. Com isso, pode-se inferir que os ambientes foram suficientemente contrastantes para identificar a variabilidade entre as médias dos genótipos.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância da produtividade de grãos (PROD), eficiência no uso de fósforo (EUP) e resposta ao uso do fósforo (RUP) em 28 combinações híbridas de milho e 8 híbridos comerciais, Gurupi-TO, 2011/2012

FV	GL	Quadrado Médio			
		PROD		EUP	RUP
		Baixo Fósforo	Alto fósforo		
Repetições	1	2825,02	40650,51	2266,79	2667,68
Blocos	10	47431,94	29683,15	863,55	360,54
Genótipos	35	1995331,39 **	2774244,41**	15950,68**	49460,36**
Erro	25	44540,27	48168,32	795,65	394,73
Média		6124,56	8671,44	189,41	543,16
CV (%)		5,44	4,51	14,89	8,65
Análise Conjunta					
Genótipos	35	2221995,45**			
Ambiente	1	233517110,74**			
G x A	35	2547580,35**			
Erro	50	46354,29			

\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Fonte:** Elaboração dos autores (2016).

Os coeficientes de variação observados estão dentro dos limites aceitáveis na experimentação agrícola, variando entre 4,51 e 14,89 %. De acordo com Pimentel-Gomes (2009), coeficientes de variação abaixo de 15% representam alta precisão experimental, além de alta confiabilidade das estimativas. Contudo, observa-se que no ambiente de baixo fósforo os CVs foram maiores em todos os atributos. É comum observar um aumento dos valores de CVs em ambientes que são submetidos a algum tipo de estresse, pois nestas condições os valores dos quadrados médios dos resíduos tendem a ser maiores e as médias geralmente menores; sendo o CV produto dessa equação, maiores valores serão observados. Resultados semelhantes foram observados por Soares et al. (2011), que relataram maiores valores de CVs em ambientes sob estresse.

Na Tabela 3 estão expressas as significâncias dos quadrados médios de CGC e CEC, as quais evidenciam a heterogeneidade dos efeitos da capacidade combinatória dos genótipos em relação à produção de grãos (PROD), eficiência no uso do fósforo (EUP) e resposta ao uso do fósforo (RUP). A CGC está relacionada com os efeitos genéticos aditivos e com a frequência de alelos desejáveis dos genitores, enquanto que a CEC refere-se ao desvio do comportamento do cruzamento em relação ao que seria esperado com base na capacidade geral de combinação dos genitores em função da ação gênica não aditiva, associada aos efeitos de dominância e epistasia (HALLAUER et al., 2010).

**Tabela 3.** Estimativa dos quadrados médios da capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) e suas interações, de 28 combinações híbridas de milho e 8 híbridos comerciais, considerando as análises dialélicas individuais realizadas em dois ambientes (baixo e alto P), Gurupi (TO), 2011/2012

FV	GL	Quadrado Médio			
		PROD		EUP	RUP
		Baixo fósforo	Alto fósforo		
Genótipos	35	1995331,42**	2774244,41**	15950,67**	49460,36**
CGC	7	918840,07**	1609820,62**	14080,52**	21300,42**
CEC	28	2264454,26**	3065350,35**	16418,22**	56500,34**
Análise Conjunta					
Genótipos	35	2221995,46 <sup>ns</sup>			
CGC	7	1396282,84 <sup>ns</sup>			
CEC	28	2428423,61 <sup>ns</sup>			
GEN x AMB	35	2547580,37**			
CGC x AMB	7	1132377,84**			
CEC x AMB	28	2901381,01**			

\*\* , \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. PROD: produção de grãos em kg ha<sup>-1</sup>; EUP: Eficiência no uso do fósforo; RUP: Resposta ao uso do fósforo. Baixo P (34 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e Alto P (170 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

**Fonte:** Elaboração dos autores (2016).

Com relação ao aspecto genético, as significâncias dos quadrados médios da CGC e CEC ratificam a importância de ambos os efeitos gênicos aditivos e não aditivos como causas da variação genética observada em todas as características. Tais resultados concordam com as observações de Coimbra et al. (2011), na qual os autores ressaltam a existência de variabilidade significativa tanto para efeitos gênicos aditivos (CGC) quanto não aditivos (CEC).

A julgar pelo valor do quadrado médio, pode-se afirmar que nesse conjunto de genitores os efeitos de CEC foram de maior importância que os de CGC, uma vez que o componente quadrático associado à CEC foi numericamente superior ao associado à CGC, de forma a realçar a maior contribuição da ação gênica não aditiva no controle das características estudadas. Esses resultados estão de acordo com Souza et al. (2009), que ao avaliarem a capacidade de combinação para produtividade de grãos de milho em ambientes com diferentes intensidades de estresses, apontaram a variação na expressão da característica como efeito predominante da ação gênica não aditiva. Tais implicações indicam que a seleção de linhagens, ainda nas primeiras gerações de autofecundação derivadas do dialelo, poderá não ser eficiente em razão da importância dos efeitos não aditivos, a qual deve ser realizada em gerações com maior grau de endogamia (HALLAUER et al., 2010). Fritsche-Neto et al. (2010), ao identificarem os efeitos que controlam a herança de caracteres associados à eficiência no uso do fósforo em milho, concluíram que os efeitos não aditivos têm maior importância para caracteres relacionados à eficiência no uso do fósforo, de modo que a seleção deve ser realizada nas combinações híbridas.

Mediante análise conjunta, observou-se a significância dos quadrados médios de CGC x AMB e CEC x AMB, em evidência à diferente resposta de genitores e híbridos, quando submetidos às condições de baixa e alta disponibilidade de fósforo. Tal resultado reitera a importância da seleção

ser realizada em ambientes específicos, uma vez que os alelos que controlam a expressão de um determinado carácter em condição de estresse nutricional são diferentes dos alelos que controlam esse mesmo carácter em condições nutricionais ótimas (SOUZA et al., 2009).

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação de cada genitor estão apresentadas na Tabela 4. Verificou-se que os genitores diferiram entre si na frequência dos alelos favoráveis, de forma que é possível identificar genitores mais promissores à formação de novas populações, visando à produção de grãos de milho para cada condição de adubação fosfatada.

**Tabela 4.** Estimativa dos efeitos médios da capacidade geral de combinação (CGC) de oito híbridos comerciais de milho, em função da produção de grãos (PROD), eficiência no uso do fósforo (EUP) e resposta ao uso do fósforo (RUP), Gurupi-TO, 2011/12

Genitores	Produção de grãos		EUP	RUP
	Baixo P	Alto P		
AG 2040	-195,405	456,163	0,596	39,604
AG 8060	320,219	-21,122	11,854	22,203
AG 1051	341,660	118,763	42,342	33,133
BM 2202	-194,117	-244,753	3,387	-25,572
P30F53	-88,950	124,383	11,313	-1,888
P30F80	8,659	222,373	-33,802	14,313
TRUCK	-92,434	-306,247	-0,624	-39,288
IMPACTO	-99,632	-349,558	-38,066	-49,506

**Fonte:** Elaboração dos autores (2016).

Em relação aos efeitos da CGC na expressão dos atributos, os genitores AG 8060 e AG 1051 se destacam por apresentarem estimativas positivas tanto para PROD quanto para EUP, de forma que os genitores com maior CGC avaliados quanto à eficiência no uso do fósforo também obtiveram os maiores efeitos para a produção de grãos. Em relação aos efeitos da CGC para PROD e RUP, os genitores AG 1051, AG 2040 e P30F80 se destacaram por apresentarem estimativas positivas para esses dois atributos.

É interessante apontar que apenas o genitor AG 1051 apresentou estimativas positivas de CGC para ambos os ambientes de cultivo (baixo e alto P). Genitores com altos valores positivos para os efeitos da CGC geralmente apresentam maiores médias para os cruzamentos aos quais estão envolvidos, quando comparados à média total das combinações híbridas. Desta forma, pode-se afirmar que o genitor AG 1051 é promissor para compor hibridações que visem aumentar as características estudadas, independente do nível de adubação fosfatada proposto.

Negativamente são apontados os genitores IMPACTO e TRUCK, por apresentarem estimativas negativas de CGC para todos os atributos. Segundo Cruz e Vencovsky (1989), apresentará menor  $\hat{g}_i$  o genitor que possuir menores frequências de alelos favoráveis para o caráter em questão. Pode-se afirmar que os genitores IMPACTO e TRUCK, oriundos da mesma empresa comercial, e possivelmente de base genética estreita, apresentam composição gênica desfavorável para hibridação voltada às condições edafoclimáticas impostas no presente estudo.

Conforme discutido anteriormente, a CEC ( $\hat{S}_{ij}$ ) apresentou superioridade significativa à CGC ( $\hat{g}_i$ ), com expressiva influência de efeitos gênicos não aditivos na expressão de PROD, EUP e RUP.

Contudo, é importante ao melhorista determinar também a CEC ( $\hat{S}_{ij}$ ), que é indicativa da divergência genética do genitor  $i$  em relação aos demais genitores. Quando o valor de  $\hat{S}_{ij}$  for negativo, o genitor  $i$  contribuirá de forma positiva para a heterose e, se positivo, contribuirá negativamente (CRUZ; VENCOVSKY, 1989).

Resultado disso é a combinação AG 2040 x P30F53, a qual apresentou a maior estimativa de  $\hat{S}_{ij}$  para PROD em baixo P (2052,34) e EUP (174,83), originária de genitores que apresentaram altos valores negativos de  $\hat{S}_{ij}$  (Tabela 5).

**Tabela 5.** Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) de 28 combinações híbridas oriundas de dialelo entre oito híbridos comerciais de milho, em função da produção de grãos (PROD), eficiência no uso do fósforo (EUP) e resposta ao uso do fósforo (RUP), Gurupi (TO), 2011/12

Combinações Híbridas	Efeitos e $\hat{S}_{ij}$ e $\hat{S}_{ij}$			
	PROD		EUP	RUP
	Baixo P	Alto P		
AG 2040 x AG 2040	-574,34	-34,27	-81,11	-22,10
AG 2040 x AG 8060	999,49	-302,48	97,21	7,58
AG 2040 x AG 1051	-3009,84	-171,17	-148,01	-120,55
AG 2040 x BM 2202	1917,38	-11,05	141,96	167,39
AG 2040 x P30F53	2052,34	-808,84	174,83	-110,65
AG 2040 x P30F80	-249,19	-915,68	-36,82	-210,63
AG 2040 x TRUCK	-789,31	745,18	-57,52	-12,89
AG 2040 x IMPACTO	227,75	1532,98	-9,93	323,95
AG 8060 x AG 8060	-311,872	221,64	-111,54	-23,22
AG 8060 x AG 1051	23,35	1554,66	-25,58	154,59
AG 8060 x BM 2202	536,52	-52,47	24,14	-28,46
AG 8060 x P30F53	-860,52	-2440,11	-63,09	-292,74
AG 8060 x P30F80	-80,32	-100,94	-23,89	41,39
AG 8060 x TRUCK	537,89	-1016,98	161,17	-58,88
AG 8060 x IMPACTO	-532,62	1915,03	53,03	222,99
AG 1051 x AG 1051	574,60	316,12	7,36	5,43
AG 1051 x BM 2202	-544,80	-828,85	-36,39	-209,85
AG 1051 x P30F53	-89,35	1446,95	105,68	374,579
AG 1051 x P30F80	1154,34	329,96	155,01	125,54
AG 1051 x TRUCK	61,05	-1120,56	8,43	-107,57
AG 1051 x IMPACTO	1256,05	-1843,25	-73,94	-227,63
BM 2202 x BM 2202	911,51	-626,99	4,81	-98,33
BM 2202 x P30F53	-466,98	-984,82	39,81	-2,58
BM 2202 x P30F80	-1258,03	2132,93	-111,68	160,24
BM 2202 x TRUCK	-717,77	1512,95	7,02	168,15
BM 2202 x IMPACTO	-1289,36	-514,68	-74,52	-57,93
P30F53 x P30F53	-73,60	1642,88	-81,02	123,25
P30F53 x P30F80	-874,71	-354,15	-94,06	-123,52
P30F53 x TRUCK	-200,55	-37,73	-26,25	0,54

Combinações Híbridas	Efeitos e $\hat{S}_{ij}$ e $\hat{S}_{ij}$			
	PROD		EUP	RUP
	Baixo P	Alto P		
P30F53 x IMPACTO	587,07	-106,97	25,06	-92,17
P30F80 x P30F80	201,39	-669,14	5,42	-12,08
P30F80 x TRUCK	131,95	-844,87	6,98	-73,09
P30F80 x IMPACTO	773,20	1091,03	93,67	104,43
TRUCK x TRUCK	721,09	1175,19	-36,86	108,79
TRUCK x IMPACTO	-465,44	-1588,39	-26,05	-133,84
IMPACTO x IMPACTO	-278,27	-242,68	6,06	-69,87

Baixo P (34 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e Alto P (170 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Fonte: Elaboração dos autores (2016).

Deve-se salientar a participação nessa combinação híbrida do genitor P30F53, o qual apresentou a 3ª maior estimativa positiva de CGC para EUP (11,313). De acordo com Worku et al. (2008), no desenvolvimento de híbridos, além de altas CECs nas combinações híbridas, recomenda-se que haja participação no cruzamento de, no mínimo, um genitor com elevada CGC. Diante disso, pode-se atribuir o desempenho superior dessa combinação aos atributos relacionados a maior EUP, herdadas do genitor P30F53, de forma a promover o aumento na aquisição e na utilização interna do nutriente pelas plantas.

Para a seleção de híbridos quanto à eficiência nutricional, em função das estimativas de CEC para PROD em baixo P e EUP, é possível observar outras combinações híbridas de destaque como AG 2040 x BM 2202 e AG 8060 x TRUCK, as quais apresentaram  $\hat{S}_{ij}$  positivas e elevadas para ambos atributos, enquanto seus genitores apresentaram  $\hat{S}_{ij}$  negativas em pelo menos um dos atributos.

Conforme Cruz et al. (2012), sendo a CEC caracterizada como desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado com base nas CGC de seus genitores, elevados valores absolutos de  $\hat{S}_{ij}$  revelam um desempenho melhor ou pior do que o esperado. Desta forma, na condução em um programa de melhoramento direcionado ao aumento na produção de grão em função da maior eficiência no uso do fósforo, deve-se primar por combinações com maiores estimativas positivas de  $\hat{S}_{ij}$  para estes atributos.

Para a seleção de híbridos, quanto à resposta à adubação, em função da CEC para PROD em alto P e RUP, as combinações híbridas BM 2202 x P30F80 e AG 1051 x P30F53 são promissoras ao melhoramento, por apresentarem elevadas estimativas positivas de  $\hat{S}_{ij}$  para ambos os atributos, considerando também o fato de pelo menos um dos genitores apresentarem elevada CGC em um dos atributos mensurados. No caso da combinação híbrida AG 1051 x P30F53, a elevada estimativa de  $\hat{g}_j$  para PROD do segundo genitor (124,383), somada à elevada estimativa de  $\hat{g}_i$  para RUP do primeiro genitor (33,133), promoveu a formação de um indivíduo com maior potencial produtivo, em virtude de sua capacidade em responder ao acréscimo na adubação fosfatada ao qual lhe é ofertada.

Outro resultado relevante deste estudo é a maior amplitude entre as estimativas de CEC apresentadas para RUP, quando comparadas às estimativas de CEC para EUP, o que evidencia a maior dissimilaridade genética dos genitores em ambiente de alto P. Tal fato é corroborado por Corrales et al. (2007) que, em avaliações quanto à eficiência e resposta ao uso de fósforo em variedades de milho tropical, observaram pouca influência do atributo EUP sobre o desempenho médio dos genótipos. Para estes autores deve-se levar em consideração a perda de diversidade alélica de EUP nas cultivares modernas, que são quase inteiramente selecionadas em função da capacidade de resposta

à fertilização. Coque e Gallais (2006) também afirmam que, sob condições de estresse abiótico, a variabilidade genética é reduzida, conseqüentemente, os genótipos tendem a apresentar um desempenho semelhante, dificultando a seleção.

Pode-se observar ainda uma discordância entre as combinações híbridas de destaque em cada ambiente de cultivo. Das 28 combinações híbridas avaliadas nas duas condições de adubação fosfatada, apenas as combinações AG 1051 x P30F80 e P30F80 x TRUCK apresentaram  $\hat{S}_{ij}$  positivo de forma simultânea para PROD, EUP e RUP. Tal fato ressalta a afirmação já comentada de que a seleção deve ser executada em ambientes específicos e não de acordo com o comportamento médio das combinações híbridas. Isso porque os alelos que controlam a expressão de um atributo quando o fornecimento nutricional é baixo diferem, pelo menos em partes, dos alelos que controlam esse mesmo atributo sob condições ideais de adubação (DOVALE; FRITSCHÉ-NETO, 2013).

## Conclusões

Os efeitos gênicos não aditivos apresentam maior participação na expressão dos atributos relacionados à produção de grãos, na eficiência e resposta ao uso da adubação fosfatada em plantas de milho.

Os genitores AG 1051 e AG 8060 reúnem alelos favoráveis ao aumento da produção de grãos de milho em solo com baixo fósforo, bem como a eficiência no uso do nutriente.

As hibridações AG 2040 x P30F53, AG 2040 x BM 2202 e AG 8060 x TRUCK promovem o aumento nos atributos produção de grãos em baixo fósforo e na eficiência no uso do nutriente.

Os genitores AG 1051, AG 2040 e P30F80 reúnem alelos favoráveis ao aumento da produção de grãos de milho em solo com alto fósforo, bem como a resposta ao uso do nutriente.

As hibridações BM 2202 x P30F80 e AG 1051 x P30F53 promovem o aumento nos atributos produção de grãos em alto fósforo e na resposta ao uso do nutriente.

## Combining ability of corn hybrids for efficiency and response to phosphorus use

### Abstract

Recent estimates suggest the nutritional stress that strikes intensive agricultural areas throughout the world can lead to premature termination of natural phosphorus reserves, so that the development of efficient maize genotypes on nutrient use has a fundamental role in agriculture. In this sense, the objective of this survey is to evaluate, by diallel crosses, the general and specific combining ability, GCA and SCA respectively, of commercial corn hybrids in different levels of phosphorus fertilization, in order to identify promising hybrid combinations to environmental conditions in the southern state of Tocantins. Eight commercial hybrids and their 28 hybrid combinations were evaluated in the agricultural year 2011/2012, in low phosphorus and high phosphorus environments, and certain grain production (PROD), phosphorus use efficiency (EUP) and response to phosphorus use (RUP). It was observed higher contribution of non-additive gene action in the attributes control. Only the parent AG 1051 showed positive GCA estimate for all traits in both culture environments, being described as promising to compose hybridizations aimed at EUP, RUP and PROD, regardless of level of phosphorus fertilization proposed. According to the estimates of SCA for PROD at low phosphorus and EUP, the

hybrid combination AG 2040 x P30F53 is classified as promising. Similarly, hybrid combination BM 2202 x P30F80 is classified as promising for PROD at high phosphorus and RUP.

**Keywords:** Zea mays. Diallel. Plant breeding. Abiotic stress. Nutritional efficiency.

## Referências

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-28.

BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 23, n. 1, p. 123-127, 2005. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362005000100026>>. Acesso em: 08 abr. 2016.

COIMBRA, R. R.; MARTINS, E. C. A.; MIRANDA, G. V.; NAOE, L. K.; CARDOSO, E. A.; ARCHANGELO, E. R. Capacidade de combinação de genótipos de milho para solos com baixos níveis de fertilidade. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 50, n. 1, p. 23-34, 2011. Disponível em: <<https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/157>>. Acesso em: 19 maio 2016.

COIMBRA, R. R.; FRITSCHÉ-NETO, R.; COIMBRA, D. B.; NAOE, L. K.; CARDOSO, E. A.; RAONI, D.; MIRANDA, G. V. Relationship between maize tolerance to low phosphorus content in the soil and the phosphorus responsiveness. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 332-339, 2014. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13641/13746>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

COQUE, M.; GALLAIS, A. Genomic regions involved in response to grain yield selection at high and low nitrogen fertilization in maize. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 112, n. 7, p. 1205-1220. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00122-006-0222-5>>. Acesso em: 06 abr. 2016.

CORRALES, I.; AMENÓS, M.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Phosphorus efficiency and root exudates in two contrasting tropical maize varieties. **Journal Plant Nutrition**, v. 30, p. 887-900, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/15226510701375085>>. Acesso em: 02 maio 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 2012. Cap. 7. p. 236-378.

CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, p. 425-438, 1989.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2007. 648p.

CRUZ, J. C.; PINTO, L. B. B.; PEREIRA FILHO, I. A.; GARCIA, J. C.; QUEIROZ, L. R. **Caracterização dos sistemas de produção de milho para altas produtividades**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 15 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 124).

DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R. Genetic control of traits associated with phosphorus use efficiency in maize by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 554-563, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300018>>. Acesso em: 05 maio 2016.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MIRANDA, G. V.; DELIMA, R. O.; SOUZA, L. V.; SILVA, J. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 465-471, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500005>>. Acesso em: 05 maio 2016.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, p. 462-493, 1956.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: um estudo dos climas da terra. Jaboticabal: Fundo de Cultura Econômica, 1948. 479p.

HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. p. 383-417.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Zoneamento agrícola de risco climático – Cultura do milho**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=25/07/2016&jornal=1&pagina=5&totalArquivos=476>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

OLIBONI, R.; FARIA, M. V.; NEUMANN, M.; BATTISTELLI, G. M.; TEGONI, R. G.; RESENDE, J. T. V. D. Genetic divergence among maize hybrids and correlations with heterosis and combining ability. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 37-44, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1807-86212012000100006>>. Acesso em: 22 maio 2016.

PARENTONI, S. N.; SOUZA-JUNIOR, C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 893-901, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000700014>>. Acesso em: 21 maio 2016.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. p. 7-8.

SILVA, F. A. **Resposta de acessos de capim andropogon (*Andropogon gayanus*) ao suprimento de fósforo**. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2012.

SOARES, M. O.; MIRANDA, G. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MARRIEL, I. E.; GUIMARÃES, C. T. Parâmetros genéticos de uma população de milho em níveis contrastantes de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 168-174, 2011. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/929>>. Acesso em: 12 maio 2016.

SOUZA, L. V.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; GUIMARÃES L. J. M.; SANTOS I. C. Combining ability of maize grain yield under different levels of environmental stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1297-1303, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000013>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

SOUZA NETO, I. L. D.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A.; JOBIM, C. C.; FIGUEIREDO, A. S. T.; BIGNOTTO, L. S. Diallel analysis and inbreeding depression of hybrid forage corn for agronomic traits and chemical quality. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 1, p. 42-49, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0315>>. Acesso em: 06 jun 2016.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TURNER, N. C.; RAO, K. P. C. Simulation analysis of factors affecting sorghum yield at selected sites in eastern and southern Africa, with emphasis on increasing temperatures. **Agricultural Systems**, v. 121, p. 53-62, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.06.002>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

VELHO, J. P.; MÜHLBACH, P. R. F.; GENRO, T. C. M.; BONNECARRÈRE SANCHEZ, L. M.; NÖRNBERG, J. L.; ORQIS, M. G.; FALKENBERG, J. R. Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após “desensilagem”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 916-923, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000300029>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

WHANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**, v. 179, n. 4, p. 302-306, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.06.007>>. Acesso em: 02 abr. 2016.

WORKU, M.; BÄNZIGER, M.; FRIESEN, D.; AUF’M ERLEY, G. S. HORST, W. J. VIVEK, B. S. Relative importance of general combining ability and specific combining ability among tropical maize (*Zea mays* L.) inbreds under contrasting nitrogen environments. **Maydica**, Bergamo, v. 53, p. 279-288, 2008. Disponível em: <<https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3086/93371.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 maio 2016.

#### **Histórico editorial:**

Submetido em: 05/09/2016.

Aceito em: 03/05/2017.

Como citar:

ABNT

COLOMBO, G. A.; VAZ-DE-MELO, A.; SOUZA, A. S. de; SILVA, J. G. C. Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 2, p. 47-60, abr./jun. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181088>

APA

COLOMBO, G. A., VAZ-DE-MELO, A., SOUZA, A. S. de & SILVA, J. G. C. (2018). Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. *Revista Agrogeoambiental*, 10 (2), 47-60. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181088>

ISO

COLOMBO, G. A.; VAZ-DE-MELO, A.; SOUZA, A. S. de e SILVA, J. G. C. Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. *Revista Agrogeoambiental*, 2018, vol. 10, n. 2, pp. 47-60. Eissn 2316-1817. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181088>

VANCOUVER

Colombo GA, Vaz-de-Melo A, Souza AS de, Silva JGC. Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. *Rev agrogeoambiental*. 2018 abr./jun.; 10(2): 47-60. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n220181088>