

IDENTIFICAÇÃO DE CRUZAMENTOS ENTRE GERAÇÕES F₂ DE HÍBRIDOS SIMPLES DE MILHO PARA FORMAÇÃO DE COMPOSTOS E EXTRAÇÃO DE LINHAGENS

ASSIS JR, F. G. A.¹; CERESINI, P. C.¹; ANDRADE, J. A. C.²

¹Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.; ² Departamento de Biologia e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

RESUMO

Em fevereiro e novembro de 2017, dois ensaios iguais foram instalados, em Selvíria – Mato Grosso do Sul, com o objetivo de identificar pares de gerações F₂ de 12 híbridos simples com potencial para extração de linhagens e confecção de híbridos mais produtivos e tolerantes ao complexo enfezamento, cruzados em esquema de dialelo completo sem recíprocos. O delineamento experimental utilizado foi de látice quádruplo 9x9, compreendendo 12 parentais, 66 cruzamentos e três testemunhas. Avaliou-se rendimento de espigas, rendimento de grãos e severidade do enfezamento pela atribuição de notas de 1 (planta morta) a 9 (planta sem sintomas). Foi realizada análise de variância individual e conjunta para avaliação dos caracteres. As heteroses, heterobeltioses e porcentagem em relação à melhor testemunha também foram calculadas para os cruzamentos. Os cruzamentos (IVF5xIVD8)xP30F35 e DKB350x(8Fx9D) e 60XB14xAG8088 são recomendados para retiradas de linhagens. O cruzamento 60XB14xAG8088 também é viável para uso direto de linhagens. O composto formado pelas gerações F₂ dos híbridos IVF5xIVD8, 60XB14, AG8088 e XB6010 é recomendado para início de programas de seleção recorrente e utilização direta em sistemas de produção de baixa tecnologia.

Palavras-chave: Enfezamento, mollicutes, heterose.

INTRODUÇÃO

O melhoramento genético e o melhoramento ambiental são responsáveis pelo desenvolvimento e crescimento da agricultura mundial. Dentre os objetivos de um programa de melhoramento, se destacam a busca por materiais que produzam mais exigindo menos das condições ambientais e por aqueles capazes de tolerar as condições ambientais adversas, principalmente ataque de pragas e doenças. Nesta última categoria estão inclusos os enfezamentos pálido e vermelho, causados respectivamente pelos patógenos *Spiroplasma kunkelii* Whitcomb e por fitoplasma, doenças altamente destrutivas, chegando a 100% de perdas, dependendo da época e da cultivar utilizada (SILVA et al., 2017). Tanto o espiroplasma quanto o fitoplasma são transmitidos de forma persistente pelo inseto *Dalbulus maidis* DeLong & Wolcott (WHITCOMB et al., 1986).

A busca por materiais tolerantes se justifica por ser uma medida de baixo custo e baixo

impacto ambiental quando comparado aos métodos convencionais de uso de defensivos (SABATO e TEIXEIRA, 2015). Neste contexto, a utilização de gerações F_2 de híbridos simples produtivos em programas de melhoramento é interessante pelo fato de se iniciar com material já submetido à seleção e com média de rendimento mais alta que os compostos de base ampla, permitindo maior facilidade na busca de híbridos mais produtivos e tolerantes com as linhagens extraídas dos mesmos.

A formação de compostos também é interessante tanto do ponto de vista de sua utilização para uso em programas de seleção recorrente como extração de linhagens. O controle genético da tolerância ao enfezamento é feito, em grande parte, por meio de alelos de efeitos aditivos, portanto, o uso de seleção recorrente permite a recombinação desses alelos (CAMARGO, 1995; SILVA et al., 2003). Como os parentais serão gerações F_2 de híbridos simples com bom potencial genético, as médias esperadas dos melhores compostos serão mais elevadas. Além disso, haverá variabilidade genética suficiente para permitir ganhos continuados com a seleção recorrente. Também poderá ser realizada a predição do cruzamento entre os melhores compostos preditos, que não contenham parentais em comum, visando a obtenção de populações para início de programa de seleção recorrente.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi identificar pares de gerações F_2 de híbridos simples que tenham potencial para extração de linhagens para confecção de híbridos mais produtivos e mais tolerantes ao complexo enfezamento, para a primeira e segunda safras, assim como escolher os melhores compostos possíveis de serem obtidos com os parentais envolvidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 12 gerações F_2 dos híbridos simples IVF \times IVD8, 8F \times 9D, ambos obtidos na UNESP – Campus de Ilha Solteira, AGROMEN 30A91, DKB390, JM2M90, AG9010, P30F25, DKB350, DOW2B710, 60XB14, AG8088 e XB6010, conseguidos no mercado, tomando-se cuidado para evitar aqueles aparentados e os transgênicos. As gerações F_2 foram obtidas com polinização manual dentro de cada híbrido. As 12 gerações F_2 foram cruzadas em esquema de dialelo completo sem recíprocos, resultando em 66 cruzamentos.

Os ensaios foram conduzidos na segunda safra do ano agrícola 2016/2017 (semeadura em fevereiro/2017) e na primeira safra do ano agrícola 2017/18 (semeadura em novembro/2017), na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP – Campus de Ilha Solteira, no município de Selvíria – MS (20°22' latitude Sul e 51°22' longitude oeste, com 355 metros de altitude), de clima tropical úmido com chuvas no verão e seca no inverno e uma precipitação pluvial anual média de 1330 mm. A temperatura média anual é de 23,7 °C. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, típico argiloso (BRASIL, 1999).

Utilizou-se sistema de semeadura direta, no delineamento experimental de látice quádruplo 9x9 compreendendo 12 parentais (gerações F_2), 66 cruzamentos e as testemunhas BG 7049, JM2M77 e JM2M88. As parcelas foram constituídas de duas linhas de 5m espaçadas de 0,9m, com seis plantas por metro, utilizadas integralmente. O híbrido simples DKB 390

PRO3 foi repetido a cada 9 parcelas (bloco do látice) para servir como parâmetro de correção caso necessário, no esquema de testemunha intercalar. Foram postas duas sementes por cova, com desbaste quando as plantas apresentavam cinco folhas completamente desenvolvidas.

As adubações de base e cobertura foram feitas de acordo com a análise de solo, visando rendimento de 10 t/ha. Os demais tratamentos culturais, como aplicação de herbicidas e inseticidas foram realizadas conforme as necessidades da cultura em cada época de experimentação.

Foram avaliados os caracteres plantas com enfezamento (relação do número de plantas com enfezamento pálido e o estande final da parcela), rendimento de espigas (massa das espigas colhidas na parcela, transformada em kg ha⁻¹) e rendimento de grãos para a primeira safra 2017/2018 (massa dos grãos colhidos na parcela, transformada em kg ha⁻¹), ambos corrigidos para 13% de umidade. Para enfezamento, as notas foram obtidas como média dos sintomas avaliados nas plantas da parcela, obedecendo os seguintes critérios: 1 (plantas sem sintomas), 2 (plantas com menos de 25% de sintomas), 3 (plantas com 25 a 50% de sintomas), 4 (plantas com 50 a 75% de sintomas), 5 (plantas com mais de 75% de sintomas) e 6 (plantas mortas). Também foi realizada correção para estande ideal de 50 plantas por parcela, pelo método de covariância entre o rendimento e o estande (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992).

Para avaliação, além dos cruzamentos foram acrescentadas as gerações F₂ parentais e os híbridos simples BG 7049, JM2M77 e JM2M88 como testemunhas, constituindo 81 tratamentos, além do híbrido DKB 390 PRO3 como testemunha intercalar.

Inicialmente foi realizada a análise em látice considerando a testemunha intercalar e em látice sem considerar a testemunha intercalar para cada experimento. Em seguida optou-se pela análise em blocos ao acaso porque as análises iniciais pelo delineamento em látice quádruplo 9x9 indicaram baixa eficiência deste, pois o látice só traz vantagens sobre a análise em blocos ao acaso se sua eficiência for superior a 110% (MIRANDA FILHO, 1987). Foram realizadas análises de variância individuais e conjunta, considerando modelo fixo e também foi aplicado o teste de Scott-Knott para comparação de médias.

A predição de compostos balanceados foi realizada de acordo com Vencovsky e Barriga (1992), pela fórmula (1):

$$CO = \frac{1}{n} P + \left(\frac{n-1}{n}\right) C \quad (1)$$

em que CO = média predita do composto; n = número de parentais do composto; P = média dos parentais do composto; C = média de todos os cruzamentos entre os parentais do composto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, para se aproveitar materiais em programas de melhoramento, espera-se que possuam, pelo menos, desempenho 50% superior ao desempenho das testemunhas. Nos resultados obtidos, 38% dos materiais falharam neste requisito e nenhum dos restantes

ultrapassou o desempenho da melhor testemunha, que é a geração F₂ do híbrido JM2M88. O valor máximo obtido foi de 89,96%, representado pelo cruzamento P30F35xB6010. De maneira geral, este cruzamento se sobressaiu em rendimento (o maior da safra entre os cruzamentos) e em heterobeltiose e heterose – maiores que 100% – para rendimento de espigas na segunda safra de 2017.

Verificou-se que 92,42% dos cruzamentos receberam nota maior ou igual à nota da melhor testemunha, ou seja, um desempenho igual ou inferior ao da melhor testemunha. Nenhum tratamento chegou a ser 50% superior à melhor testemunha. Para heterobeltiose – superioridade do híbrido em relação à média do parental superior – 69,7% dos cruzamentos foram pelo menos 2% superiores. O cruzamento com a maior heterobeltiose para enfezamento foi o AGR30A91xDKB350, sendo 27,4% superior ao melhor parental e 29,80% superior à média dos parentais.

A heterobeltiose média para rendimento de espigas foi de 66,34%. Isto indicaria resultados melhores para tolerância ao enfezamento na safra em questão, mas o elevado coeficiente de variação compromete a confiabilidade dos resultados. Mesmo assim merecem destaques heterobeltioses maiores ou iguais a 100%, ocorridas em ordem decrescente para os cruzamentos JM2M90x60XB14 (maior heterobeltiose e heterose dentre todos os cruzamentos), DKB350x(8Fx9D), P30F35xB6010 (maior porcentagem em relação à melhor testemunha), AGR30A91x(8Fx9D) e DKB390xJM2M90, indicando que há complementariedade entre locos de seus parentais.

Observou-se, para enfezamento, que 39,4% dos cruzamentos apresentaram resultados melhores para a tolerância do que seus respectivos melhores parentais. Os melhores valores para heterose e heterobeltiose foram observados nos cruzamentos AGR30A91x(IVF5xIVD8), DKB390x(IVF5xIVD8) e (IVF5xIVD8)xP30F35. Este último se diferencia dos demais por possuir maior heterose. Todos tinham a geração F₂ do híbrido IVF5xIVD8 como parental. Nenhum foi superior a 50% do desempenho da melhor testemunha para esse caráter.

Houve heterobeltiose de 99% para o cruzamento (IVF5xIVD8)xXB6010 e rendimento de 6327 kg ha⁻¹. O parental IVF5xIVD8 também está presente na segunda maior heterobeltiose, cruzado com o híbrido P30F35, cujo valor foi de 87%. O cruzamento com maior rendimento de grãos foi o 60XB14xAG8088, com 7188 kg ha⁻¹. Um experimento conduzido pela EMBRAPA milho e sorgo, no município de Sete Lagoas/MG, no qual foram avaliados 32 genótipos de híbridos comerciais e experimentais para tolerância ao enfezamento, identificou apenas quatro híbridos com produção equivalente a 7 t ha⁻¹ (COTA et al., 2018), colocando o cruzamento de gerações F₂ destacado numa posição de igualdade a esses híbridos.

Quanto à porcentagem da melhor testemunha, nenhum cruzamento ficou abaixo dos 50% de desempenho, tornando todos, inicialmente, viáveis para serem usados em programas de melhoramento, com destaque para o cruzamento 60XB14xAG8088 que apresentou desempenho 9,65% superior ao da melhor testemunha e o melhor rendimento entre os cruzamentos de gerações F₂. Esses atributos o elegem até para um possível uso comercial. Outros nove cruzamentos atingiram desempenho maior ou igual a 90% da melhor testemunha

e podem ser indicados para um programa de retirada de linhagens a partir de seus parentais, visando obtenção de híbridos simples superiores. Cruzamentos de gerações F_2 com essas características (100 a 109% do rendimento da melhor testemunha) podem ser classificados como superiores às testemunhas, possuindo desempenho satisfatório e adaptação às regiões de estudo (PATERNIANI et al., 2010).

Como os danos causados pelo enfezamento foram mais elevados na segunda safra, houve uma forte pressão de seleção; os dados de predição de compostos, baseados nos dados experimentais obtidos na segunda safra de 2017, permitem verificar que, para o caráter enfezamento, dos 30 melhores compostos obtidos com até quatro parentais, 15 possuem participação da geração F_2 híbrido 60XB14 e 13 da geração F_2 híbrido AG8088. O cruzamento de ambos foi 9,65% melhor que a melhor testemunha para rendimento de grãos na primeira safra 2017/2018. O 60XB14 também é componente do cruzamento com maior heterose para enfezamento na segunda safra 2017. Isso significa que as duas gerações F_2 destacadas (60XB14 e AG8088) possuem alelos de efeito aditivo que conferem tolerância ao enfezamento em locos que se complementam no cruzamento entre ambos e nos cruzamentos com as outras gerações F_2 .

Nenhum dos melhores compostos possui quatro parentais e o melhor com três parentais se encontra em sexto lugar, para enfezamento. Para rendimento de espigas e de grãos, os dois melhores compostos possuem quatro parentais e a geração F_2 do híbrido XB6010 é componente de ambos. Para o rendimento de espigas, este material está presente em 29 dos 30 melhores compostos, enquanto que para rendimento de grãos, em 15 dos trinta melhores. Os parentais 60XB14 e AG8088 estão presentes em boa parte dos melhores compostos também. O melhor para rendimento de espigas e de grãos com quatro parentais é o composto IVF5xIVD8, 60XB14, AG8088 e XB6010, cuja produção de grãos esperada é 5725 kg ha^{-1} , valor superior à média geral (5008 kg ha^{-1}), média dos parentais (3418 kg ha^{-1}) e média dos cruzamentos (5264 kg ha^{-1}) para a primeira safra 2017/2018. Essa superioridade é esperada, pois compostos formados tendem a possuir valores médios maiores do que os de seus parentais (HALLAUER e MIRANDA FILHO, 1988).

A geração F_2 do híbrido IVF5xIVD8, presente no composto IVF5xIVD8, 60XB14, AG8088 e XB6010, também é um dos parentais dos três cruzamentos com tolerância ao enfezamento destacados por sua proporção em relação ao desempenho da melhor testemunha na primeira safra 2017/2018, bem como parte do cruzamento com maior heterobeltiose para rendimento de grãos com 99%, indicando que possui potencial para participar de cruzamentos e populações com maior tolerância à doença e produzir grãos satisfatoriamente. Vale destacar que o híbrido IVF5xIVD8 foi obtido no mesmo local de avaliação do dialelo e, provavelmente, contribui com mais genes para tolerância ao enfezamento em seus cruzamentos, devido à seleção nas condições de alta infestação do patógeno. Como a produção de grãos e a severidade do enfezamento correlacionam-se de forma negativa (COTA et al, 2018), espera-se que compostos com maiores rendimentos esperadas, como o formado por IVF5xIVD8, 60XB14, AG8088 e XB6010, também sejam tolerantes ao complexo enfezamento.

CONCLUSÕES

Para rendimento de grãos e tolerância ao enfezamento, o cruzamento das gerações F₂ dos híbridos simples IVF5xIVD8 e P30F35 é recomendado para retirada de linhagens, devido aos seus elevados valores de heterose e heterobeltiose.

O cruzamento DKB350x(8Fx9D) é recomendado com o mesmo objetivo para a segunda safra, possuindo também elevados valores de heterose e heterobeltiose.

O cruzamento 60XB14xAG8088 é viável tanto para uso direto quanto para seleção e extração de linhagens.

O composto formado pelos parentais IVF5xIVD8, 60XB14, AG8088 e XB6010 é indicado como população base de programa de seleção recorrente, mas pode ser utilizado diretamente em sistemas de baixa tecnologia.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, L. E. A. Análise genética da resistência e da patogenicidade. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIN, L. (Ed.). Manual de fitopatologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 470-492.

COTA, L. V.; SILVA, D. D. da; AGUIAR, F. M.; COSTA, R. V. da. Resistência de Genótipos de Milho aos Enfezamentos. Circular Técnica 247. EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. 11p. Dezembro, 2018.,

HALLAUER, A.R. AND MIRANDA FILHO, J.B. (1988). Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd edn. Iowa State University Press, Ames, Iowa, pp. 468.

MIRANDA FILHO, J. B.; NASS, L. L. Hibridação no melhoramento. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas, p.603-627, 2001.

PATERNIANI, E.; NASS, L.L.; SANTOS, M.X. O Valor dos Recursos Genéticos para o Brasil. Paralelo 15, 2000, p.136.

SABATO, E. de O.; TEIXEIRA, F. F. Processos para Avaliação da Resistência Genética de Genótipos de Milho aos Enfezamentos Causados por Molicutes. Circular Técnica 210. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. 8p. Junho, 2015.

SILVA, D. D. da; AGUIAR, F. M.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. Molicutes em milho: a diversificação de sistemas de produção pode ser a solução? In: MEDEIROS, F. H. V.; PEDROSO, L. A.; GUIMARÃES, M. de R. F.; SILVA, B. A. A. de S. e; ALMEIDA, L. G. F. de; SILVA, F. de J.; SILVA, R. L. M. da; FERREIRA, L. C.; PEREIRA, A. K. M.; COUTO, T. B. R.; GOMES, V. A.; MEDEIROS, R. M.; VEIGA, C. M. de O.;

SILVA, M. de F.; FIGUEIREDO, Y. F.; GATTI, G. V. N.; NICOLLI, C. P. (Ed.). Novos sistemas de produção. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2017. cap. 4, p. 32-52.

SILVA, R.G.; GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V.; SILVA, E. do C.; CORRÊA, L.A. Flutuação populacional de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott, 1923) (Hemiptera: Cicadellidae) e avaliação de sintomas do complexo enfezamento em híbridos de milho. Revista Ciência e Agrotecnologia, v.26, p.292-300, 2002.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

WHITCOMB, R. F.; CHEN, T. A.; WILLIAMSON, D. L.; LIAO, C.; TULLY, J. G.; CLARK, T. B.; BOVÉ, J. M.; MOUCHES, C.; ROSE, D. L.; COAN, M. E. *Spiroplasma kunkelii* sp. nov.: characterization of the etiological agente of corn stunt disease. International Journal of Systematic Bacteriology, Washington, v. 36, n. 2, p. 170-178, 1986.