



Estudo de Herança da Resistência à Ferrugem-polissora em Milho

Maria Marta Pastina¹

Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães²

Luciano Viana Cota³

Cynthia Maria Borges Damasceno⁴

A Ferrugem-polissora e seu Impacto

Na última década, foi identificado um aumento substancial na intensidade de doenças na cultura do milho no Brasil, principalmente foliares, o que torna ainda mais importante a disponibilidade de formas efetivas de controle das enfermidades a fim de se minimizar perdas de produção (COSTA et al., 2013). Dentre as doenças que se destacam como preocupantes, está a ferrugem-polissora, causada pelo fungo *Puccinia polysora* Underwood, que tem provocado, com certa frequência, perdas superiores a 50% na produtividade de milho nas principais regiões produtoras (COSTA et al., 2013). O uso de cultivares resistentes constitui uma das principais medidas para o manejo dessa doença. Porém, *P. polysora* apresenta alta variabilidade genética para

patogenicidade, permitindo rápida adaptação do patógeno no campo. Estudos genéticos já foram realizados e vários genes e/ou QTLs (do inglês, *Quantitative Trait Loci*) de resistência à ferrugem-polissora foram identificados em milho (STOREY; HOWLAND, 1957; ULLSTRUP, 1965; SCOTT et al., 1984; HOLLAND et al., 1998; LIU et al., 2003; CHEN et al., 2004), como revisado em Damasceno et al. (2015). Entretanto, nem sempre as fontes de resistência estão disponíveis aos programas de melhoramento, sendo de grande importância um contínuo trabalho de busca por novos genes de resistência, mais efetivos no controle da doença e de maior durabilidade. O programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo tem investido na caracterização de um grande número de genótipos para identificação de fontes de resistência e desenvolvimento de progênies

¹Eng.- Agrôn., D.Sc., Genética e Melhoramento, Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 km 65, CP 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, marta.pastina@embrapa.br

²Eng.- Agrôn., Ph.D em Genética e Melhoramento, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, paulo.guimaraes@embrapa.br

³Eng.- Agrôn, D.Sc. em Fitopatologia, Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, luciano.cota@embrapa.br

⁴Bióloga, Ph.D. em Fitopatologia, Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG, cynthia.damasceno@embrapa.br

segregantes para o melhor entendimento sobre a base genética da resistência à ferrugem-polissora. Dentre as fontes de resistência identificadas, está a linhagem 371081-4, utilizada como genitor para a obtenção de progênies segregantes para o mapeamento de QTLs (DAMASCENO et al., 2015, 2016). No presente trabalho, será apresentada a análise de médias de gerações, incluindo essa fonte de defesa, com o objetivo de avaliar a herança da resistência à ferrugem-polissora em milho.

Análise de Médias de Gerações e sua Importância

Inicialmente proposta por Mather e Jinks (1971), a análise de médias de gerações, apesar de apresentar algumas limitações (BERNARDO, 2010), ainda tem sido amplamente utilizada no melhoramento de plantas para avaliar a importância dos diferentes efeitos genéticos (aditivos, de dominância e epistáticos) na herança de caracteres quantitativos (CHECA et al., 2006; MALVAR et al., 2008; SMITH et al., 2009). Em geral, uma variante da análise de médias de gerações tem sido comumente utilizada, com base no desempenho fenotípico de seis gerações: dois genitores (linhagens endogâmicas), P_1 e P_2 , suas progênies F_1 e F_2 , e retrocruzamentos da progênie F_1 com cada um dos genitores (RC_1 e RC_2) (PIEPHO; MÖHRING, 2010). Com base nas médias dessas gerações, é possível estimar os efeitos genéticos e verificar quais efeitos apresentam maior contribuição para a expressão de um determinado caráter, o que é particularmente importante em estudos de herança preliminares, quando existe pouco conhecimento sobre a população e sobre o caráter avaliado.

Fonte de Resistência e Material Genético Desenvolvido

Com base nos dados apresentados em Damasceno et al. (2015), a população F_2 derivada do cruzamento entre as linhagens 371081-4 e 531542, foi escolhida para o mapeamento de QTLs (DAMASCENO et al., 2016) e para a análise de médias de gerações, com o intuito de avaliar a herança da resistência à ferrugem-polissora em milho. As avaliações fenotípicas das gerações P_1 (371081-4, genitor resistente), P_2 (531542, genitor suscetível), F_1 , F_2 , RC_1 ($F_1 \times P_1$) e RC_2 ($F_1 \times P_2$) para a resistência à ferrugem-polissora foram conduzidas conjuntamente, conforme descrito em Damasceno et al. (2016). A escala de avaliação da ferrugem-polissora em folhas de milho foi determinada com base na identificação das classes de reação à doença, conforme a severidade dos sintomas: i) R_0 , ausência de qualquer reação nas folhas; ii) R_1 , presença de pontos cloróticos a necróticos sem formação de urédias; iii) R_2 , presença de poucas urédias formadas com pequena quantidade de uredósporos; iv) S^- , presença de pequena quantidade de urédias, com ou sem clorose ou amarelecimento, e severidade inferior a 30% na folha; v) S , presença de uma grande quantidade de urédias, com ou sem clorose ou amarelecimento, contendo abundante produção de uredósporos e severidade entre 30 e 50% na folha; vi) S^+ , presença de uma grande quantidade de urédias, com ou sem clorose ou amarelecimento, contendo abundante produção de uredósporos e severidade superior a 50% na folha (ver Figura 1 em DAMASCENO et al., 2015).

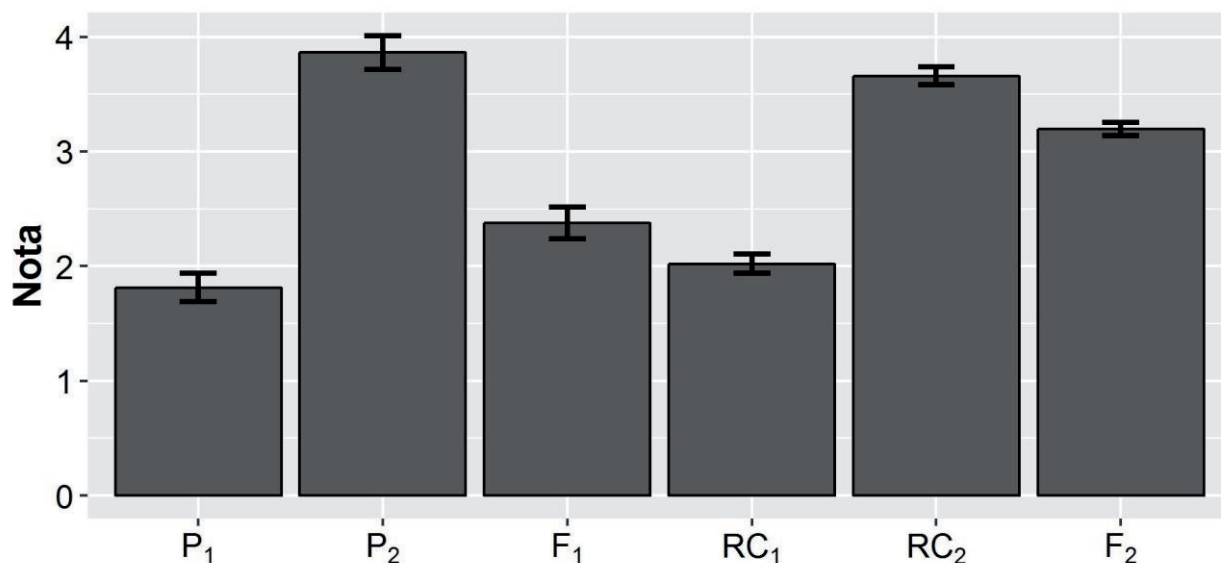


Figura 1. Médias preditas e desvios padrão para a resistência à ferrugem-polissora nas gerações P₁ (371081-4, genitor resistente), P₂ (531542, genitor suscetível), F₁, RC₁ (F₁ x P₁), RC₂ (F₁ x P₂) e F₂.

Estudo de Herança para a Ferrugem-polissora em Milho

A análise de médias de gerações foi realizada com base na avaliação fenotípica conjunta dos genitores P₁ e P₂, e das gerações F₁, F₂, RC₁ e RC₂, conduzida de acordo com o delineamento de blocos casualizados com três repetições. O estudo de herança foi realizado com base na abordagem de modelos mistos, conforme proposto por Piepho e Möhring (2010), utilizando o software ASReml v.4.1 (GILMOUR et al., 2015). Para isso, foi considerado o modelo genético aditivo-dominância com a inclusão das interações epistáticas do tipo aditivo-aditivo, aditivo-dominância e dominância-dominância.

Na Figura 1, estão apresentadas as médias preditas e os desvios padrão para a resistência à ferrugem-polissora nas gerações P₁, P₂, F₁, RC₁, RC₂ e F₂. O menor (1,81) e o maior (3,86) valor de média foram observados para os genitores P₁ (371081-4, resistente) e P₂ (531542, suscetível), respectivamente. A geração F₂ apresentou média de 3,20, cujo valor é intermediário em relação às médias observadas para os genitores resistente e suscetível. As médias dos retrocruzamentos

RC₁ (2,02) e RC₂ (3,66) foram equivalentes às médias dos genitores P₁ e P₂, respectivamente. A geração F₁ apresentou nota média de 2,37, sendo este valor inferior em relação à média dos dois genitores (2,83). Portanto, esse resultado sugere a existência de heterose para a resistência à ferrugem-polissora no cruzamento sob estudo, já que quanto menor o valor da nota, maior é a resistência à doença.

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados do teste de Wald – F para o efeito de blocos e para os efeitos genéticos aditivos (*a*), de dominância (*d*) e epistáticos do tipo aditivo-aditivo (*aa*), aditivo-dominância (*ad*) e dominância-dominância (*dd*). O efeito de blocos e os efeitos genéticos aditivos, epistáticos do tipo aditivo-aditivo e aditivo-dominância foram significativos ao nível de significância de 1%; enquanto o efeito genético de dominância foi significativo ao nível de significância de 5%. Esses resultados sugerem uma maior contribuição dos efeitos genéticos aditivos, epistáticos do tipo aditivo-aditivo e aditivo-dominância na herança da resistência à ferrugem-polissora no cruzamento entre as linhagens de milho 531542 e 371081-4.

Tabela 1. Teste de Wald – F para o efeito de bloco e para os efeitos genéticos aditivos (a), de dominância (d) e epistáticos do tipo aditivo-aditivo (aa), aditivo-dominância (ad) e dominância-dominância (da).

Fonte de Variação	GL Numerador	GL Denominador	Wald-F	P-valor
Bloco	2	165,00	5,31	0,006
a	1	167,20	419,92	<0,001
d	1	145,10	5,02	0,028
aa	1	142,10	27,44	<0,001
ad	1	208,80	11,89	<0,001
dd	1	243,70	0,84	0,362

GL: grau de liberdade.

Na Tabela 2, estão apresentadas as estimativas dos componentes da variância genética aditiva (σ_A^2), da variância genética de dominância (σ_D^2), da variância genética epistática (σ_{AD}^2) e da variância residual (σ_e^2). Com base nessas estimativas, é possível observar que a variância genética aditiva (0,25) e a variância genética epistática (0,32) apresentaram maior magnitude quando comparadas à variância genética de dominância ($0,77 \times 10^{-6}$), o que está de acordo com os resultados do teste de Wald – F, no qual os efeitos genéticos aditivos e epistáticos do tipo aditivo-aditivo e aditivo-dominância foram significativos ao nível de significância de 0,1%, enquanto o efeito genético de dominância foi significativo ao nível de significância de 5%.

Brewbaker et al. (2011) utilizaram três diferentes cruzamentos, Hi34 (resistência intermediária) x Mo17 (suscetível), Hi53 (resistente) x Mo17, e Hi38-71 (resistência intermediária) x G24 (suscetível), para o desenvolvimento de progênies F_1 , F_2 , RC_1 e RC_2 para a realização da análise de médias de gerações, com base no modelo proposto por Mather e Jinks (1971), para resistência à ferrugem-polissora no Havai. Nesse estudo, os autores verificaram que os efeitos genéticos aditivos e epistáticos do tipo aditivo-aditivo foram significativos em todos os casos avaliados. No entanto, os

efeitos de dominância e epistáticos do tipo dominância-dominância foram significativos apenas para os cruzamentos Hi38-71 x G24 e Hi34 x Mo17, o que sugere que os estudos de herança devam ser conduzidos, para o entendimento do controle genético da resistência à ferrugem-polissora, em cada população de interesse para os programas de melhoramento, ressaltando a importância do presente trabalho para o programa de melhoramento de milho da Embrapa Milho e Sorgo.

Tabela 2. Estimativas dos componentes da variância genética aditiva (σ_A^2), da variância genética de dominância (σ_D^2), da variância genética epistática (σ_{AD}^2) e da variância residual (σ_e^2).

Componente de Variância	Estimativa
σ_A^2	0,25
σ_D^2	$0,77 \times 10^{-6}$
σ_{AD}^2	0,32
σ_e^2	0,48

Conclusão

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que a resistência à ferrugem-polissora em milho, avaliada no cruzamento 371081-4 (resistente) e 531542 (suscetível), apresenta um controle genético complexo, com predomínio dos efeitos genéticos aditivos e epistáticos do tipo aditivo-aditivo e aditivo-dominância. No entanto, apesar da menor significância dos efeitos genéticos de dominância e da menor magnitude do componente de dominância da variância genética, tais efeitos genéticos de dominância também apresentam certa contribuição para a base genética da resistência à ferrugem-polissora no cruzamento entre as linhagens de milho 371081-4 (resistente) e 531542 (suscetível). Portanto, em programas de

melhoramento de milho utilizando a linhagem 371081-4 como fonte de resistência à ferrugem-polissora, o desempenho fenotípico de novas linhagens deve ser avaliado em cruzamentos com testadores elite de grupos heteróticos complementares.

Referências

- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2. ed. Woodbury: Stemma Press, 2010. 400 p.
- BREWBAKER, J. L.; KIM, S. K.; SO, Y. S.; LOGROÑO, M.; MOON, H. G.; MING, R.; LU, X. W.; JOSUE, A. D. General resistance in maize to southern rust (*Puccinia polysora* Underw.). **Crop Science**, Madison, v. 51, p. 1393-1409, 2011.
- CHECA, O.; CEBALLOS, H.; BLAIR, M. W. Generation means analysis of climbing ability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Heredity**, Cary, v. 97, n. 5, p. 456-465, 2006.
- CHEN, C. X.; WANG, Z. L.; YANG, D. E.; YE, C. J.; ZHAO, Y. B.; JIN, D. M.; WENG, M. L.; WANG, B. Molecular tagging and genetic mapping of the disease resistance gene RppQ to southern corn rust. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 108, n. 5, p. 945-950, 2004.
- COSTA, R. V. da; SILVA, D. D. da; COTA, L. V. **Efeito protetor de fungicidas no controle da ferrugem Polissora (*Puccinia polysora*) do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 22 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 81).
- DAMASCENO, C. M. B.; PASTINA, M. M.; GUIMARÃES, P. E. de O.; COSTA, R. V. da; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da. **Identificação de fontes de resistência à ferrugem Polissora em milho e desenvolvimento de população de mapeamento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 13 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 212).
- DAMASCENO, C. M. B.; PASTINA, M. M.; GUIMARÃES, P. E. de O.; COSTA, R. V. da; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da. **Mapeamento de QTL para resistência à ferrugem polissora em milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 218).
- GILMOUR, A. R.; GOGEL, B. J.; CULLIS, B. R.; WELHAM, S. J.; THOMPSON, R. **ASReml: user guide: release 4.1: structural specification**. Hemel Hempstead: VSN International, 2015. Disponível em: <<https://www.vsnl.co.uk/downloads/asreml/release4/UserGuideStructural.pdf>>.
- Acesso em: 14 set. 2017.
- HOLLAND, J. B.; UHR, D. V.; JEFFERS, D.; GOODMAN, M. M. Inheritance of resistance to southern corn rust in tropical-by-corn-belt maize populations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 96, n. 2, p. 232-241, 1998.
- LIU, Z. X.; WANG, S. C.; DAI, J. R.; HUANG, L. J.; CAO, H. H. Studies of genetic analysis and SSR linked marker location of gene resistance to southern rust in inbred line P25 of maize. **Acta Genetica Sinica**, Peiping, v. 30, n. 8, p. 706-710, 2003.
- MALVAR, R. A.; REVILLA, P.; MORENO-GONZÁLEZ, J.; BUTRÓN, A.; SOTELO, J.; ORDÁS, A. White maize: genetics of quality and agronomic performance. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 4, p. 1373-1381, 2008.
- MATHER, K.; JINKS, J. L. **Biometrical genetics**. 2. ed. London: Chapman and Hall, 1971.
- PIEPHO, H. P.; MÖHRING, J. Generation mean analysis using mixed models. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1674-1680, 2010.

SCOTT, G. E.; KING, S. B.; ARMOUR, J. W. J. Inheritance of resistance to southern corn rust in maize *Zea mays* Populations. **Crop Science**, Madison, v. 24, p. 265-267, 1984.

SMITH, C. W.; BRADEN, C. A.; HEQUET, E. F. Generation mean analysis of near-long-staple fiber length in TAM 94L-25 upland cotton. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 5, p. 1638-1646, 2009.

STOREY, H. H.; HOWLAND, A. K. Resistance in maize to the tropical American rust fungus, *Puccinia polysora* Underw. I. Genes Rpp1 and Rpp2. **Heredity**, London, v. 11, p. 289-301, 1957.

ULLSTRUP, A. J. Inheritance and linkage of a gene determining resistance in maize to an American race of *Puccinia polysora*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 55, p. 425-428, 1965.

Literatura Recomendada

BUTRÓN, A.; MALVAR, R. A.; REVILLA, P.; SOENGAS, P.; ORDÁS, A. Rind puncture resistance in maize: inheritance and relationship with resistance to pink stem borer. **Plant Breeding**, Berlin, v. 121, n. 5, p. 378-382, 2002.

BUTRUILLE, D. V.; SILVA, H. D.; KAEPLER, S. M.; COORS, J. G. Response to selection and genetic drift in three populations derived from the golden glow maize population. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 5, p. 1527-1534, 2004.

CROWDER, B. J.; WILKINSON, C. A.; JOHNSON, C. S.; EISENBACH, J. D. Inheritance of resistance to tobacco cyst nematode in flue-cured tobacco. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1305-1312, 2003.

HINZE, L. L.; LAMKEY, K. R. Absence of epistasis for grain yield in elite maize hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 1, p. 46-56, 2003.

LIU, B. H. **Statistical genomics: linkage, mapping and QTL analysis**. Boca Raton: CRC Press, 1998. 611 p.

MIHALJEVIC, R.; UTZ, H. F.; MELCHINGER, A. E. No evidence for epistasis in hybrid per se performance of elite European flint maize hybrids from generation means and QTL analysis. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 6, p. 2605-2613, 2005.

REVILLA, P.; MALVAR, R. A.; CARTEA, M. E.; BUTRÓN, A.; ORDÁS, A. Inheritance of cold tolerance at emergence and during early season growth in maize. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 6, p. 1579-1585, 2000.

Comunicado Técnico, 223

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151
 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027 1100
Fax: (31) 3027 1188
 www.embrapa.br/fale-conosco
1ª edição
Versão Eletrônica (2017)

MINISTÉRIO DA
 AGRICULTURA, PECUÁRIA
 E ABASTECIMENTO



Comitê de publicações

Presidente: Sidney Netto Parentoni.
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau.
Membros: Antonio Cláudio da Silva Barros,
 Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia
 Ferreira Simeone, Roberto dos Santos Trindade e
 Rosângela Lacerda de Castro.

Expediente

Revisão de texto: Antonio Cláudio da Silva Barros.
Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro.
Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa.
Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa.