

Caracterização de genótipos de sorgo e estudo de herança da resistência ao pulgão do sorgo (*Melanaphis sorghi*)⁽¹⁾

Iasmim Marrony Damasceno Reis⁽²⁾, Marcelo Augusto Vieira Santos⁽⁴⁾, Isadora Cristina Martins Oliveira⁽⁵⁾, Cicero Beserra de Menezes⁽³⁾ e José Ângelo Nogueira de Menezes Júnior⁽³⁾

⁽¹⁾Trabalho financiado pelo CNPq/Fapemig. ⁽²⁾Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁽⁴⁾Estudante de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. ⁽⁵⁾Doutora, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Resumo – O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é um dos principais cereais produzidos no mundo, porém enfrenta dificuldades para alcançar a sua real potencialidade produtiva em razão do ataque de pragas, principalmente o pulgão do sorgo (*Melanaphis sorghi*), que vem causando prejuízos significativos nas lavouras. Dessa forma, torna-se relevante a caracterização da resistência do sorgo a esse afídeo. Na literatura, é descrita a herança monogênica com participação de um único alelo dominante conferindo resistência ao pulgão. O objetivo deste estudo foi avaliar a base genética da resistência de linhagens de sorgo ao *M. sorghi*. Para isso, analisaram-se as linhagens Tx2783R (resistente) e CMSXS1111R (suscetível) e as gerações provenientes do seu cruzamento (F_1 , F_2 , RC_{11} , RC_{12} e F_3) em condições controladas. Infestaram-se as populações com o pulgão manualmente. Em seguida, ocorreu a avaliação do ataque do patógeno na planta de sorgo seguindo uma escala padrão de notas de injúria de 1 a 6. As análises estatísticas foram realizadas mediante o teste qui-quadrado com a formulação de hipóteses, e o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. A linhagem parental resistente Tx2783R mostrou-se resistente ao pulgão do sorgo, diferente da linhagem CMSXS1111R, que foi altamente suscetível. Os resultados das gerações F_1 , F_2 , RC_1 , RC_2 e F_3 indicam que a herança é do tipo monogênica com interação alélica de dominância em que um alelo é responsável pela manifestação do caráter mediante a confirmação da segregação da proporção de três plantas resistentes para uma suscetível na geração F_2 , padrão esperado para herança condicionada a um gene.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, *Melanaphis sorghi*, melhoramento vegetal, resistência genética.

Characterization of sorghum genotypes and study of inheritance of resistance to sorghum aphid (*Melanaphis sorghi*)

Abstract – Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is one of the main cereals crop in the world, but it faces problems to reach its real yield potential due to attacks by pests, especially the sorghum aphid (*Melanaphis sorghi*), which has been causing significant losses in field crops. Thus, it becomes relevant to characterize the resistance of sorghum to this aphid. In the published papers, monogenic inheritance with the participation of a single dominant gene conferring resistance to the aphid is described. The aim of this study was to evaluate the genetic basis of the resistance of sorghum lines to *M. sorghi*. The lines Tx2783R (resistant) and CMSXS1111R (susceptible) and the generations

from their crossing (F_1 , F_2 , RC_{11} , RC_{12} and F_3) under controlled conditions were analyzed. The populations were infested with the aphid manually. After this, the pathogen attack on the sorghum plant was evaluated according to a standard scale of injury scores from 1 to 6. Statistical analyses were performed using the chi-square test with the formulation of hypotheses, and the experimental design used was completely randomized. The resistant parental line Tx2783 was resistant to the sorghum aphid, unlike the CMSXS1111R line, which was highly susceptible. The results of the F_1 , F_2 , RC_{11} , RC_{12} and F_3 generations indicate that the inheritance is of the monogenic type with allelic interaction of dominance in which an allele is responsible for the manifestation of the trait through the confirmation of the F_2 segregation of the ratio of three resistant plants to one susceptible, an expected pattern for inheritance conditioned by one gene.

Index terms: *Sorghum bicolor*, *Melanaphis sorghi*, plant breeding, genetic resistance.

Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo (FAO, 2024). No ano de 2021, a produção mundial de grãos de sorgo chegou a mais de 61 milhões de toneladas, em uma área de 40,9 milhões de hectares (FAO, 2024). Já a produção brasileira, na safra 2023/2024 chegou a 4,6 milhões de toneladas, 3,5% inferior à safra anterior (Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2024). Essa redução se deve, principalmente, às condições climáticas adversas, o que contribui também com a redução da janela de plantio, conseqüentemente com o rendimento da cultura. No Brasil, o cultivo do sorgo é realizado durante a safrinha, como cultura de sucessão à soja, principalmente em regiões com menor índice pluviométrico, onde o milho safrinha não se desenvolve muito bem (Menezes et al., 2021). Com isso, o sorgo se destaca quando comparado a outros cereais, pois apresenta ciclo mais curto e maior tolerância ao déficit hídrico (Menezes, 2015).

Nos últimos anos, uma nova praga está causando grandes danos à cultura do sorgo, o pulgão-da-cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari* (Zehntner), Singh, 1897/ *Melanaphis sorghi* Theobald, 1904) (Fernandes et al., 2021). Esse inseto pode atacar as plantas em todos os estágios fenológicos, desde a emergência das plantas até a maturação fisiológica dos grãos (Teetes et al., 1983), e gerar danos irreparáveis à cultura, principalmente quedas consideráveis na produção e qualidade de grãos.

Uma vez que ainda não existem inseticidas registrados para o controle do pulgão em sorgo, a estratégia mais adequada é a utilização de cultivares resistentes. O uso de cultivares resistentes não eleva o custo de produção, é de fácil utilização e pode reduzir o uso de inseticidas químicos. O programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo vem trabalhando na seleção de cultivares mais resistentes e iniciando os estudos da herança gênica para resistência ao pulgão. Observa-se que há grande variabilidade para injúria nas linhagens utilizadas no programa de melhoramento de sorgo granífero, sendo possível a seleção de linhagens com bons níveis de resistência (Fernandes et al., 2021). Em vista disso, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar genótipos de sorgo e estudar a herança da resistência ao pulgão do sorgo em gerações descendentes do cruzamento entre linhagens contrastantes de sorgo granífero.

Por apresentar informações sobre a herança da resistência de sorgo ao pulgão amarelo e também apresentar informações importantes para o desenvolvimento de cultivares resistentes a insetos

pragas, resultando em menor uso de inseticidas e levando a uma produção mais sustentável de alimentos, este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 12 da Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas ONU: “Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis”, mais especificamente para a meta 12.4:

Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na estação da Embrapa Milho e Sorgo, situada em Sete Lagoas, MG, com o intuito de estudar a herança da resistência do sorgo ao pulgão. Foram avaliadas gerações do cruzamento entre as linhagens Tx2783R e CMSXS1111R. Estudaram-se, no total, 562 indivíduos, 40 indivíduos da geração P_1 (linhagem resistente), 40 indivíduos da geração P_2 (linhagem suscetível), 16 indivíduos da geração F_1 (geração resultante do cruzamento entre P_1 e P_2), 240 indivíduos de F_2 (geração obtida pela autofecundação da geração F_1), 40 indivíduos da geração RC_1 (retrocruzamento da geração F_1 com a linhagem resistente P_1), 38 indivíduos de RC_2 (retrocruzamento da geração F_1 com a linhagem resistente P_2) e 148 indivíduos da geração F_3 (geração obtida pela autofecundação da geração F_2).

As infestações foram iniciadas quando as plantas apresentaram de quatro a cinco folhas completamente desenvolvidas. Após 15 a 30 dias, foram feitas as avaliações de injúria e infestação, que ocorreram semanalmente. As avaliações de infestação e de injúrias foram baseadas em uma escala de notas de 1 a 6 (nota 1 = 20% de infestação, 2 = 40% de infestação, 3 = 60% de infestação, 4 = 80% de infestação e 5 = 100% de infestação) e (nota 1 = 10% de injúria, 2 = 20% de injúria, 3 = 40% de injúria, 4 = 60% de injúria, 5 = 80% de injúria e 6 = 100% de injúria/ planta morta), de acordo com Fernandes et al. (2021).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Genes (Cruz, 2013). Realizou-se a análise de variância, de acordo com o delineamento experimental proposto, e foram estimados os componentes de variância, as médias e os valores fenotípicos máximos e mínimos. As médias de todas as características foram comparadas utilizando o método de Tukey (1953). Para testar o tipo de herança gênica, todas as gerações foram avaliadas quanto à resistência ou susceptibilidade ao pulgão, de acordo com infestação e injúria e submetidos ao teste qui-quadrado para testar a hipótese de segregação gênica.

Resultados e discussão

Para o estudo da herança da resistência ao pulgão *M. sorghi*, considerou-se a classificação das plantas de todas as gerações como resistente (nota menor ou igual 3) ou suscetível (nota maior que 3), de acordo com as notas de injúria e infestação, ambas variando de 10% (nota 1) a 100% (nota 6). Os resultados da análise de média e a distribuição de frequência para as características de resistência e susceptibilidade estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise da segregação das gerações (P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , RC_1 , RC_2 e F_3), e teste qui-quadrado em populações de sorgo para investigação da segregação.

Classe fenotípica	Número de plantas ¹			Segregação esperada	Nota média de injúria	χ^2
	R	S	Total			
Tx2783R (P_1)	39	1	40		2,63	
CMSXS1111R (P_2)	1	39	40		5,70	
F_1	14	2	16		2,81	
F_2	182	58	240	3R:1S	3,64	0,089 ^{ns}
$F_1 \times P_1$ (RC_1)	35	5	40	100% R	2,78	0,625 ^{ns}
$F_1 \times P_2$ (RC_2)	25	13	38	1R:1S	3,79	3,789 ^{ns}
F_3	121	27	148	3R:1S	3,24	3,60 ^{ns}

¹ Resistente (Nota de injúria < 4). Suscetível (Nota de injúria $\geq$ 4).

² (1;0,05) = 3,84.

Observando a Tabela 1, é possível verificar que a nota média de injúria atribuída ao parental resistente (P_1) foi de 2,63 e para o parental suscetível (P_2) foi de 5,70, evidenciando que são genótipos contrastantes para a característica de interesse. A maioria das plantas do genótipo resistente (Tx2783R) obteve nota menor ou igual a 3 (97,5%), o que corrobora com os resultados de Armstrong et al. (2015), que também observaram que o genótipo Tx2783R foi altamente resistente ao pulgão. Em contrapartida, o genótipo suscetível (CMSXS1111R) apresentou somente uma planta com nota menor que 4, o restante mostrou-se superior ou igual nota 4 (97,5%).

As notas médias das gerações F_1 e RC_1 foram as menores dentre as demais gerações e próximas à nota obtida pelo parental resistente, sendo 2,81 e 2,78, respectivamente, apontando a maior resistência e a possibilidade de ser um caso de dominância completa. Ao avaliar a geração F_1 , com nota de 2,81, verificou-se um melhor desempenho em relação à média dos genitores (4,17), indicando uma possível existência da heterose para a resistência ao pulgão, uma vez que quanto menor o valor da nota maior é a resistência à praga.

Com base na análise dos resultados da distribuição de frequência das gerações segregantes F_2 a F_3 , identificou-se que a proporção observada se assemelha à proporção esperada, de três plantas resistentes para uma suscetível. Isso sugere que a herança da resistência do genitor Tx2783R é monogênica e controlada por um único alelo dominante, uma vez que a segregação de 3:1 (resistente: suscetível) foi confirmada pelo teste de qui-quadrado a 5% de probabilidade. A segregação encontrada na geração F_2 no presente estudo corrobora com os resultados obtidos por Hsieh e Pi (1982), Tan et al. (1985), Manthe (1992) e Tetreault et al. (2019), que indicaram que a resistência é monogênica e controlada por um único gene dominante.

No retrocruzamento com o parental resistente (RC_1), observou-se maior frequência de plantas resistentes, o que era esperado no caso de herança monogênica, uma vez que todos os indivíduos apresentariam pelo menos um alelo resistente. Já no retrocruzamento com o parental suscetível (RC_2), a proporção esperada seria de uma planta resistente, para uma planta suscetível, o que foi confirmado pelo teste qui-quadrado (Tabela 1).

Para a população F_3 , obtida pela autofecundação de plantas resistentes da geração F_2 , constatou-se nota média de injúria de 3,24, resultado próximo à média da geração F_2 (3,64), o que indica que há uma estabilidade da resistência nas futuras gerações. A proporção fenotípica de 3:1

(resistente: suscetível) para a resistência ao pulgão do sorgo também não foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, assemelhando-se à geração F_2 .

Conclusão

Os resultados deste trabalho estão em conformidade com a literatura que constatou que a resistência ao pulgão *M. sorghi* pode ser de herança do tipo monogênica apresentando interação alélica de dominância completa. Portanto, um ou poucos genes confere resistência ao sorgo contra o ataque de pulgão amarelo, e isso facilita o processo de seleção e obtenção de híbridos resistentes.

Referências

- ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos: safra 2023/24: 8º levantamento, v. 11, n. 8, maio 2024. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- ARMSTRONG, J. S.; ROONEY, W. L.; PETERSON, G. C.; VILLENUEVA, R. T.; BREWER, M. J.; SEKULA-ORTIZ, D. Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): host range and sorghum resistance including cross-resistance from greenbug sources. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 2, p. 576-582, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tou065>.
- CRUZ, C. D. GENES: software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- FAO. **FAOSTAT**: crops and livestock products. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- FERNANDES, F. O.; SOUZA, C. da S. F.; AVELLAR, G. S. de; NASCIMENTO, P. T.; DAMASCENO, N. C. R.; SANTOS, N. M. dos; LIMA, P. F.; SANTOS, V. M. C. dos; SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, R. A. da C.; MENEZES, C. B. de; OLIVEIRA, I. R. de; MENDES, S. M. **Manejo do pulgão da cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari/sorghii*) na cultura do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 24 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 249). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1131566/1/COT-249.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- HSIEH, J.; PI, C. P. Genetic study on aphid resistance in sorghum. **Journal Agricultural Association of China**, v. 117, p. 6-14, 1982.
- MANTHE, C. S. **Sorghum resistance to sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae)**. 1992. 166 f. Tese (Doutorado) - Texas A&M University, College Station, 1992.
- MENEZES, C. B. de (ed.). **Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 176). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1020186/1/doc176.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- MENEZES, C. B. de; FERNANDES, E. de A.; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; RODRIGUES, J. A. S. Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. In: MENEZES, C. B. de (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 13-58. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138284/1/Cap-1-Importancia-do-sorgo.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: consumo e produção responsáveis: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 13 maio 2024.
- TAN, W. Q.; LI, S. M.; GUO, H. P.; GAO, R. P. A study of the inheritance of aphid resistance in sorghum. **Shanxi Agricultural Science**, n. 8, p. 12-14, 1985.

TEETES, G. L.; REDDY, K. V. S.; LEUSCHNER, K.; HOUSE, L. R. **Sorghum insect identification handbook**. Andhra Pradesh: ICRISAT, 1983. 124 p. (ICRISAT. Information Bulletin, 12).

TETREAULT, H. M.; GROVER, S.; SCULLY, E. D.; GRIES, T.; PALMER, N. A.; SARATH, G.; LOUIS, J.; SATTLER, S. E. Global responses of resistant and susceptible sorghum (*Sorghum bicolor*) to sugarcane aphid (*Melanaphis sacchari*). **Frontiers in Plant Science**, v. 10, article 145, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00145>.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons**. New Jersey: Princeton University, 1953.