

CIRCULAR TÉCNICA

274

Sete Lagoas, MG
Novembro, 2021

Tolerância diferencial de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron

Maurilio Fernandes de Oliveira
Roberto dos Santos Trindade
Antônio Carlos de Oliveira
Daniel Barbosa Sallum



Tolerância diferencial de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron¹

Introdução

O milho é uma das principais culturas da agricultura brasileira, não somente no aspecto produtivo, como também no que diz respeito à sua importância estratégica, por ser um dos principais componentes em rações para nutrição animal, servindo assim, conseqüentemente, como uma das bases para a alimentação humana.

A recomendação de herbicidas para as culturas deve considerar a seletividade para a cultura. Plantas são consideradas como sensíveis quando seu crescimento e seu desenvolvimento são alterados pela ação de uma molécula química, de um herbicida. Por outro lado, a tolerância consiste na capacidade inata da planta sobreviver e se reproduzir após o tratamento herbicida, mesmo sofrendo injúrias (Vargas; Roman, 2006). Tanto a tolerância quanto a sensibilidade a herbicidas são características altamente relacionadas com a variabilidade genética natural da espécie, e podem ser alteradas por pressão de seleção, mutação, cruzamento entre genótipos tolerantes e sensíveis, e/ou biotecnologia. O presente trabalho apresenta uma avaliação comparativa da tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron, contribuindo para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável ODS 2 : Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”, já que a recomendação do uso de defensivos, dentro das normas e com as dosagens recomendadas, favorece a produção de alimento de forma mais sustentável.

¹ Maurilio Fernandes de Oliveira, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Produção Vegetal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo; Roberto dos Santos Trindade, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo; Antônio Carlos de Oliveira, Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Estatística e Experimentação Agronômica, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo; Daniel Barbosa Sallum, Engenheiro-Agrônomo, MBA em Agronegócio, *trainee* na AP Agrícola em São Roque de Minas, MG.

A correta utilização de herbicida demanda informações de dosagem, época de aplicação, condição climática, tolerância das culturas ao produto, da formulação do herbicida, além do conhecimento das espécies de plantas daninhas controladas pelo produto.

O nicosulfuron é importante herbicida para o milho aplicado em pós-emergência para o controle de gramíneas e de algumas folhas largas na dosagem de 50 a 60 g i.a. ha⁻¹ (Rodrigues; Almeida, 2011). Estudos de seletividade de herbicidas no milho, incluindo este herbicida, mostram a necessidade de se conhecer o adequado estágio fenológico da cultura para a aplicação dos produtos (López-Ovejero et al., 2003). Em razão da tolerância diferencial do milho ao nicosulfuron, o potencial de uso e registro deste herbicida deve ser restrito a determinadas cultivares que tolerem o herbicida. A seletividade do nicosulfuron, herbicida do grupo das sulfonilureias, ao milho deve-se à sua capacidade de metabolizar o produto em compostos não ativos. Cultivares tolerantes metabolizam herbicidas sulfonilureias mais rapidamente (Green; Ulrich, 1994).

A ação do nicosulfuron na planta é pela inibição da enzima acetolactato sintase-(ALS) (Oliveira Júnior et al., 2011). Esta enzima é lábil e apresenta isoformas. A tolerância diferencial do milho ao nicosulfuron está amplamente descrita na literatura (Oliveira Júnior et al., 2011; Cavalieri et al., 2008; Pereira Filho et al., 2000; López-Ovejero et al., 2003). Cavalieri et al. (2008), citando diversos autores, descreve que, na maioria dos híbridos de milho, a tolerância é mais acentuada nos estádios iniciais de desenvolvimento. Estes mesmos autores descrevem ainda que híbridos considerados tolerantes aos herbicidas pertencentes ao grupo químico das sulfonilureias podem apresentar sensibilidade, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, do ambiente e da dose utilizada. Estes autores descrevem ainda resultados de redução do número de grãos por espiga e da massa de grãos quando a aplicação do nicosulfuron foi realizada nos estádios de seis e nove folhas expandidas.

Os sintomas de fitotoxicidade de nicosulfuron em híbridos sensíveis de milho são mais evidentes a partir do quinto dia até os 14 dias após a aplicação. A recomendação da aplicação de nicosulfuron é para o milho em estágio de até seis folhas completamente expandidas. A partir deste estágio, o milho intercepta muito do produto que deveria atingir as plantas daninhas (efeito

guarda-chuva). Os possíveis sintomas no milho são: faixa clorótica (amarellecimento) transversal na região central da folha, enrugamento da folha, enrugamento e “retorcimento” das folhas do cartucho, redução de crescimento e dessecação com morte de plantas (em cultivares altamente sensíveis) (Figura 1).

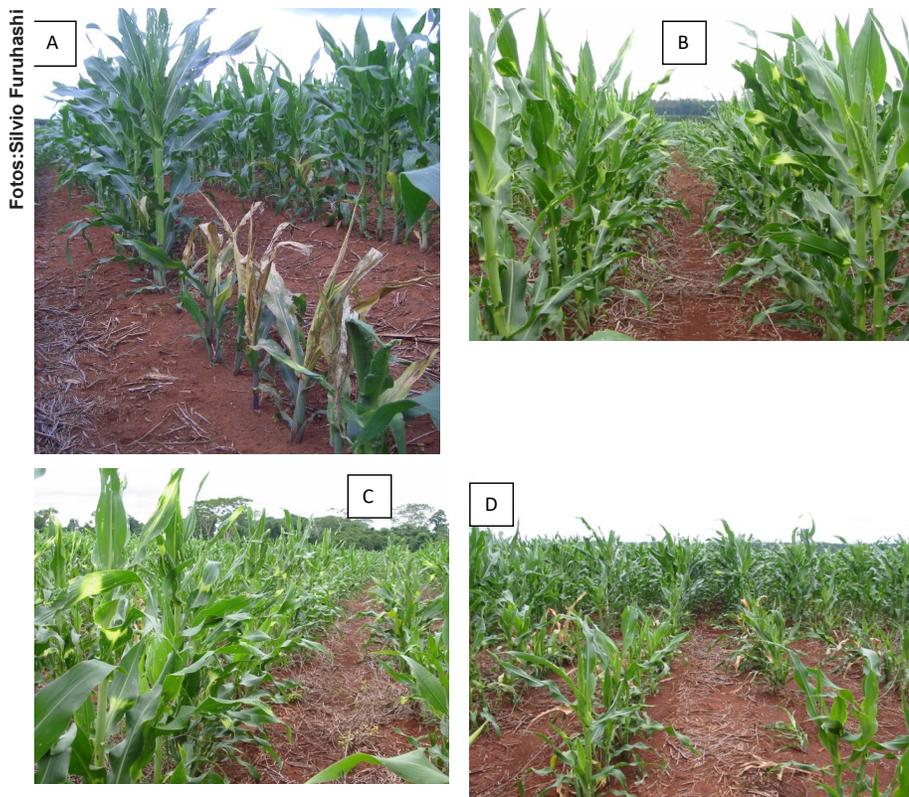


Figura 1. Sintomas de fitotoxicidade de nicosulfuron no milho: A : redução do crescimento e morte das plantas sensíveis; B e C: faixa clorótica transversal, enrugamento das folhas; e D: redução do crescimento e retorcimento das folhas do cartucho.
Fonte: Silvio Furuhashi, ISKBiosciences

O nicosulfuron é aplicado em baixa dosagem e tem sido verificado para alguns híbridos alto nível de injúrias (Meyer et al., 2010; Liu et al., 2015), demandando a avaliação da herança da capacidade de metabolizar o nicosulfuron em milho. Kang (1993), avaliando cruzamentos entre linhagens resistentes e sensíveis a este herbicida, observou um mecanismo de herança simples determinado pela presença de um gene recessivo em homozigose, denominado *nsf1*. Entretanto, a análise de transcriptoma relacionada ao metabolismo do nicosulfuron em milho indicou a ação de oito genes envolvidos no processo de detoxicação da planta pós-aplicação do herbicida (Liu et al., 2015). Este fator denota a hipótese de que a resposta ao herbicida em milho é determinada pela expressão diferencial de um conjunto de genes, os quais atuam inclusive em processo regulatório e de pós-transcrição de metabólitos. Assim, a possível variabilidade de resposta ao nicosulfuron torna necessária a avaliação da tolerância de novos híbridos, variedades e linhagens aos herbicidas do grupo sulfonilureas.

Oliveira et al. (2018) avaliaram quatro linhagens e três híbridos experimentais e pré-comerciais de milho quanto à resposta à aplicação de nicosulfuron. Neste trabalho, não foi identificada redução na produção de milho em função de doses crescentes do herbicida. Além disso, esses mesmos autores, Oliveira e Trindade (2018), avaliaram a seletividade do nicosulfuron em um grupo de seis linhagens e seis híbridos. Os resultados demonstraram que, também, não houve redução da produtividade de grãos dos híbridos e da produtibilidade de sementes das linhagens. A avaliação da tolerância dos híbridos experimentais 2E530, 1F640, do híbrido triplo BRS 3042 e das linhagens CMS M036, CMS M037, CMS M035 e L-541145 ao nicosulfuron (Nicosulfuron Nortox 40) não mostrou sintomas de fitotoxicidade e redução na produtividade de grãos do milho (Oliveira; Trindade, 2020).

A bula do nicosulfuron descreve que o produto é seletivo para a maioria das cultivares comerciais de milho, mas existem alguns híbridos/variedades que não devem ser tratados com o produto. Por isso, antes de aplicá-lo, o fabricante recomenda que o usuário consulte a “Lista de híbridos e variedades recomendados para o controle de plantas daninhas com o herbicida em razão da possibilidade de fitotoxicidade”. Essa lista encontra-se junto à embalagem da semente ou com o fornecedor do produto. Para alguns dos híbridos e variedades em que é recomendada aplicação do nicosulfuron, poderão ser

observados sintomas iniciais de fitotoxicidade. Esses sintomas desaparecem naturalmente, sem interferir na produtividade.

Os experimentos foram implantados nas safras 2019/2020 e 2020/2021 com o objetivo de se conhecer a tolerância de 10 híbridos de milho comerciais ao nicosulfuron. Os híbridos em 2019 foram Semeali XB8010, 60XB14, 70XB07, 70XB03, SHS5560, BM790PRO2, BM950PRO3, K9555VIP3, K9960VIP3 e BRS2022. Em 2020, os híbridos foram Semeali XB8010, 60XB14, 70XB07, 70XB03, BM3069PRO2, SHS7930PRO2, SHS5570PRO2, BM3063PRO2, K9555VIP3, K9960VIP3 e BRS2022. Em ambos os experimentos, foram plantadas seis sementes por metro no dia 28/11/2019 e no dia 22/12/2020 em quatro linhas de 5 m espaçadas de 70 cm. A adubação de plantio foi 450 kg ha⁻¹ de 08-28-16 + Zn + B. A adubação nitrogenada foi realizada em 20/12/2019 e em 20/01/2021 (no estádio próximo de quatro folhas) na dosagem de 250 kg ha⁻¹ de ureia. A aplicação do herbicida foi realizada na formulação Sanson SC em 16/12/2019. Em 11/01/2021 foi realizada a aplicação do Nicosulfuron Nortox 40. As dosagens foram 0, 40 e 60 g i.a. ha⁻¹. Em ambos os anos, para a aplicação dos herbicidas, respeitou-se o intervalo da aplicação da ureia. O herbicida foi aplicado com pulverizador costal pressurizado com CO₂ contendo seis bicos tipo leque regulado para a vazão de 150 L ha⁻¹. O delineamento experimental foi blocos casualizados com 10 tratamentos, híbridos de milho comerciais anteriormente mencionados, e três repetições. A colheita mecanizada do milho foi realizada nas duas linhas centrais.

As avaliações de fitotoxicidade foram realizadas aos 7, 15, 30, 45 e 60 dias após a aplicação (DAA) do herbicida. Utilizou-se para avaliar a escala visual de 1 a 9, sendo 1 ausência de fitotoxicidade e 9 fitotoxicidade máxima (Frans, 1972, modificada). A avaliação visual foi realizada com base na observação do amarelecimento das folhas e da alteração na altura das plantas, ambos em relação à testemunha sem herbicida, em ambas as safras. Em adição às avaliações de fitotoxicidade no milho por atribuição de notas, na safra 2020/2021 mensurou-se também a altura média de plantas em 01/02/2021.

Nas duas safras a produtividade foi corrigida para 13% de umidade nos grãos. Para comparar os híbridos, quanto à tolerância ao nicosulfuron, as produtividades médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Na safra 2019/2020, observaram-se severos sintomas, como amarelecimento foliar, necrose e paralisação do crescimento no híbrido XB8010 aos 7 dias após aplicação (DAA), com nota 6 em relação à testemunha (Figura 2). Aos 15 DAA, o sintoma observado foi redução no crescimento, recebendo nota 4. Menor fitotoxicidade (nota 5) foi observada no híbrido 60XB14. Similarmente, este híbrido não apresentou os sintomas de fitotoxicidade aos 15 DAA (nota 2). Os híbridos BM790 PRO2, K9960 VIP3 e BRS 2022 apresentaram sintomas leves de fitotoxicidade aos 7 DAA, recebendo as notas, 4, 3 e 2, respectivamente. Aos 15 DAA não foram observados sintomas nestes híbridos, atribuindo-se a eles a nota 1. Nestes três últimos híbridos, o sintoma de fitotoxicidade caracterizou-se por redução do crescimento das plantas. Nas avaliações visuais de sete para 15 dias houve mudança nas condições do tempo, que passou de tempo seco e quente com céu claro, aberto, para o tempo nublado, fechado, com temperatura mais amena e mais chuvoso, respectivamente (Figura 3). Nesta figura, observa-se após a data de aplicação do herbicida em 16/12, a radiação global (A) que reduziu-se por causa da precipitação (B) neste período.



Figura 2. Sintomas de fitotoxicidade do herbicida nicosulfuron nas plantas do híbrido XB8010 aos 7 dias após aplicação. Safra 2019/2020.

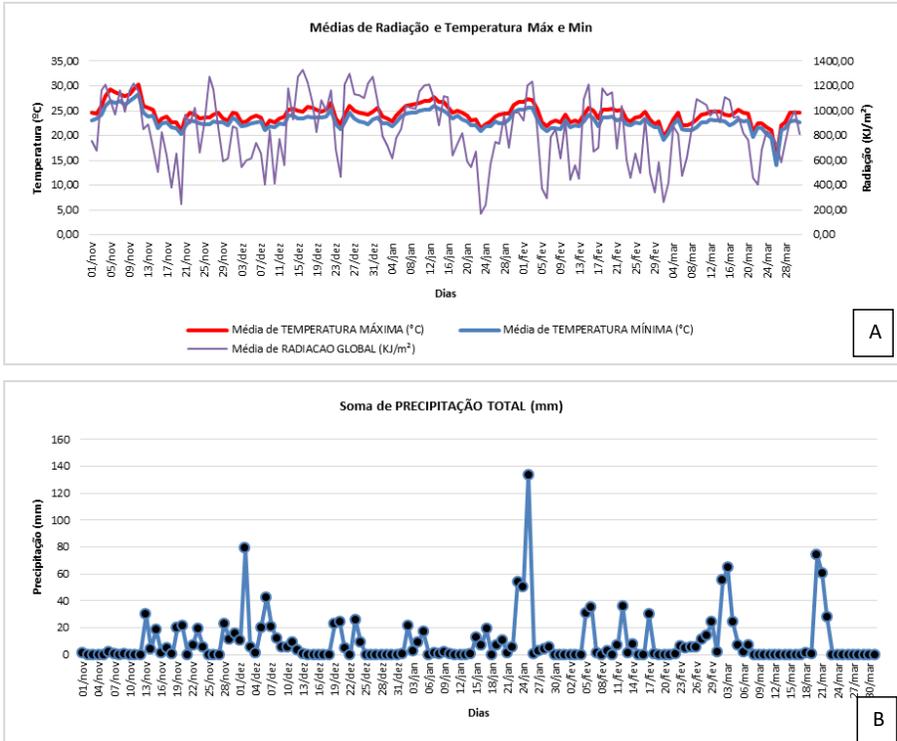


Figura 3. Valores médios de temperatura máxima e mínima, média de radiação global (A) e precipitação (B) no período experimental, plantio 2019/2020. Sete Lagoas-MG.

Observaram-se diferenças significativas entre os híbridos para altura de plantas e de espiga, ao nível de 1% de probabilidade. A dosagem afetou significativamente, a 1% de probabilidade, a altura de plantas e da espiga, independentemente do híbrido. Para o estande de plantas, os híbridos diferiram significativamente, a 1% de probabilidade, mas não houve diferenças significativas entre dosagens. O híbrido BRS2022 apresentou o menor estande, com aproximadamente 12 plantas a menos que nos outros híbridos. Similarmente, o total de espigas apresentou diferença entre os híbridos (significativo a 1%). Os híbridos XB8010 e o BRS 2022 apresentaram o menor número médio de espigas (43 e 42 espigas, respectivamente). Por outro lado, os híbridos BM 950 PRO3 (57 espigas) e K9960 VIP3 (68 espigas) apresentaram o maior número médio de espigas.

Tabela 1. Produtividade média de grãos dos híbridos submetidos a dosagens crescentes do herbicida nicosulfuron, (t-ha⁻¹) safra 2019/2020, Sete Lagoas-MG.

Híbrido	Dose (g i.a. ha ⁻¹)		
	0	40	60
Semeali XB 8010	8,22 a	6,80 a b	6,26 b
Semeali 60 XB14	8,51 a	8,98 a	7,86 a
Semeali 70XB0	8,38 a	9,36 a	8,42 a
Semeali 70XB03	8,79 a	9,22 a	8,48 a
SHS 5560	8,25 a	8,05 a	7,52 a
BM790 PRO2	7,63 a	7,36 a	8,07 a
BM950 PRO3	8,45 a	7,81 a	7,74 a
K9555 VIP3	8,16 a	8,37 a	8,55 a
K9960 VIP3	8,16 a	6,66 a	7,42 a
BRS 2022	5,81 a	6,01 a	6,05 a

1/ Na linha, as médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey

Para a produtividade de grãos observou-se efeito significativo entre dosagens apenas para o híbrido XB8010. A aplicação da maior dose de nicosulfuron neste híbrido resultou na redução da produtividade de grãos de 2 t ha⁻¹ em relação à ausência do herbicida. Não se observaram diferenças na produtividade entre dosagens para os outros híbridos.

Na safra 2020/2021, os híbridos apresentaram diferenças significativas na altura de planta e na altura de espiga (significativo a 5%). A dosagem do herbicida não influenciou a altura da planta e nem a altura da espiga. Os híbridos apresentaram diferenças na produtividade de grãos a 5%. A dosagem do nicosulfuron não modificou a produtividade de grãos dos híbridos (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade média de grãos (t ha⁻¹) dos híbridos submetidos a dosagens crescentes do herbicida nicosulfuron, safra 2020/2021, Sete Lagoas-MG.

Híbrido	Dose (g i.a. ha ⁻¹)		
	0	40	60
Semeali XB 8010	8,90 a	8,00 a	8,45 a
Semeali 60XB14	10,97 a	10,72 a	10,19 a
Semeali 70XB07	9,52 a	10,50 a	9,69 a
BM 3069 PRO2	8,71 a	8,78 a	8,94 a
SHS 7930 PRO2	10,99 a	11,15 a	10,86 a
SHS5570 PRO2	9,97 a	10,95 a	9,77 a
BM 3063 PRO2	9,72 a	8,72 a	9,24 a
K 9555 VIP 3	10,88 a	10,04 a	9,38 a
K 9960 VIP 3	8,95 a	8,32 a	8,71 a
BRS 2022	8,64 a	8,70 a	8,17 a

1/ Na linha, as médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey

No geral, os híbridos apresentaram maiores valores de produtividade de grãos em 2020/2021 em relação ao ano 2019/2020. O BRS2022 apresentou maiores produtividade de grãos na safra 2020/2021.

Na figura 4, as condições de tempo para o período experimental, na safra 2020/2021. No período de estiagem após a aplicação do herbicida em 11/01/2021 foi realizada irrigação segundo demanda da cultura.

Tolerância diferencial de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron

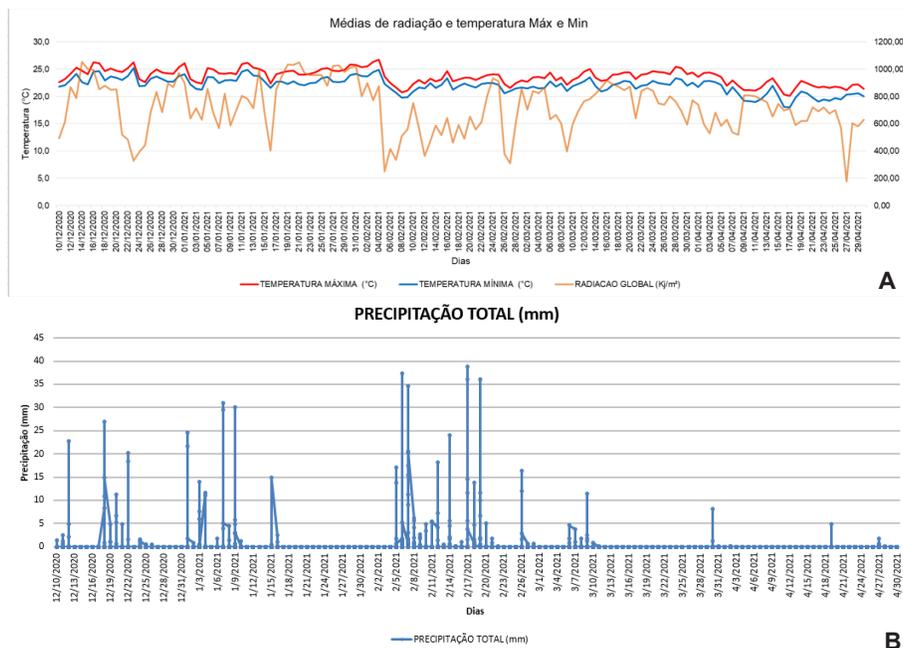


Figura 4. Valores médios de temperatura máxima e mínima, média de radiação global (A) e precipitação (B) no período experimental, plantio 2020/2021. Sete Lagoas-MG.

Observa-se que o híbrido XB8010 apresentou resposta de fitotoxicidade diferente ao herbicida nas duas safras. Os outros híbridos apresentaram também comportamento similar no mesmo período. É importante salientar que as formulações do herbicida em 2019/2020 e 2020/2021 foram diferentes. Para mesmo híbrido com sensibilidade ao nicosulfuron, a formulação Sanson SC é referida como sendo a de maior capacidade de causar fitotoxicidade no milho².

Os híbridos XB8010 e BRS 2022 são classificados como sensíveis ao nicosulfuron na formulação Sanson SC. Apesar da forte fitotoxicidade do híbrido XB8010 aos 7 dias após aplicação (Figura 2), aos 15 dias este híbrido não apresentou os sintomas de amarelecimento foliar, somente menor cres-

² Informação pessoal de Silvio Furuhashi, ISKBiosciences

cimento das plantas. Importante descrever que a produtividade do híbrido XB8010 foi similar aos outros híbridos. Por outro lado, estes dois híbridos não apresentaram fitotoxicidade ao nicosulfuron na formulação Nicosulfuron Nortox 40 na safra 2020/2021.

O nicosulfuron foi seletivo para os híbridos, sem danos à produtividade. Portanto, por causa dos severos sintomas de fitotoxicidade apresentados no híbrido XB8010 a empresa que comercializa este herbicida não o recomenda para o manejo de plantas daninhas.

Agradecimentos

À Embrapa e à ISKBiosciences, por patrocinarem a realização do trabalho. Às empresas KWS, Biomatrix e Semeali, por doarem as sementes. Aos técnicos agrícolas Davidson de Araújo Silva e Eduardo Elias de Faria. Ao assistente Almir Roberto da Silva.

Referências

CAVALIERI, S. D.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; RIOS, F. A.; FRANCHINI, L. H. M. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 203-214, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100021>.

FRANS, R. W. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. W. (ed.). **Research methods in weed science**. Puerto Rico: Weed Science Society of America, 1972. p. 28-41.

GREEN, J. M.; ULRICH, J. F. Response of maize (*Zea mays*) inbreds and hybrids to nicosulfuron. **Pesticide Science**, v. 40, p. 187-191, 1994.

KANG, M. S. Inheritance of susceptibility to nicosulfuron herbicide in maize. **Journal of Heredity**, v. 84, n. 3, p. 216-217, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a111321>.

LIU, X.; XU, X.; LI, B.; WANG, X.; WANG, G.; LI, M. RNA-seq transcriptome analysis of maize inbred carrying nicosulfuron-tolerant and nicosulfuron-sus-

ceptible alleles. **International Journal of Molecular Science**, v. 16, n. 3, p. 5975-5989, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijms16035975>.

LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA Y GARCIA, A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade de herbicidas para a cultura de milho (*Zea mays*) aplicados em diferentes estágios fenológicos da cultura. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 413-419, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000300009>.

MEYER, M. D.; PATAKY, J. K.; WILLIAMS, M. M. Genetic factors influencing adverse effects of mesotrione and nicosulfuron on sweet corn yield. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 4, p. 1138-1144, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2010.0093>.

OLIVEIRA, M. F. de; TRINDADE, R. dos S.; FURUHASHI, S.; BRESSANIN, F. N.; HEBACH, F. C. **Seletividade do nicosulfuron em linhagens e híbridos de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 237).

OLIVEIRA, M. F. de; TRINDADE, R. dos S. **Seletividade do nicosulfuron em linhagens e híbridos de milho - fase II**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 246).

OLIVEIRA, M. F. de; TRINDADE, R. dos S. **Seletividade do nicosulfuron em linhagens e híbridos de milho - fase III**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 264).

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. 348 p.

PEREIRA FILHO, I. A.; OLIVEIRA, M. F.; PIRES, N. M. Tolerância de híbridos de milho ao herbicida nicosulfuron. **Planta Daninha**, v. 18, n. 3, p. 479-482, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000100021>.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 22 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 58).

Literatura Recomendada

OHMES, G. A.; KENDIG, J. A. Inheritance of an ALS cross-resistant common cocklebur (*Xanthium strumarium*) biotype. **Weed Technology**, v. 13, n. 1, p. 100-103, 1999.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In BORÉM, A. (org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 429-485.

TROYER, F. Temperate corn: background, behavior, and breeding. In: HALLAUER, A. R. (ed). **Specialty corns**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 359-468.



Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
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/sac

1ª edição
Publicação digital (2021)

Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e
Maria Cristina Dias Paes

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mônica Aparecida de Castro

Fotos da capa
Maurilio Fernandes de Oliveira

CGPE 017109