

MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA COMO CRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÃO DE CONTROLE E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS DANINHAS INFESTANTES DO FEIJOEIRO

LETICIA BAMPI^{1,2}, FLÁVIA B. LAZZARI^{1,2}, RENATA P. ZICATTO^{1,2}, LUCAS
TEDESCO^{1,2}, EDUARDO HENRIQUE S. CECHET^{1,2}, OTÁVIO A. DASSOLER^{1,2},
GABRIELI E. ZAMBONI^{1,2}, RODRIGO J. TONIN^{2,3}, LEANDRO GALON^{2,4*}

1 Introdução

A ocorrência de plantas daninhas competindo com a cultura do feijoeiro por espaço, água, nutrientes e luz, afeta negativamente a produtividade e a qualidade dos grãos colhidos. As plantas daninhas quando não controladas podem ocasionar perdas na produtividade do feijoeiro superior a 80% (KALSING & VIDAL, 2013; GIACOMINI et al., 2024). Além disso, as plantas daninhas podem liberar compostos alelopáticos, hospedam pragas e doenças que interferem negativamente na cultura ou mesmo interferem nos processos de colheita, com baixo rendimento operacional (KALSING & VIDAL, 2013; BEIERMANN et al., 2022).

Em decorrência de perdas na colheita, os grãos de milho geneticamente modificado, resistente a vários herbicidas, ficam distribuídos no solo, germinam e emergem na forma de plantas voluntárias. Nesse caso as plantas voluntárias de milho dispersas após a colheita, podem afetar a produtividade e a qualidade de grãos de feijão, acarretando em prejuízos econômicos para os agricultores.

2 Objetivos

Avaliar qual o melhor modelo matemático, a habilidade competitiva e identificar variáveis explicativas visando determinar o critério para adoção do nível de dano econômico de milho voluntário infestante da cultura do feijoeiro do tipo preto e carioca, estimados em função de cultivares e de densidades do competidor.

3 Metodologia

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Federal

¹ Acadêmica do curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim, contato: bampileticia05@gmail.com.

² Grupo de Pesquisa: Manejo Sustentável dos Sistemas Agrícolas (MASSA).

³ Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), Universidade Federal da Fronteira Sul.

⁴ Professor Doutor, Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Erechim, *Orientador.

da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, em delineamento completamente casualizado. Os tratamentos foram compostos pelas cultivares de feijoeiro do tipo preto: IAC 2358 Unamax (C1, IPR Urutau (C2) e IAC Veloz (C3) e do tipo carioca: IAC 1849 Polaco (C4), IPR Sabiá (C5) e IPR Águia (C6). Estas cultivares foram submetidos a convivência com 12 densidades distintas de milho voluntário na safra agrícola 2024/25: C1 versus 0,0; 0,2; 0,5; 0,9; 1,0; 1,4; 1,5; 1,9; 3,7; 3,9; 4,1 e 5,2; C2 versus 0,0; 0,2; 1,1; 1,5; 2,1; 2,9; 3,0; 3,3; 3,7; 4,1; 4,8 e 5,6; C3 versus 0,0; 0,6; 0,7; 1,5; 2,2; 2,3; 3,1; 3,0; 4,0; 5,1; 5,8 e 5,8; C4 versus 0,0; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 2,5; 2,5; 3,7; 4,2; 4,5; 4,9 e 5,2; C5 versus 0,0; 0,5; 1,0; 1,7; 1,8; 2,6; 2,8; 3,1; 3,1; 4,5; 5,1 e 5,7; C6 versus 0,0; 0,4; 0,5; 1,3; 1,7; 2,1; 2,7; 2,9; 3,5; 3,5; 4,5 e 4,9 plantas m⁻².

Cada unidade experimental (parcela) foi composta por área de 15,0 m² (3,0 x 5,0 m), sendo a semeadura realizada em 6 linhas, com 5 m de comprimento e espaçadas a 0,50 m. A densidade de semeadura das cultivares de feijoeiro foi de 12 sementes m⁻¹ ou aproximadamente 240.000 sementes ha⁻¹. Os manejos e tratamentos culturais utilizados foram aqueles indicados à cultura do feijoeiro.

Como variáveis avaliou-se a densidade de plantas de milho voluntário (m²), a produtividade de grãos de feijão (kg ha⁻¹), o custo de controle (US\$ ha⁻¹), o preço do feijão (US\$ 60 kg⁻¹) e a eficiência do herbicida (%). Para o cálculo do nível de dano econômico (NDE) utilizou-se as estimativas do parâmetro *i* obtidas através das Equações 1 (COUSENS, 1985) e 2 (LINDQUIST & KROPFF, 1996): $P_p = (i \cdot X) / [1 + (i/a) \cdot X]$, Equação 1, em que: P_p = perda de produtividade de grãos (%); X = densidade de milho voluntário e *i* e *a* = perdas de produtividade (%) por unidade de plantas de milho voluntário quando o valor da variável se aproxima de zero e quando tende ao infinito, respectivamente; NDE: $((C_c / (R \cdot P \cdot (i/100) \cdot (H/100)))$, Equação 2, onde: NDE = nível de dano econômico (plantas m⁻²); C_c = custo do controle (herbicida cletodim 108 g ha⁻¹ + óleo mineral 0,5% v/v e aplicação terrestre tratorizada, em dólares ha⁻¹); R = produtividade de grãos de feijão (kg ha⁻¹); P = preço do feijão (dólares kg⁻¹ de grãos); *i* = perda (%) de produtividade do feijão por unidade de planta competidora quando o nível populacional se aproxima de zero e H = nível de eficiência do herbicida (%). Para as variáveis C_c , R , P e H (Equação 2) foram estimados três valores ocorrentes nos últimos 10 anos. Assim, para o custo de controle (C_c), considerou-se o preço médio dos últimos 10 anos, sendo o custo máximo e mínimo alterados em 25%, em relação ao custo médio. A produtividade de grãos de feijão (R) foi baseada na menor, média e maior obtidas no Brasil, nos últimos 10 anos. O preço do produto (P) foi estimado a partir do menor, médio e maior preço do feijão pagos a 60 kg, nos últimos

10 anos. Os valores para a eficiência do herbicida (H) foram estabelecidos na ordem de 80, 90 e 100% de controle, sendo 80% o controle mínimo considerado eficaz da planta daninha.

4 Resultados e Discussão

O valor da estatística F foi significativo para a densidade de plantas de milho voluntário infestante de todas as cultivares de feijoeiro (Tabela 1). Os resultados demonstram que todas as cultivares de feijoeiro ajustaram-se adequadamente ao modelo da hipérbole retangular, com valores de R^2 superiores a 0,60 para a densidade de plantas e baixo quadrado médio do resíduo (QMR). Resultados similares também foram encontrados por GIACOMINI et al., (2024) ao trabalharem com soja voluntária infestando cultivares de feijoeiro do tipo preto e carioca.

Tabela 1. Ajustes obtidos com o modelo da hipérbole retangular de Cousens (1985) para perda de produtividade de grãos por interferência de milho voluntário, em função de cultivares de feijoeiro do tipo preto: IAC 2358 Unamax, IPR Urutau e IAC Veloz e do tipo carioca: IAC 1849 Polaco, IPR Sabiá e IPR Águia em resposta a variável explicativa relativa densidade de plantas.

Variável explicativa relativa	Parâmetros ¹		R^2	QMR	F
	<i>i</i>	<i>a</i>			
	Densidade de plantas				
IAC 2358 Unamax	135,20	70,25	0,72	286,10	52,05*
IPR Urutau	28,60	86,70	0,97	242,80	39,42*
IAC Veloz	37,12	103,30	0,79	105,40	143,12*
IAC 1849 Polaco	51,85	92,23	0,60	190,60	84,81*
IPR Sabiá	22,42	75,79	0,70	596,30	10,79*
IPR Águia	25,57	121,70	0,75	59,07	169,02*

¹*i* e *a*: perdas de produtividades de grãos de feijão (%) por unidade de milho voluntário quando o valor da variável se aproxima de zero ou tende ao infinito, respectivamente; * Significativo a $p \leq 0,05$.

Observou-se que os valores estimados para o parâmetro *i* tenderam a ser menores para as cultivares de feijoeiro, IPR Urutau, IPR Sabiá e IPR Águia, seguidas por IAC Veloz e IAC 1849 Polaco (Tabela 1). A menor competitividade foi verificada para a cultivar IAC 2358 Unamax na presença de densidades de plantas de milho voluntário. Ressalta-se que o parâmetro *i* é um índice usado para comparar a competitividade relativa entre espécies (SWINTON et al., 1994) e que quanto menor esse for mais competitiva, no caso a cultivar de feijoeiro, irá ser. As diferenças de competitividades observadas entre as cultivares de feijoeiro em competição com o milho voluntário pode estar relacionado com as diferenças genéticas das mesmas, tais como ciclo e hábito de crescimento, biomassa, índice de área foliar, arquitetura de planta, sistema radicular, dentre outros que apresentam relação direta com a habilidade competitiva das culturas (KALSING & VIDAL, 2013; GIACOMINI et al., 2024).

As estimativas do parâmetro *a* em sua grande maioria foram inferiores a 100%, exceto para as cultivares IAC Veloz e IPR Sabiá que apresentaram porcentagem superior a 100%

(Tabela 1). Esse fato demonstrando que foi possível simular adequadamente as perdas máximas de produtividade de grãos de feijão com as densidades utilizadas de milho voluntário. Quanto maior for o potencial produtivo das culturas e se as condições de fertilidade do solo, de disponibilidade de água e de luminosidade forem adequadas, tem-se como consequência uma menor perda percentual diária causada por uma determinada espécie daninha (KALSING & VIDAL, 2013).

O sucesso na implantação de sistemas de manejo de milho voluntário infestante da cultura do feijoeiro pode decorrer da determinação da densidade que excede o nível de dano econômico (NDE). Assim sendo, observou-se que as cultivares IAC Veloz, IPR Urutau, IPR Sabiá e IPR Águia apresentaram os maiores valores de NDE em todas as simulações realizadas, tendo variações de 0,04 a 0,11 plantas m^{-2} (Figura 1). GIACOMINI et al., (2024) ao estudarem a competição de feijoeiro com densidades de soja voluntária também encontraram diferenças na habilidade competitiva e no NDE de acordo com o cultivar avaliada da cultura na presença da planta daninha.

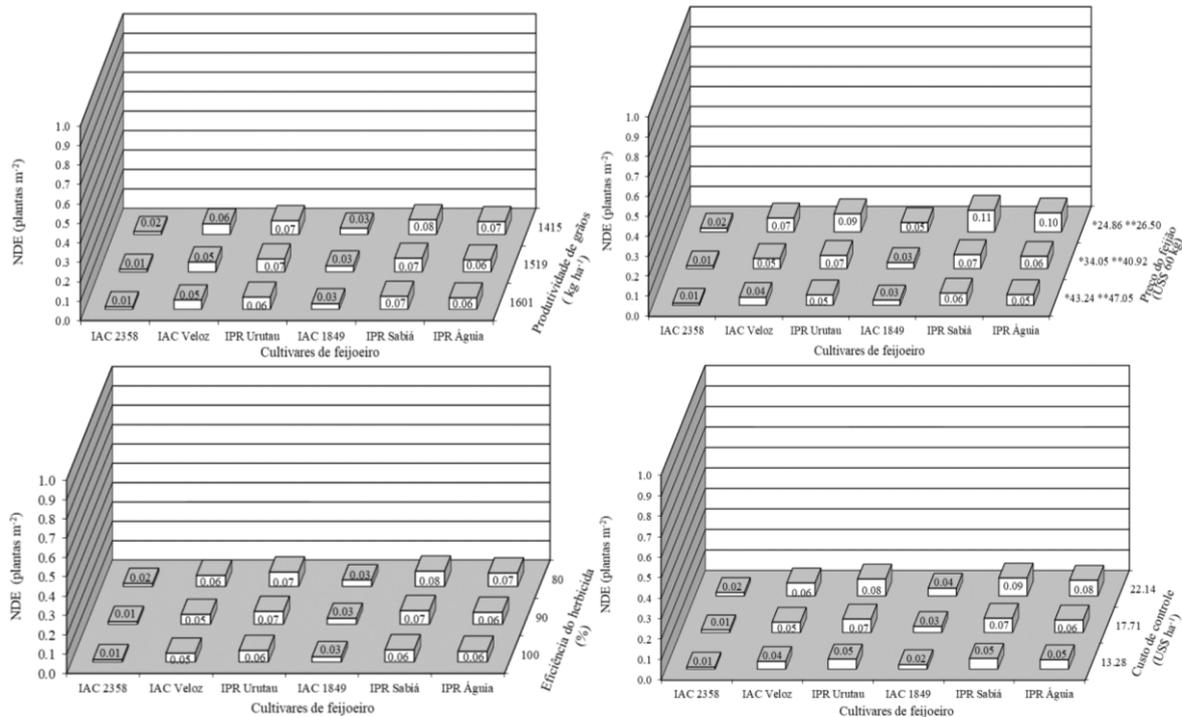


Figura 1. Nível de dano econômico (NDE) de milho voluntário em cultivares de feijoeiro do tipo preto e carioca em função da produtividade de grãos, preço do produto, eficiência de controle e custo de controle.

Os menores valores de NDE foram apresentados pelas cultivares IAC 2358 Unamax e IAC 1849 Polaco com variações de 0,01 a 0,05 planta m^{-2} (Figura 1). As cultivares de feijoeiro apresentaram diferenças nos valores de NDE, o que acarreta em distinção na capacidade de competirem com o milho voluntário pelos recursos disponíveis no meio como água, nutrientes

e luz. Os NDE diminuem com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca do feijão, da eficiência do herbicida e com a redução no custo de controle do milho voluntário, justificando a adoção de medidas de controle em menores densidades do competidor.

Destaca-se que o milho voluntário demonstrou elevada competitiva ao infestar o feijoeiro, decorrendo isso principalmente pelo fato desse ser uma planta com metabolismo do tipo C4 que apresenta elevada eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis no meio como água, luz e CO₂. Em relação ao tipo de feijão, preto ou carioca, não foi observado diferenças marcantes entre esses, mas sim em relação as cultivares.

5 Conclusão

O modelo da hipérbole retangular estima adequadamente as perdas unitárias e máximas de produtividade de grãos de feijão. As cultivares IPR Urutau, IAC Veloz, IAC 1849 Polaco, IPR Sabiá e IPR Águia apresentaram as maiores competitividades ao serem infestados por diferentes densidades de milho voluntário. Os maiores valores de NDE foram de 0,04 a 0,11 plantas m⁻², para as cultivares IAC Veloz, IPR Urutau, IPR Sabiá e IPR os quais demonstraram as maiores competitividades com o milho voluntário.

Referências Bibliográficas

BEIERMANN, C.W. et al. Critical timing of weed removal in dry bean as influenced by the use of preemergence herbicides. **Weed Technology**, v.36, n.1, p.168-176, 2022.

COUSENS, R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. **The Journal of Agricultural Science**, v.105, n.3, p.513-521, 1985.

KALSING, A.; VIDAL, R.A. Critical density of alexander grass in common bean. **Planta Daninha**, v.31, n.4, p.843-850, 2013.

GIACOMINI, J.P. et al. Interference and level of economic damage of soybean voluntary plants infesting bean. **Advances in Weed Science**, v.42, e-020240072, 2024.

LINDQUIST, J.L.; KROPFF, M.J. Applications of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*)-*Echinochloa* competition. **Weed Science**, v.44, n.1, p.52-56, 1996.

SWINTON, S. M. et al. Estimation of crop yield loss due to interference by multiple weed species. **Weed Science**, v. 42, n.1, p. 103-109, 1994.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*; *Zea mays*; retorno econômico.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2024-0281

Financiamento: PIBIT/CNPq/UFFS