



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

JOÃO PAULO GIACOMINI

**INTERAÇÃO COMPETITIVA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS
VOLUNTÁRIAS DE SOJA E MILHO GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EM
CULTURAS DE VERÃO**

ERECHIM

2023

JOÃO PAULO GIACOMINI

**INTERAÇÃO COMPETITIVA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS
VOLUNTÁRIAS DE SOJA E MILHO GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EM
CULTURAS DE VERÃO**

Dissertação de mestrado, apresentada para o Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. D. Sc. Leandro Galon

**ERECHIM
2023**

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Giacomini, João Paulo

INTERAÇÃO COMPETITIVA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE
PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE SOJA E MILHO GENÉTICAMENTE
MODIFICADOS EM CULTURAS DE VERÃO / João Paulo Giacomini.

-- 2023.

78 f.

Orientador: Doutor Leandro Galon

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia Ambiental, Erechim,RS, 2023.

1. Phaseolus vulgaris. 2. Glycine max. 3. Zea mays.
4. Nível de dano econômico. 5. Manejo Sustentável. I.
Galon, Leandro, orient. II. Universidade Federal da
Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JOÃO PAULO GIACOMINI

**INTERAÇÃO COMPETITIVA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS
VOLUNTÁRIAS DE SOJA E MILHO GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EM
CULTURAS DE VERÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em: 28/06/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Leandro Galon - UFFS

Orientador

Prof. D. Sc. Siumar Pedro Tironi - UFFS

Avaliador

Prof. D. Sc. Ignácio Aspiazú - UNIMONTES

Avaliador

**ERECHIM
2023**

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	1
ABSTRACT.....	1
INTRODUÇÃO GERAL.....	2
REFERÊNCIAS.....	6
ARTIGO I - INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE SOJA TRANSGÊNICA EM MILHO.....	4
RESUMO.....	4
PALAVRAS-CHAVE.....	4
INTERFERENCE AND ECONOMIC THRESHOLD LEVEL OF TRANSGENIC VOLUNTEER SOYBEAN PLANTS ON MAIZE.....	4
ABSTRACT.....	4
KEYWORDS.....	5
INTRODUÇÃO.....	5
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÕES.....	14
AGRADECIMENTOS.....	15
REFERÊNCIAS.....	15
ARTIGO II - INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE MILHO NA CULTURA DA SOJA.....	21
RESUMO.....	21
PALAVRAS-CHAVE.....	21
INTERFERENCE AND THRESHOLD LEVEL OF VOLUNTEER CORN IN SOYBEAN FIELDS.....	21
ABSTRACT.....	21
KEYWORDS.....	22
INTRODUÇÃO.....	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
CONCLUSÕES.....	34
AGRADECIMENTOS.....	34
ARTIGO III - INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE SOJA GM INFESTANTE DO FEIJOEIRO.....	45
RESUMO.....	45
PALAVRAS-CHAVE.....	45
INTERFERENCE AND LEVEL OF ECONOMIC DAMAGE OF GM SOYBEAN VOLUNTARY PLANTS INFESTING BEAN.....	45
ABSTRACT.....	45
KEYWORDS.....	46
INTRODUÇÃO.....	46
MATERIAL E MÉTODOS.....	48
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
CONCLUSÕES.....	60
AGRADECIMENTOS.....	60
REFERÊNCIAS.....	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69

INTERAÇÃO COMPETITIVA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE SOJA E MILHO GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EM CULTURAS DE VERÃO

RESUMO GERAL - A interferência ocasionada por plantas voluntárias, provenientes de sementes perdidas antes ou durante à colheita, podem ocasionar prejuízos econômicos aos agricultores. Assim sendo, objetivou-se com os trabalhos identificar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico de híbridos de milho, cultivares de soja e de feijoeiro na presença de diferentes densidades de soja e milho voluntários perdidos na época da colheita. Os experimentos foram conduzidos a campo, em delineamento completamente casualizado. Os tratamentos foram constituídos por diferentes híbridos de milho, ou cultivares de soja e de feijoeiro competindo com densidades de soja e milho voluntários simulando perdas de colheita. As variáveis avaliadas nas plantas de soja e milho voluntários foram densidade de plantas (DP), cobertura de solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS). Nas culturas de milho, soja e feijoeiro avaliou-se a produtividade de grãos, custo de controle, preço do produto e eficiência do herbicida utilizado para o controle das plantas voluntárias de milho e de soja. As plantas de milho e de soja voluntárias ocasionam elevadas perdas de produtividade de grãos das culturas de verão (milho, soja e feijoeiro). Os híbridos de milho e as cultivares de soja e de feijoeiro apresentam habilidades competitivas diferenciadas e o nível de dano econômico é influenciado diretamente por estas características.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*.

COMPETITIVE INTERACTION AND LEVEL OF ECONOMIC DAMAGE OF VOLUNTARY GENETICALLY MODIFIED SOYBEAN AND CORN PLANTS IN SUMMER CROPS

ABSTRACT - The interference caused by volunteer plants, from seeds lost before or during harvest, can cause economic losses to farmers. Therefore, the objective of this work was to identify the competitive ability and the level of economic damage of corn hybrids, soybean and common bean cultivars at different densities of soybean and corn volunteers lost at harvest time. Experiments were conducted in the field in completely randomized design, with

one replicate. Treatments consisted of different corn hybrids or soybean and common bean cultivars competing with volunteer soybean and corn densities that simulated crop losses. Variables evaluated in volunteer soybean and corn plants were plant density (DP), soil cover (CS), leaf area (AF) and shoot dry matter (MS). For corn, soybeans and beans, grain yield, control cost, product price, and efficiency of the herbicide used to control voluntary corn and soybean plants were evaluated. Voluntary corn and soybean plants cause high grain productivity losses in summer crops (corn, soybeans, and common bean). Corn hybrids, soybean and common bean cultivars have different competitive abilities, and the level of economic damage is directly related to these traits.

Keywords: *Glycine max*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*, Genetically modified crops.

INTRODUÇÃO GERAL

O milho, a soja e o feijoeiro apresentam elevada importância no cenário econômico do Brasil, com área de aproximadamente 21,58; 41,49 e 2,86 milhões de hectares cultivados no país e produções de 113,13; 125,55 e 2,99 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2023). Devido a ampla magnitude de cultivos em todo o território nacional, as produtividades por área não são constantes e tampouco elevadas, sendo de 5,24; 3,03 e 1,05 t ha⁻¹, respectivamente para o milho, a soja e o feijoeiro (CONAB, 2023). Alguns efeitos negativos relacionados a fatores abióticos e bióticos que ocorrerem no cultivo do milho, soja e feijão podem explicar as variações e as baixas produtividades dessas culturas, especialmente a interferência das plantas daninhas e o baixo nível tecnológico adotado pelos produtores na condução das lavouras.

O manejo inadequado das plantas daninhas interfere nas produtividades das culturas, podendo ocasionar perdas superiores a 80% em milho (Piasecki et al., 2020; Helvig et al., 2020), 52% para soja (Soltani et al., 2017; Galon et al., 2022a) e 82% para o feijoeiro (Galon et al., 2018; Franceschetti et al., 2019; Neves et al., 2020). Essas variações nas perdas de produtividade das culturas ocorrem em razão da espécie ou mesmo da própria cultivar semeada, densidade e espécie de planta daninha, período de competição, estágio da cultura, condições edafoclimáticas, formas de manejo adotadas nas lavouras, dentre outros (Jha et al., 2017; Westwood et al., 2018; Piasecki et al., 2020; Oveisi, M. et al., 2021; Esposito et al., 2023).

A semeadura de culturas safrinhas, como soja, feijão ou milho após o cultivo de uma cultura como sendo lavoura principal tem aumentado nos últimos anos no Brasil. Na Região

Sul do Brasil, se tem visto o cultivo antecipado de milho, principalmente destinado a silagem para alimentação animal e após a semeadura de soja ou de feijoeiro em sucessão. No entanto durante a colheita do milho e/ou da soja ocorrem muitas perdas de grãos, os quais tornam-se plantas daninhas extremamente competitivas por água, luz e nutrientes ou ainda hospedam muitas pragas que irão ocasionar interferência ou mesmo danos elevados na cultura seguinte (Alms et al., 2016; Petter et al., 2016), chamadas de plantas voluntárias ou tigueras (Christoffoleti et al., 2015; Costa et al., 2020; Galon et al., 2022b).

Aliando a interferência que as plantas voluntárias de milho ou de soja ocasionam nas culturas semeadas em sequência, há também a problemática de serem resistentes a muitos herbicidas, dentre eles o glyphosate, o amonio-glufosinate, o 2,4-D e o dicamba, o que dificulta o controle das mesmas (Piasecki & Rizzardi, 2018; Rizzardi et al., 2019; Costa et al., 2020; Galon et al., 2022b).

As perdas de colheita toleráveis de grãos de milho estão em cerca de 90 kg ha⁻¹ (Mantovani, 2021). No entanto tem-se observado nas lavouras brasileiras perdas de grãos de milho de 71,55 a 178,40 kg ha⁻¹ (Venegas et al., 2012; Oliveira et al., 2014; Paulsen et al., 2014) que ocorrem, antes e no momento da colheita, chamadas de perdas de pré e de momento da colheita. Já a média observada de perdas de grãos de soja das colhedoras automotrizes é de cerca de 81,2 kg ha⁻¹ (Schanoski et al., 2011). Essas perdas tanto de milho quanto de soja ocorrem em virtude da utilização de máquinas em estado precário, a má regulagem dessas, velocidades inadequadas, declives acentuados dos terrenos, colheita com umidade elevada da cultura, falta de conhecimento dos operadores, deficiência no controle de pragas, condições climáticas impróprias, dentre outros, sendo esses os principais fatores que tem ocasionado essa problemática. Faggion et al. (2017) relatam que 85% das perdas ocorrem na plataforma de corte, 12% no processo de trilha, separação e limpeza e 3% devido à perda natural, antes mesmo da máquina entrar na lavoura.

No caso das plantas daninhas chamadas de voluntárias, como o milho pode ocorrer redução da produtividade de grãos de soja superiores a 10% em baixas densidades (Aguilar et al., 2018), ultrapassando valores de 80% quando em altas densidades (Piasecki et al., 2018) e maiores de 6,5% de grãos de feijão (Sbatella et al., 2016; Piaseck & Rizzadi, 2018). As menores perdas dos grãos de soja e de feijão na presença de milho voluntário ocorrem quando se tem baixas densidades do competidor infestando essas culturas, em maiores densidades as perdas serão mais elevadas. A soja voluntária ocasionou perdas na produtividade de grãos de milho de 27% (Galon et al., 2022b) e de 23% quando presente em lavouras de feijoeiro (Costa et al., 2020).

As estimativas das perdas de produtividade das culturas ao serem infestadas por plantas daninhas podem ser efetuadas com adoção de modelos matemáticos (Agostinetto et al., 2010; Kalsing & Vidal, 2013; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022b). Cousens (1985) criou o modelo da hipérbole retangular que relaciona a perda de produtividade de grãos com densidades de plantas daninhas. Esse autor ajustou um modelo empírico que torna possível prever a perda de produtividade em função da densidade de plantas daninhas, obtendo resultados que demonstraram a superioridade deste modelo sobre outros que foram testados com finalidade similares.

O modelo da hipérbole retangular baseia-se na relação não linear entre a percentagem de perda de produtividade por interferência, em relação à testemunha livre de infestação, e a densidade de plantas daninhas (Cousens, 1985). Ele incorpora os parâmetros i que representa a perda de produção causada pela adição da primeira planta daninha e o a que demonstra a perda de produção quando a densidade de plantas daninhas tende ao infinito. O significado biológico do modelo mostra que o efeito de competição de cada planta daninha adicionada à cultura diminui quando a densidade de plantas daninhas aumenta, em decorrência da competição intraespecífica que começa a ocorrer (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022b).

Apesar de ser uma medida legislativa e obrigatória em diversos estados da federação, muitas vezes, é negligenciado o controle das plantas voluntárias de milho e de soja, vindo a ocasionar elevados prejuízos às culturas semeadas em sucessão ou mais comumente conhecidas como safrinhas. As plantas voluntárias geralmente aparecem nas lavouras em densidades menores do que as plantas daninhas verdadeiras, tornando-se importante o produtor avaliar e analisar o custo de controle ou mesmo quantificar os danos que essas irão causar na cultura que infestarem.

Quando se tem elevadas densidades de plantas competindo com as culturas, simplifica-se a tomada de decisão dos produtores para adotarem alguma medida de controle (Agostinetto et al., 2010; Galon et al., 2022b). No entanto, quando as plantas voluntárias ocorrem em densidades menores, a adoção de medidas para controlá-las torna-se difícil, pois os agricultores precisam quantificar às vantagens econômicas associadas ao custo do controle (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022b).

Desse modo torna-se necessário implementar estratégias de manejo que integrem o conhecimento técnico e a análise econômica aliado com o estudo da relação de competição entre a cultura e as plantas daninhas (Jha et al., 2017; Westwood et al., 2018). Dentro deste contexto, é importante caracterizar o nível de dano econômico (NDE) para auxiliar o produtor

na tomada de decisão.

O NDE estabelece que a aplicação de herbicidas ou de outros métodos de controle somente se justificará caso os prejuízos causados pelas plantas daninhas forem superiores ao custo da medida utilizada (Piasecki & Rizzardi, 2018; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022). Para realizar os cálculos dos NDE envolvem-se muitas variáveis. Estas podem ser influenciadas por vários fatores, tais como: espécie de planta daninha presente na lavoura, densidade e época de emergência das infestantes em relação à cultura, porcentagem de perda e potencial de produtividade da cultura na presença e livre de plantas daninhas, valor do produto colhido, custos e eficiência do controle, e influência das plantas daninhas remanescentes sobre o produto (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022b). Práticas de manejo, como o uso de cultivares com maior habilidade competitiva, espaçamento utilizado, densidades de semeadura, dentre outros, podem influenciar diretamente no nível de perdas ocasionadas pelas plantas daninhas infestantes das culturas.

No cálculo dos NDEs são envolvidas muitas variáveis, e estas podem ser influenciadas por vários fatores, como: espécie de planta daninha presente na lavoura, população e época de emergência das mesmas em relação à cultura, porcentagem de perda da produtividade e potencial de produtividade da cultura na ausência de infestação, valor do produto colhido, custos e eficiência do controle e influência das plantas daninhas remanescentes sobre o produto (Kalsing & Vidal, 2013; Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019).

A sustentabilidade das culturas do milho, soja e do feijoeiro deve estar apoiada em diversos pilares, não apenas os relacionados nos aspectos econômicos e comerciais, mas também aos processos de conservação e preservação ambiental. A maneira mais correta de atingir a sustentabilidade é o conhecimento da habilidade competitiva das culturas e os efeitos das plantas daninhas sobre as plantas cultivadas. A utilização de formas mais eficientes dos manejos e tratos culturais pensando no controle das plantas daninhas, minimizando os riscos ao ambiente e maximizando as produtividades é o passo certo para um cultivo mais consciente da cultura (Esposito et al., 2023).

A hipótese do presente trabalho é de que os híbridos de milho e as cultivares de soja e de feijoeiro respondem diferentemente a infestação por plantas voluntárias de soja ou de milho e com isso se tem diferenciação na habilidade competitiva das culturas e no nível de dano econômico. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar a habilidade competitiva, a interferência e o nível de dano econômico de híbridos de milho, cultivares de soja e de feijoeiro infestados por plantas voluntárias de soja e de milho resistentes a herbicidas (OGM).

A presente dissertação está dividida em três artigos, sendo intitulados: 1º) Interferência

e nível de dano econômico de plantas voluntárias de soja transgênica em milho, 2º) Interferência e nível de dano econômico de plantas voluntárias de milho na cultura da soja, e 3º) Interferência e nível de dano econômico de plantas voluntárias de soja GM infestante do feijoeiro.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, v. 28, n, p.993-1003, 2010.
- AGUIAR, A. C. M. et al. Interference and economic threshold level of volunteer corn in soybean. **Planta Daninha**, v. 36, e018178310, p.1-10, 2018.
- ALMS, J. et al. Corn yield loss due to volunteer soybean. **Weed Science**, v.64, n.3, p.495-500, 2016.
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; BRUNHARO, C.A.C.G.; FIGUEIREDO, M.R.A. Sem controle das plantas invasoras, perdas na cultura do milho podem chegar a 87%. **Visão Agrícola**, v.13, p. 98-101, 2015.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra brasileira de grãos de 2023**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 21/04/2023.
- COSTA, B.S. et al. Manejo de soja voluntária infestante do feijoeiro com o herbicida ethoxysulfuron. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n.1, p.1-6, 2020.
- 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.
- ESPOSITO, M. et al. Neutral weed communities: The intersection between crop productivity, biodiversity, and weed ecosystem services. **Weed Science**, v.71, p.1-30, 2023.
- FAGGION, F. et al. Perda na colheita de soja por duas colhedoras depreciadas. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 2, p.89-95, 2017.
- Franceschetti, M. B. et al. Interference of *Urochloa plantaginea* on morphophysiology and yield components of black beans. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.9, p.272-280, 2019.
- GALON, L. et al. Weed management in beans using subdoses of fluazifop-p-butyl + fomesafen. **Planta Daninha**, v.36, e018174070, 2018.

GALON, L. et al. Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados em soja para o controle de plantas daninhas. **Agrarian**, v. 15, n. 55, e15715, 2022a.

GALON, L. et al. Interference and economic threshold level of transgenic volunteer soybean plants in maize crop. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 21, e1254, p. 1-15, 2022b.

HELVIG, E. O. et al. Interference periods of weeds in maize in no-tillage and conventional systems at high altitudes. **Planta Daninha**, v.38, e020198681, 2020.

JHA, P. et al. Weed management using crop competition in the United States: A review. **Crop Protection**, v.95, n.1, p. 31-37, 2017.

KALSING, A.; VIDAL, R.A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**, v.31, n.4, p.843-850, 2013.

MANTOVANI, E.C. **Perdas na colheita**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/colheita-e-pos-colheita/perdas-na-colheita>. Acessado em: 25/04/2023.

NEVES, C.G. et al. Occurrence of *Bemisia tabaci* and begomovirus in guanxuma. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.6, p. 40704-40710, 2020.

OLIVEIRA, T.C. et al. Perdas quantitativas na colheita mecanizada de milho safrinha na Região Norte de Mato Grosso. **Agrarian Academy**, v.1, n.2; p. 141-149, 2014.

PAULSEN, M.R. et al Measurement of combine losses for corn and soybeans in Brazil. **Applied Engineering in Agriculture**, v.30, n.6, p.841-855, 2014.

OVEISI, M. et al. Bean cultivar mixture allows reduced herbicide dose while maintaining high yield: A step towards more eco-friendly weed management. **European Journal of Agronomy**, v.122, p.126173, 2021.

PETTER, F.A. et al. Management of volunteer plants in cultivation systems of soybeans, corn and cotton resistant to glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.1, p.58-66, 2016.

PIASECKI, C.; RIZZARDI, M.A. Yield losses and economic threshold of GR[®] F2 volunteer corn in bean. **Planta Daninha**, v36, e018177187, 2018.

PIASECKI, C. et al. Interference of GR[®] volunteer corn population and origin on soybean grain yield losses. **Planta Daninha**, v36, e018161420, 2018.

PIASECKI, C. et al. Control of italian ryegrass and Alexandergrass in corn using different corn sowing date, pre and post-emergent herbicides. **Bragantia**, v.79, n.3, p. 387-398, 2020.

RIZZARDI, M.A. et al. Interference of volunteer corn from different origins and emergence time on soybean yield and stress metabolism. **Planta Daninha**, v37, e019205476, 2019.

SBATELLA, G. M. et al. Volunteer corn (*Zea mays*) interference in dry edible bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technology**, v.30, p.937-942, 2016.

SCHANOSKI, R.; RIGHI, E.Z.; WERNER, V. Perdas na colheita mecanizada de soja (*Glycine max*) no município de Maripá - PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1206–1211, 2011.

SOLTANI, N. et al. Perspectives on potential soybean yield losses from weeds in North America. **Weed Technology**, v.31, n.1, p. 148-154, 2017.

TAVARES, L.C. et al. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. **Planta Daninha**, v37, e019178898, 2019.

WESTWOOD, J. H. et al. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, v.66, n.3, p.275-285, 2018.

Artigo I - INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE SOJA TRANSGÊNICA EM MILHO

RESUMO - A interferência ocasionada por plantas voluntárias, provenientes de grãos perdidos antes ou durante à colheita, podem ocasionar prejuízos econômicos aos agricultores. O objetivo deste trabalho foi identificar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico de híbridos de milho na presença de diferentes densidades de soja voluntária. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento completamente casualizado, com uma repetição. Os tratamentos foram constituídos pelos híbridos de milho (NK 422 Vip3; NK 488 Vip3; Syn Supremo Vip3; Brevant 2A401 PWU; FS 481 PW; e FS620 PWU) e 12 densidades de soja voluntária estabelecidas para cada híbrido, saindo de 0 ao máximo de 130 plantas m⁻². Aos 30 dias após a emergência, efetuou-se a quantificação da densidade de plantas (DP), cobertura de solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) das plantas voluntárias de soja. Os híbridos de milho NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 e Brevant 2A401 PWU apresentam as maiores habilidades competitivas o que refletiu em NDE que variou de 1,01 a 3,82 plantas m⁻². Desta forma, pode-se concluir que a soja voluntária ocasiona perdas de produtividade ao infestar o milho, sendo que os híbridos apresentam habilidades competitivas diferenciadas e o NDE é influenciado diretamente por estas características.

Palavras-chave: *Zea mays*, *Glycine max*, Culturas geneticamente modificadas.

INTERFERENCE AND ECONOMIC THRESHOLD LEVEL OF TRANSGENIC VOLUNTEER SOYBEAN PLANTS ON MAIZE

ABSTRACT – The interference caused by volunteer plants dispersed after harvest can cause economic losses to growers. The aim of this work is to identify the competitive ability and the economic threshold level of maize hybrids in presence of different densities of volunteer soybean. The experiment was carried out in field, in a completely randomized design, with no replication. The treatments were constituted by maize hybrids (NK 422 Vip3; NK 488 Vip3; Syn Supremo Vip3; Brevant 2A401 PWU; FS 481 PW; e FS620 PWU) and 12 densities of volunteer soybean established for each hybrid, going from 0 to maximum of 130 plants m⁻². At 30 days after emergence, were assessed the plant density (PD), soil cover (SC) leaf area

(LA) and shot dry mass (SDM) of volunteer soybean plants. The maize hybrids NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 and Brevant 2A401 PWU showed the highest competitive abilities that influenced in economic threshold level that ranged from 1,01 to 3,82 plants m⁻². Thus, concluded that volunteer soybean cause yield losses when infesting maize, and hybrids showing difference competitive abilities, being the economic threshold level directly influenced by these characteristics.

Keywords: *Zea mays*, *Glycine max*, Genetically modified crops.

INTRODUÇÃO

O Brasil se caracteriza como o segundo maior produtor de milho no mundo, produzindo na safra 2022/23, aproximadamente, 127,767 milhões de toneladas em área de 22 milhões de hectares (CONAB, 2023). O milho segunda safra foi responsável por, aproximadamente, 75% deste volume grãos, ocupando área de 14,99 milhões de hectare, com produtividade média de 5,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2021). O milho segunda safra se caracteriza por ser semeado, principalmente, após o cultivo da cultura da soja precoce. Desta forma, o manejo destas duas culturas está diretamente relacionado. Práticas culturais realizadas em uma refletem, diretamente na outra. As perdas de grãos na colheita destas culturas tem ocasionado aumento na frequência de plantas voluntárias na cultura semeada em sucessão. Elas podem competir por espaço, água, nutrientes e luz, além de serem hospedeiras de pragas e doenças (Alms et al., 2016; Petter et al., 2016; Piasecki & Rizzardi, 2018; Rizzardi et al., 2019).

Com a introdução das culturas de soja e milho resistentes ao glyphosate (GR) a presença de plantas voluntárias, nesta sucessão de cultivos, tornou-se algo comum de ser observado nas lavouras. O controle da soja voluntária, apesar de ser uma medida legislativa e obrigatória em diversos estados da federação, muitas vezes, é negligenciado. Elevadas densidades de plantas competindo com as culturas, simplificam a tomada de decisão dos produtores para adotarem alguma medida de controle (Agostinetto et al., 2010). No entanto, quando as plantas voluntárias ocorrem em densidades menores, a adoção de medidas para controlá-las torna-se difícil, pois os agricultores precisam quantificar às vantagens econômicas associadas ao custo do controle (Galon et al., 2019). Sendo assim, é necessário implementar estratégias de manejo que integrem o conhecimento técnico e a análise econômica aliado ao conhecimento da relação de competição entre a cultura e as plantas daninhas (Westwood et al., 2018). Dentro deste contexto, é importante caracterizar o nível de dano econômico (NDE) para auxiliar o produtor na tomada de decisão.

O NDE estabelece que a aplicação de herbicidas ou de outros métodos de controle somente se justificará caso os prejuízos causados pelas plantas daninhas forem superiores ao custo da medida utilizada (Tavares et al., 2019; Frandoloso et al., 2020). Para realizar os cálculos dos NDE envolvem-se muitas variáveis. Estas podem ser influenciadas por vários fatores, tais como: espécie de planta daninha presente na lavoura, densidade e época de emergência das infestantes em relação à cultura, porcentagem de perda e potencial de produtividade da cultura na presença e livre de plantas daninhas, valor do produto colhido, custos e eficiência do controle, e influência das plantas daninhas remanescentes sobre o produto (Brandler et al., 2021). Práticas de manejo, como o uso de cultivares com maior habilidade competitiva e densidades de semeadura podem influenciar diretamente no nível de perdas ocasionadas das plantas daninhas. Estas informações podem ser uma interessante alternativa para auxiliar os produtores na tomada de decisão.

Nesse sentido, existem variações na habilidade competitiva e nos níveis de dano econômico ocasionados pela competição exercida pela soja voluntária aos híbridos de milho, NK 422 Vip3, NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3, Brevant 2A401 PWU, FS 481 PW e FS620 PWU, em função da densidade de plantas do competidor e dos híbridos avaliadas. Diante disso, objetivou-se, com o trabalho, identificar a habilidade competitiva de seis híbridos de milho na presença de diferentes densidades de soja voluntária, assim como, determinar o nível de dano econômico destes materiais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, latitude 27,725269° S, longitude 52,294485° W e altitude de 650 m, no ano agrícola 2017/18. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico Húmico (EMBRAPA, 2013). Amostras de solo foram retiradas na camada de 0 a 10 cm para realizar a análise química, tendo as seguintes características: pH (água) = 5,1; matéria orgânica = 3,0%; argila = >60%; P = 5,2 mg dm⁻³, K = 118,0 mg dm⁻³, Ca⁺² = 5,5 cmolc dm⁻³; Mg⁺² = 3,0 cmolc dm⁻³; Al⁺³ = 0,3 cmolc dm⁻³; H + Al = 7,7 cmolc dm⁻³; CTC efetiva = 16,6 cmolc dm⁻³. A correção da fertilidade foi efetuada conforme as recomendações técnicas para a cultura do milho destinado a grãos (ROLAS, 2016). A adubação química de base foi de 430 kg ha⁻¹ da fórmula 05-30-15 de N-P-K e a aplicação de N em cobertura foram realizadas em dois momentos, no estágio V4 e V6 da cultura, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N ou 134 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N) em cada estágio do

milho. Os demais manejos efetuados seguiram as recomendações técnicas para a cultura do milho.

O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por seis híbridos de milho e 12 densidades de soja voluntária, com uma repetição. Nesta pesquisa, as diferentes densidades de soja voluntária funcionaram como repetições, proporcionando a variância necessária para realizar a análise estatística pelo modelo não-linear da hipérbole retangular proposto por Cousens, (1985). Essa mesma metodologia foi observada em trabalho desenvolvido por Tavares et al. (2019).

Os híbridos de milho usados foram: NK 422 Vip3 (H1), NK 488 Vip3 (H2), Syn Supremo Vip3 (H3), Brevant 2A401 PWU (H4), FS 481 PW (H5) e FS620 PWU (H6). Estes híbridos foram submetidos a convivência com distintas densidades de soja voluntária: H1 *versus* 0, 4, 14, 14, 18, 20, 28, 30, 42, 50, 66 e 66 plantas m⁻²; H2 *versus* 0, 14, 22, 22, 28, 34, 42, 34, 38, 44, 54 e 130 plantas m⁻²; H3 *versus* 0, 12, 14, 18, 28, 32, 32, 36, 36, 48, 54, e 82 plantas m⁻²; H4 *versus* 0, 6, 10, 18, 24, 34, 40, 42, 44, 54, 54 e 56 plantas m⁻²; H5 *versus* 0, 4, 4, 10, 10, 28, 30, 34, 42, 46, 50 e 94 plantas m⁻²; e H6 *versus* 0, 4, 8, 10, 20, 22, 28, 32, 40, 48, 50 e 58 plantas m⁻².

Os híbridos de milho foram escolhidos para o presente estudo em razão de serem os mais cultivados na região para produção de grãos, com as seguintes características: a) NK 422 Vip3: ciclo superprecoce, resistente a insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato; b) NK 488 Vip3: ciclo superprecoce, resistente insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato; c) Syn Supremo Vip3: ciclo precoce, resistente a insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato; d) Brevant 2A401 PWU: ciclo superprecoce, resistente a insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato; e) FS 481 PW: ciclo superprecoce, resistente a insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato; e f) FS620 PWU: ciclo precoce, resistente a insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato.

O experimento foi instalado em 07/11/2017, em sistema de plantio direto na palha. A cobertura morta do solo foi formada por aveia-preta + ervilhaca, com produção de 5 t ha⁻¹ de massa seca. A dessecação foi realizada com o herbicida glyphosate (1440 g e.a. ha⁻¹) 15 dias antes da semeadura do milho. As unidades experimentais apresentavam área de 15,0 m², sendo compostas por seis fileiras de milho, espaçadas a 0,5 m, e com 5 m de comprimento. A área útil correspondeu as três linhas centrais, descontando um metro linear de cada extremidade (1,5 m x 3 m). A densidade de semeadura dos híbridos foi de 3,5 sementes por metro linear ou 70.000 sementes ha⁻¹.

As densidades de soja voluntária foram estabelecidas pela semeadura manual com

matraca em cada parcela usando-se para isso a cultivar NS 5909RR. O estabelecimento das densidades da soja voluntária foi efetuado de modo a simular diferentes perdas de colheita, desde baixas até elevadas quantidades de grãos perdidos na lavoura, calculando-se a quantidade de grãos necessária em cada unidade experimental de acordo o tratamento proposto, de 0 até 130 plantas m^{-2} . As densidades de soja voluntária foram variadas em virtude de que a semeadura com matraca manual apresenta desuniformidade de profundidade de uma cova para outra, pelo solo às vezes estar mais compactado, ter mais palhada, dentre outros e desse modo fatores como a umidade e a temperatura do solo podem ter influenciado o estabelecimento de um número exato de plantas por área (unidade experimental). As densidades da soja voluntária foram determinadas por contagens em duas áreas de 0,5 x 0,5 m, sendo uma aferição efetuada no centro e outra na lateral de cada unidade experimental, quando o milho se encontrava no estágio V4 (quatro folhas expandidas) e a planta daninha, no estágio de V3 (terceiro trifólio). As demais plantas daninhas não objeto de estudo foram controladas com aplicação de glyphosate (1440 g e.a. ha^{-1}) para evitar competição.

A quantificação da densidade de plantas (DP), cobertura do solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) das plantas voluntárias de soja foram realizadas aos 30 dias após a emergência (DAE) ou no estágio fenológico de V4-V5 do milho. Para determinação da variável explicativa DP, foram efetuadas duas amostragens, aleatórias, por parcela utilizando quadrado de 0,5 m de lado. A CS por plantas de soja voluntária foi avaliada visualmente, de modo individual, por dois avaliadores, utilizando-se uma escala percentual, na qual a nota zero corresponde à ausência de cobertura e 100 representa cobertura total do solo. A quantificação da AF da planta competidora foi efetuada com um integrador eletrônico de AF portátil, modelo CI-203, marca CID Bio-Science, mensurando-se todas as plantas em uma área de 0,25 m^2 por parcela. A MS das plantas de soja voluntária ($g\ m^{-2}$) foi determinada pelas coletas das plantas contidas em área de 0,25 m^2 (0,5 x 0,5 m) por parcela e secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de $60\pm 5^{\circ}C$, até atingirem massa constante.

A quantificação da produtividade de grãos foi obtida pela colheita das plantas na área útil de 8 m^2 (2 x 4 m) em cada parcela. A colheita foi realizada quando o teor médio de umidade dos grãos atingiu aproximadamente 15%. Após a pesagem, determinou-se a sua umidade, sendo as massas corrigidas para o teor de 13% de umidade e os valores expressos em $kg\ ha^{-1}$.

As perdas percentuais de produtividade de grãos de milho, em relação às unidades experimentais livres de plantas competidoras foram calculadas de acordo com a Equação 1:

$$\text{Perda (\%)} = \left(\frac{Ra - Rb}{Ra} \cdot i \right) \times 100 \quad \text{Equação 1,}$$

Onde: Ra e Rb : produtividade da cultura sem ou com presença da planta competidora, soja voluntária, respectivamente.

Anteriormente à análise dos dados, os valores de MS (g m^{-2}), CS (%) ou AF (cm^2) foram multiplicados por 100, dispensando-se assim o uso do fator de correção no modelo (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Frandoloso et al., 2020).

As relações entre perdas percentuais de produtividade do milho em função das variáveis explicativas foram calculadas separadamente para cada híbrido de milho, utilizando-se o modelo de regressão não linear derivada da hipérbole retangular, proposta por Cousens em 1985, conforme a Equação 2:

$$Pp = \frac{(i * X)}{1 + \left(\frac{i}{a}\right) * X} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: Pp = perda de produtividade (%); X = densidade, massa seca da parte aérea, área foliar ou cobertura do solo de soja voluntária; i e a = perdas de produtividade (%) por unidade de plantas de soja voluntária quando o valor da variável se aproxima de zero e quando tende ao infinito, respectivamente. Para o procedimento de cálculos, foi utilizado o método de Gauss-Newton, o qual, por sucessivas iterações, estima os valores dos parâmetros, nos quais a soma dos quadrados dos desvios das observações, em relação aos valores ajustados, seja mínima (Ratkowsky, 1983). O valor da estatística F ($p \leq 0,05$) foi utilizado como critério de análise dos dados ao modelo. O critério de aceitação do ajuste dos dados ao modelo baseou-se na significância do F , no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e no menor valor do quadrado médio do resíduo (QMR).

Para o cálculo do nível de dano econômico (NDE) foi utilizado as estimativas do parâmetro i obtidas a partir da Equação 2 (Cousens, 1985), e a Equação adaptada de Lindquist & Kropff (1996) – Equação 3:

$$\text{NDE} = \frac{(Cc)}{R * P * \left(\frac{i}{100}\right) * \left(\frac{H}{100}\right)} \quad \text{Equação 3}$$

onde: NDE = nível de dano econômico (plantas m^{-2}); Cc = custo do controle (mistura comercial dos herbicidas, atrazine+simazine – 1500 + 1500 g ha^{-1} e aplicação terrestre tratorizada, em dólares ha^{-1}); R = produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}); P = preço do milho (dólares kg^{-1} de grãos); i = perda (%) de produtividade do milho 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 3) foram estimados três valores ocorrentes nos últimos 10 anos. Assim, para o custo de controle (C_c), considerou-se o preço médio, sendo o custo máximo e mínimo alterado em 25%, em relação ao custo médio. A produtividade de grãos do milho (R) foi baseada na menor, média e maiores obtidas no Rio Grande do Sul, nas safras dos últimos 10 anos. O preço do produto (P) foi estimado a partir do menor, médio e maior preço do milho 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 (Velini, 1995). Para as simulações de NDE foram utilizados os valores intermediários para as variáveis que não estavam sendo objeto de cálculo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis explicativas da soja voluntária: DP, AF, CS e MS avaliadas para a perda de produtividade nos híbridos apresentaram valores da estatística F significativos (Tabela 1). O modelo da hipérbole retangular ajustou-se adequadamente aos dados, com valor médio do R^2 superior a 0,57 e baixo QMR. Este fato caracteriza bom ajuste dos dados ao modelo em que foram testados. Os resultados observados, estão de acordo com os encontrados por Galon et al. (2019), que ao avaliarem a competição do papuã (*Uroclhoa planaginea*) com cinco híbridos de milho encontraram valores médios do R^2 , para as mesmas variáveis do presente estudo, superiores a 0,52. Trabalhos relacionados com variação genética, efeito de cultivares e herdabilidade de híbridos de milho, consideram como moderados a bom, valores de R^2 entre 0,57 a 0,66 (Cargnelutti Filho & Storck, 2007).

Os híbridos de milho apresentaram diferentes níveis de perdas de produtividade (Tabela 1). De maneira geral, os materiais NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 e Brevant 2A401 PWU se caracterizaram como os genótipos mais competitivos. Isto pode ser atribuído as menores perdas de produtividade quando comparado aos demais híbridos. Pesquisas evidenciam a capacidade diferenciada de híbridos de milho quanto a sua habilidade competitiva na presença de plantas daninhas (Willians et al., 2008; Galon et al., 2019; Frandoloso et al., 2020). Este fato pode ser atribuído a diferenciação genética existente entre os materiais avaliados. A diferença de competição entre os híbridos de milho pode ser atribuída ao maior dossel (AF), arquitetura das folhas, altura de plantas e/ou relacionadas a

maior taxa de crescimento relativo e uso eficiente dos recursos do meio pela cultura (Willians et al., 2008). A competição imposta pelo material genético é uma importante ferramenta para o manejo integrado de plantas daninhas. As estratégias atuais buscam a redução do uso de herbicidas, menor custo e poluição ambiental, e a produção de um alimento livre de contaminantes (Jha et al., 2017; Tavares et al., 2019; Galon et al., 2019). Dentro deste contexto, o desenvolvimento de híbridos que apresentem maior habilidade competitiva promove ganhos econômicos e ambientais, já que se tem a possibilidade de usar menor quantidade de herbicidas.

A densidade média de 20 plantas de soja voluntária m^{-2} com os híbridos de milho ocasionou perdas na produtividade que variaram de, aproximadamente, 13 a 36%, valores esses estimados pela equação hiperbólica (Tabela 1). A perda de rendimento de grãos de milho ao ser infestado por 3 a 4 plantas m^{-2} de soja voluntária foi de 10% em trabalho de Alms et al. (2016). A média de perdas de grãos de soja das colhedoras automotrizes é de 81,2 $kg\ ha^{-1}$ (Schanoski et al., 2011). Considerando que o peso médio de 1000 grãos é de, aproximadamente, 200 g isso corresponderá 406.000 grãos (Câmara, 2015). Estimando sua taxa de germinação em 50% teremos 203.000 plantas de soja por hectare ou 20,30 plantas m^{-2} . Este fato ilustra o nível potencial de perdas de produtividade que pode haver na cultura do milho, caso o controle da soja voluntária seja realizado de maneira inadequada. Desta forma, a redução de perdas na colheita da soja, possibilitará maior retorno econômico por possibilitar ganhos de rendimento desta cultura e redução do potencial de perdas oriundas da sua competição com o milho.

Analisando as perdas de rendimento, levando em consideração a AF, observou-se que quando a soja voluntária acumulou 2000 $cm^2\ m^{-2}$ de AF os materiais FS 481 PW e FS620 PWU foram os que apresentaram as maiores reduções com 8,03 e 5,09%, respectivamente, usando-se para esse cálculo os valores obtidos pela equação da hipérbole retangular (Tabela 1). Pode-se inferir que o grau de competição da planta daninha com o milho, pode também, ser influenciado pela área foliar da infestante. Importante ressaltar que a densidade de plantas pode estar diretamente relacionada ao acúmulo de área foliar. Galon et al (2019), observaram que à medida que o papuã apareceu em maior proporção de plantas infestante de vários híbridos de milho, a planta daninha apresentou maior AF que a cultura e conseqüentemente maior habilidade competitiva, vindo a reduzir a produtividade de grãos.

Os resultados para perda de produtividade dos híbridos de milho, em relação ao percentual de CS e de MS, demonstram semelhança ao observado em relação a DP e AF (Tabela 1). Os híbridos NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 e Brevant 2A401 PWU foram os

mais competitivos demonstrando as menores perdas de produtividades. O aumento da AF, CS e da MS da soja voluntária está diretamente relacionada com a DP. Este fato contribui para explicar a semelhança nas perdas de produtividade entre as variáveis avaliadas, ao se levar em conta o parâmetro i de cada uma das variáveis estudadas. Entre os fatores que estão atrelados a essa interferência, imposta pelas plantas daninhas, está a competição pelos recursos do meio (água, luz e nutrientes), que pode levar a perdas na produtividade da cultura (Jha et al., 2017; Tavares et al., 2019; Frandoloso et al., 2020).

De maneira geral, considerando o parâmetro i , na média das quatro variáveis analisadas, os híbridos mais competitivos foram: NK 488 Vip3 > Syn Supremo Vip3 > Brevant 2A401 PWU > FS620 PWU > NK 422 Vip3 > FS 481 PW (Tabela 1). As diferenças observadas entre os híbridos podem ser atribuídas a diferenciação genética que há entre eles, como ciclo de desenvolvimento, arquitetura de plantas, índice de área foliar, volume do sistema radicular, ao melhor uso do espaço ou da disponibilidade dos recursos disponíveis no meio, dentre outros, conforme já relatado em outros trabalhos da literatura (Bajwa et al., 2017; Galon et al., 2019). Todas essas características alteram o grau de competição do milho na presença de plantas voluntárias de soja. Destaca-se que o potencial produtivo dos híbridos, foi inversamente proporcional a sua habilidade competitiva. Os materiais mais produtivos desse estudo, possivelmente, promovem maior alocação de recursos para o desenvolvimento das estruturas reprodutivas em detrimento aos outros órgãos das plantas que lhe conferissem maior habilidade competitiva na presença da soja voluntária. Alguns estudos tem relatado que a alocação de recursos, além de ser um aspecto fundamental na competição entre espécies de plantas é um importante fator que está condicionado à habilidade competitiva dessas quando convivem em comunidades (Carvalho et al., 2011; Cury et al., 2012).

As estimativas do parâmetro a , independentemente da variável explicativa, foram todas inferiores a 100%, exceto para a CS no híbrido NK 488 Vip3 e para AF em Brevant 2A401 PWU (Tabela 1). Desse modo, pode-se afirmar que foi possível simular adequadamente as perdas máximas de produtividade de acordo com as densidades estabelecidas de soja voluntária. As duas situações onde o parâmetro a superou os 100% de perdas máximas, pode ser atribuído ao fato da densidade de plantas voluntárias de soja terem sido excessivamente baixas e/ou quando os maiores valores não são suficientes para produzir respostas assintóticas de perda de produtividade (Cousens, 1985; Agostinetto et al., 2010).

Dentre as variáveis analisadas, os melhores ajustes ao modelo corresponderam a MS > DP > AF > CS. Para isto foi levado em consideração os maiores valores médios do R^2 e do F, e os menores valores médios do QMR (Tabela 1). Desta forma, os dados demonstram que a

MS pode ser usada em substituição às demais variáveis para estimar as perdas de produtividades de grãos do milho na presença de densidades de soja voluntária. Resultados similares aos do presente estudo foram obtidos ao avaliarem a competição de densidades ou de híbridos de milho em convivência com o papuã (Galon et al., 2019; Frandoloso et al., 2020).

A simulação dos valores de nível de dano econômico (NDE) foi efetuada utilizando-se a variável DP da soja voluntária. Optou pela escolha desta variável devido ao fato dela ter apresentado bom ajuste ao modelo, ser a inferência mais utilizada para tomada de decisão no campo devido a facilidade de obtenção, além, também, de ser a mais utilizada em experimentos com esse propósito (Vidal et al., 2004; Agostinetto et al., 2010; Galon et al., 2019; Frandoloso et al., 2020).

O êxito na implantação de sistemas de manejo de soja voluntária na cultura do milho pode decorrer da determinação na densidade que excede o NDE. Assim, observou-se que os híbridos, NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 e Brevant 2A401 PWU apresentaram os maiores valores de NDE nas simulações efetuadas, tendo variações de 1,01 a 3,82 plantas m^{-2} (Figuras 1, 2, 3 e 4). Os menores valores de NDE foram obtidos com NK 422 Vip3 e FS 481 PW, com variações de 0,18 à 1,00 planta m^{-2} . O híbrido FS620 PWU ficou em patamar intermediário de NDE ao se comparar com os demais.

Ao se comparar a produtividade dos híbridos, levando em consideração a menor (3,98 t ha^{-1}) com a maior (7,09 t ha^{-1}), observou-se diferença no NDE de até 43,82% (Figura 1). Desse modo, quanto maior o potencial produtivo dos híbridos de milho, menor será a densidade de plantas de soja voluntária que equivale ao NDE. Este cenário torna compensatória adoção de medidas de controle da planta daninha mesmo quando ocorrem em baixas densidades. Vidal et al. (2004) e Galon et al. (2019) afirmam que o NDE de papuã ao infestar o milho eleva-se à medida que diminui o preço da cultura e aumento do custo do controle. Por outro lado, o aumento do preço do milho reduz o impacto do custo de controle da planta daninha, obtendo maior retorno econômico com a cultura. Neste cenário, tolera-se menor nível de perda e NDE ocorre com menor densidade de plantas daninhas.

Analisando o preço pago na saca de milho foi verificada variação de 1,76 vezes no valor do NDE (Figura 2). Pode-se afirmar que quanto menor for o preço pago a saca de milho, maior será a densidade necessária de soja voluntária para ultrapassar o NDE e assim compensar o uso do herbicida. Desse modo destacaram-se como os híbridos mais competitivos o NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 e Brevant 2A401 PWU, todos eles com um NDE superior a 1,79 plantas m^{-2} de soja voluntária. A maior competição desses híbridos,

conforme já explicado anteriormente, deve-se em partes pelas diferenças genéticas que os mesmos apresentam em relação aos demais, fazendo desse modo que esses tenham maior habilidade competitiva na presença de plantas daninhas.

Em relação ao custo de controle de soja voluntária, observou-se variação de, aproximadamente, 40% quando se compara o custo mínimo com o máximo. Assim quanto maior for o custo do método de controle, maiores são os NDE e mais plantas de soja voluntária m^{-2} são necessárias para justificar medidas de controle (Figura 3). Frandoloso et al. (2020) também encontraram resultados similares ao do presente estudo, porém estudando o efeito de densidades de papuã (*Urochloa plantaginea*) em competição com diferentes híbridos de milho.

Em relação a eficácia do controle químico, observou-se que a variação de 80 e 100% resultaram em alteração do NDE de, aproximadamente, 11,03 e 9,90%, respectivamente (Figura 4). Desse modo, pode-se inferir que o nível de controle influencia diretamente no NDE. De maneira geral, quanto mais elevada a eficácia do herbicida menor o NDE, ou seja, é necessário um menor número de plantas de soja voluntária m^{-2} para adoção de medidas de controle. Ao avaliarem a eficácia de amonio glufosinato para o controle de papuã em milho, Frandoloso et al. (2020) também observaram resultados similares aos encontrados no presente estudo, mesmo que tenham sido estudados diferentes herbicidas e plantas daninhas nas pesquisas.

Os NDEs diminuem com o aumento; da produtividade de grãos, do preço da saca de milho, da eficiência do herbicida e com a redução no custo de controle da soja voluntária, justificando assim a adoção de medidas de controle em menores densidades da planta daninha. O uso do NDE como uma ferramenta para o manejo de plantas daninhas deve ser associado com boas práticas agrícolas de manejo do milho. A sua adoção somente se justifica nas lavouras que utilizem rotação de culturas, arranjo adequado de plantas, uso de híbridos mais competitivos, épocas adequadas de semeadura, correção da fertilidade do solo, dentre outras. Apesar do controle de soja voluntária ser obrigatório, em alguns estados, em determinados períodos do ano que coincidem com o desenvolvimento do milho, o uso do NDE pode auxiliar os produtores na tomada de decisão de manejo mais assertivo.

CONCLUSÕES

Os híbridos de milho NK 488 Vip3, Syn Supremo Vip3 e Brevant 2A401 PWU apresentaram maior habilidade competitiva ao serem infestados pela soja voluntária.

Os maiores valores de NDE variaram de 1,01 a 3,82 plantas m⁻² para os híbridos de milho NK 488 Vip 3, Syn Supremo Vip 3 e Brevant 2A401 PWU os quais apresentaram maior habilidade competitiva, tolerando assim maiores densidades de soja voluntária.

Os híbridos de milho NK 422 Vip 3, FS 481 PW e FS 620 PWU demonstram os menores valores de NDE que variaram de 0,18 a 1,00 plantas m⁻², sendo menos competitivos na presença de soja voluntária.

Os NDEs diminuem com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca do milho, com a redução no custo de controle da soja voluntária e da eficiência do herbicida. Nas maiores populações da soja voluntária a perda de produtividade de milho pode chegar a 36%.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPERGS, à UFFS e ao FINEP pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, v.28, número especial, p. 993-1003, 2010.
- ALMS, J. et al. Corn yield loss due to volunteer soybean. **Weed Science**, v.64, n.3, p.495–500, 2016.
- BAJWA, A. A.; WALSH, M.; CHAUHAN, B. S. Weed management using crop competition in Australia. **Crop Protection**, v.95, n.1, p.8-13, 2017.
- BRANDLER, D. et al. Interference and level of economic damage of turnip in canola. **Revista Agraria Academica**, v. 4, n.1, p. 39-56, 2021.
- CÂMARA, G.M.S. Preparo do solo e plantio In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Eds.). **Soja: do plantio a colheita**. Viçosa/MG: UFV, 2015. CAP. 4, p.66-109.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.1, p.17-24, 2007.
- CARVALHO, F.P. et al. Alocação de matéria seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 373-382, 2011.

- COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Décimo primeiro levantamento, Brasília, v. 11, n. 11, p. 54-72, 2021.
- COUSENS, R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. **Journal of Agricultural Science**, v.105, n.3, p.513-521, 1985.
- CURY, J.P. et al. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 287-296, 2012.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- FRANDOLOSO, F. S. et al. Interference and level of economic damage of alexandergrass on corn. **Planta Daninha**, v38:e020219966, 2020.
- GALON, L. et al. Competitive interaction and economic injury level of *Urochloa plantaginea* in corn hybrids. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, p.1-9, e0182019, 2019.
- JHA, P. et al. Weed management using crop competition in the United States: A review. **Crop Protection**, v.95, n.1, p.31-37, 2017.
- LINDQUIST, J.L.; KROPFF, M.J. Application of an ecophysiological model for irrigated rice (*Oryza sativa*) - *Echinochloa* competition. **Weed Science**, v.44, n.1, p.52-56, 1996.
- PETTER, F.A. et al. Management of volunteer plants in cultivation systems of soybeans, corn and cotton resistant to glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.1, p.58-66, 2016.
- PIASECKI, C.; RIZZARDI, M.A. Economic threshold of volunteer corn GR[®] in soybean as a function of emergence time and origin of corn. **Planta Daninha**, v36, e018177264, 2018.
- RATKOWSKY, D.A. **Nonlinear regression modeling: a unified practical approach**. New York: Marcel Dekker, 1983. p.135-154.
- RIZZARDI, M.A. et al. Interference of volunteer corn from different origins and emergence time on soybean yield and stress metabolism. **Planta Daninha**, v37:e019205476, 2019.
- ROLAS - Rede oficial de laboratórios de análise de solo e de tecido vegetal. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.
- SCHANOSKI, R.; RIGHI, E.Z.; WERNER, V. Perdas na colheita mecanizada de soja (*Glycine max*) no município de Maripá - PR1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1206–1211, 2011.
- TAVARES, L.C. et al. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. **Planta Daninha**, v37, e019178898, 2019.

VELINI, E.D.; OSIPE, R.; GAZZIERO, D.L.P. (Eds). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

VIDAL, R.A. et al. Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, v.22, n.1, p.63-69, 2004.

WESTWOOD, J. H. et al. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, v.66, n.3, p.275-285, 2018.

WILLIAMS, M.M.; BOYDSTON, R.A.; DAVIS, A.S. Crop competitive ability contributes to herbicide performance in sweet corn. **Weed Research**, v.48, n.1, p.58-67, 2008.

Tabela 1. Ajustes obtidos com o modelo da hipérbole retangular de Cousens (1985) para perda de produtividade de grãos por interferência de soja voluntária, em função dos híbridos de milho; NK 422 Vip3, NK 488 Vip3, Supremo Vip3, Brevant 2A401 PWU, FS 481 PW e FS 620 PWU em resposta as variáveis explicativas relativas. UFFS, Erechim/RS.

Variáveis explicativas relativas	Parâmetros ¹		R ²	QMR	F
	<i>i</i>	<i>a</i>			
Densidade de plantas (DP) de soja voluntária (m ⁻²)					
NK 422 Vip3	5,42	38,62	0,87	104,90	39,87*
NK 488 Vip3	0,95	36,70	0,95	23,77	76,38*
Syn Supremo Vip3	1,90	41,51	0,79	27,60	21,01*
Brevant 2A401 PWU	1,84	68,53	0,76	109,40	52,62*
FS 481 PW	10,76	43,37	0,63	68,71	99,98*
FS 620 PWU	3,65	46,05	0,82	125,90	39,82*
Cobertura do solo (CS) de soja voluntária (%)					
NK 422 Vip3	0,09	35,57	0,81	106,70	44,73*
NK 488 Vip3	0,007	102,30	0,63	18,23	101,20*
Syn Supremo Vip3	0,02	40,58	0,79	18,75	180,45*
Brevant 2A401 PWU	0,05	49,84	0,73	119,10	47,96*
FS 481 PW	0,14	42,97	0,76	78,73	86,61*
FS 620 PWU	0,09	36,04	0,65	171,00	27,78*
Área foliar (AF) de soja voluntária (cm ² m ⁻²)					
NK 422 Vip3	0,001	36,72	0,88	96,71	49,86*
NK 488 Vip3	0,0003	29,56	0,67	13,25	141,04*
Syn Supremo Vip3	0,0007	34,51	0,95	17,24	196,74*
Brevant 2A401 PWU	0,0002	153,40	0,61	95,61	60,97*
FS 481 PW	0,005	40,74	0,70	95,62	70,43*
FS 620 PWU	0,003	33,52	0,82	166,30	28,71*
Massa seca da parte aérea (MS) de soja voluntária (g m ⁻²)					
NK 422 Vip3	0,09	34,34	0,92	86,54	56,30*
NK 488 Vip3	0,006	30,39	0,57	19,04	97,12*
Syn Supremo Vip3	0,02	31,27	0,93	18,35	184,55*
Brevant 2A401 PWU	0,02	45,95	0,75	111,00	51,81*
FS 481 PW	0,22	40,42	0,86	59,61	116,00*
FS 620 PWU	0,06	36,20	0,85	135,30	36,42*

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

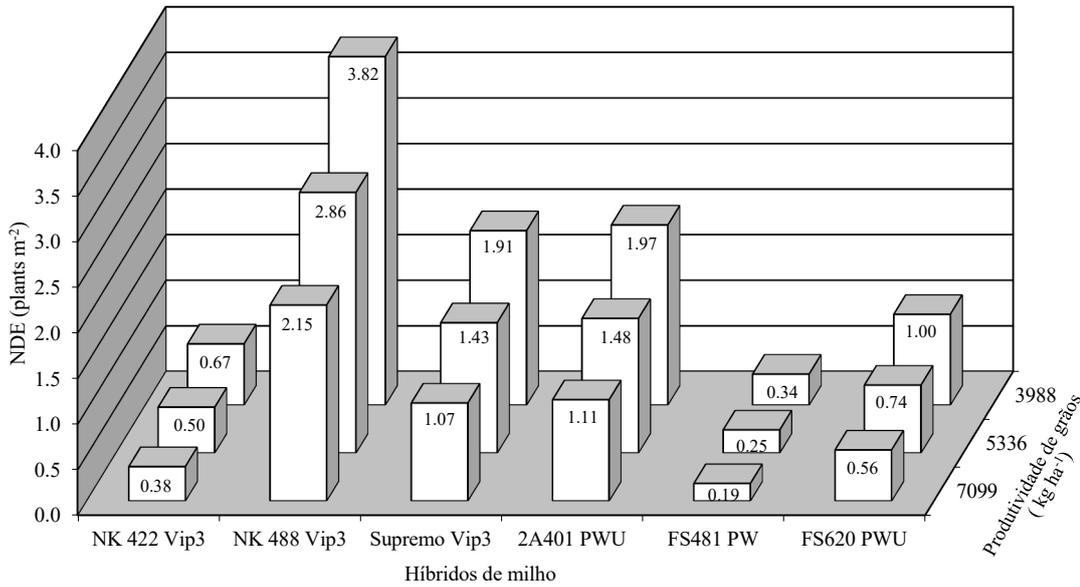


Figura 1. Nível de dano econômico (NDE) para milho em função da produtividade de grãos, densidades de plantas de soja voluntária (m^2) e diferentes híbridos.

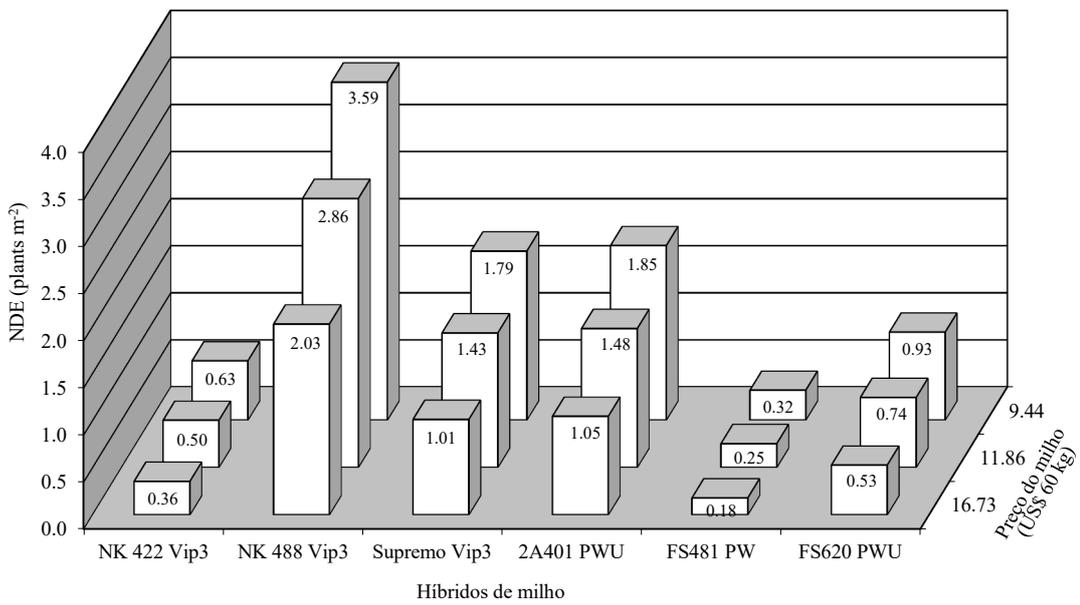


Figura 2. Nível de dano econômico (NDE) para milho em função do preço do milho, densidades de soja voluntária e diferentes híbridos.

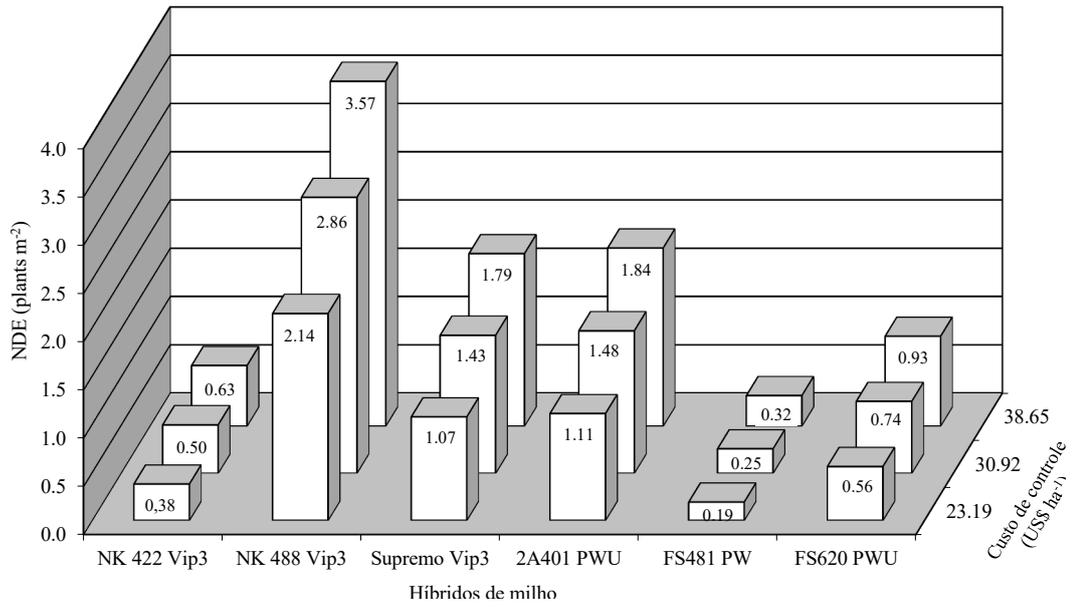


Figura 3. Nível de dano econômico (NDE) para milho em função do custo de controle, densidades soja voluntária e diferentes híbridos.

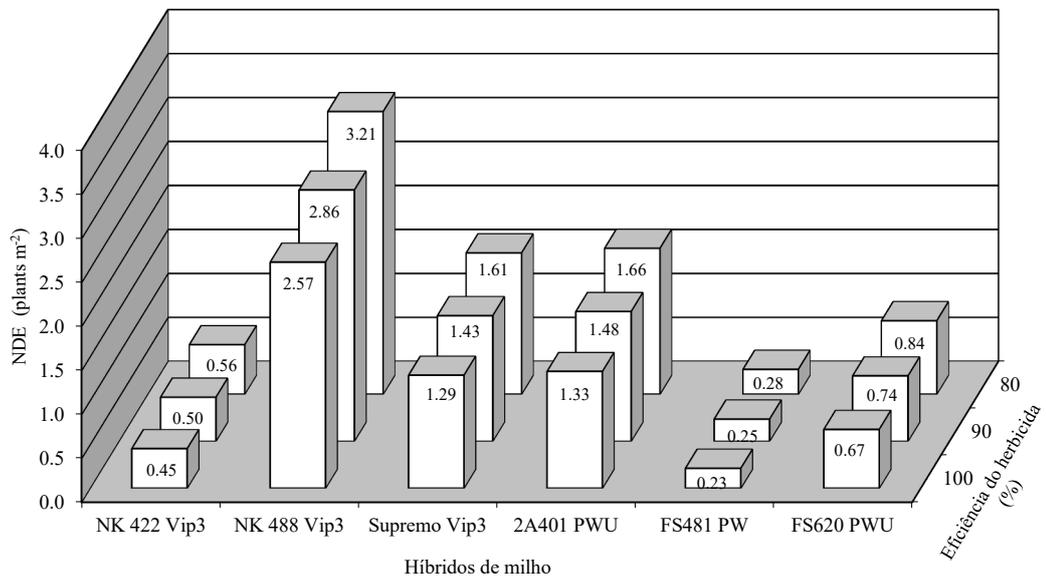


Figura 4. Nível de dano econômico (NDE) para milho em função da eficiência do herbicida, densidades de soja voluntária e diferentes híbridos.

Artigo II - INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE MILHO NA CULTURA DA SOJA

RESUMO – As plantas voluntárias de milho, em especial com resistência a herbicidas, têm infestado culturas semeadas em sucessão, ocasionando competição pelos recursos do meio e como consequência, perdas de produtividades. Diante disso, objetivou-se com o trabalho avaliar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico de seis cultivares de soja infestadas por plantas de milho voluntário. O experimento foi conduzido a campo, em delineamento completamente casualizado, com uma repetição. Os tratamentos foram constituídos por seis cultivares de soja e 12 densidades de milho voluntário estabelecidas para cada cultivar, saindo de 0 ao máximo de 21,5 plantas m⁻². Aos 30 dias após a emergência, efetuou-se a quantificação da densidade de plantas (DP), cobertura de solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) das plantas voluntárias de milho. Na soja determinou-se a produtividade de grãos, custo de controle, preço da saca e eficiência de controle. A hipérbole retangular foi eficiente para estimar as perdas da produtividade de grãos das cultivares de soja pela interferência do milho voluntário, sendo a MS a variável que apresentou melhor ajuste ao modelo. As cultivares de soja Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO e Brasmax Lança IPRO apresentaram maior habilidade competitiva e valores de NDE de 0,07 a 0,20 plantas m⁻² na presença do milho voluntário. Os menores valores de NDE variaram de 0,02 a 0,12 plantas m⁻², para as cultivares Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO, sendo que essas apresentaram a menor competitividade. Os NDEs diminuíram com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca da soja, 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 da planta daninha.

Palavras-chave: *Glycine max.* *Zea mays.* Plantas Tigueras.

INTERFERENCE AND THRESHOLD LEVEL OF VOLUNTEER CORN IN SOYBEAN FIELDS

ABSTRACT – Volunteer corn plants, especially those resistant to herbicides, have infested crops sown in succession, causing competition for the resources of the environment and, as a

consequence, productivity losses. Therefore, the objective of this study was to evaluate the competitive ability and the threshold level (TL) of soybean cultivars infested by volunteer corn plants. The experiment was conducted in the field, in a completely randomized design, with one repetition. The treatments consisted of six soybean cultivars and 12 volunteer corn densities established for each cultivar, from 0 to the maximum of 130 plants m^{-2} . At 30 days after emergence, plant density (PD), soil cover (SC), leaf area (LA) and shoot dry mass (DM) of the volunteer corn plants were quantified. In soybeans, grain yield, control cost, bag price and control efficiency were determined. The rectangular hyperbola model was efficient to estimate the losses of grain yield of soybean cultivars by the interference of volunteer corn, and DM was the variable that presented the best fit to the model. The soybean cultivars Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO and Brasmax Lança IPRO showed higher competitive ability and TL values of 0.07 to 0.20 plants m^{-2} in the presence of volunteer corn. The lowest TL values ranged from 0.02 to 0.12 plants m^{-2} for the cultivars Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO and Brasmax Lança IPRO, which were the least competitive. The TLs decreased with increases in grain yield, soybean bag price, herbicide efficiency and reduction in the cost of controlling volunteer corn, which justifies the adoption of weed control measures at lower weed densities.

Keywords: *Glycine max.* *Zea mays.* Volunteer plants.

INTRODUÇÃO

A semeadura de culturas após o cultivo do milho tem aumentado nos últimos anos no Brasil, especialmente na Região Sul do Brasil e no Estado do Rio Grande do Sul. Durante a colheita do milho, ocorrem muitas perdas de grãos e espigas que podem dar origem a novas plantas. Elas competem com a cultura de interesse econômico por água, luz e nutrientes (Alms et al., 2016; Petter et al., 2016). Estas plantas são oriundas de perdas de grãos na colheita chamadas de plantas voluntárias ou tigueras (Christoffoleti et al., 2015; Galon et al., 2022). Além de competirem pelos recursos do meio as plantas voluntárias podem ser hospedeiras de pragas e doenças que afetam a cultura de interesse econômico (Piasecki et al., 2018; Costa et al., 2020). A alta adoção de cultivares de milho resistente a herbicidas tem ocasionado dificuldade de controle e favorecido a permanência destas plantas na área (Piasecki et al., 2018).

As perdas de grãos nas lavouras brasileiras de milho situam-se entre 71 a 178 $kg\ ha^{-1}$ (Paulsen et al., 2014). Este fato demonstra o desafio enfrentado pelo produtor e ilustra o

potencial de dano que estas plantas podem ocasionar. O milho voluntário pode reduzir a produtividade da soja e, 16% quando ocorre em densidade de 0,5 planta m⁻² (Piasecki et al., 2018).

As estimativas de perdas de produtividade das culturas ao serem infestadas por plantas daninhas podem ser efetuadas com adoção de modelos matemáticos (Agostinetto et al., 2010; Kalsing & Vidal, 2013; Tavares et al., 2019). Cousens (1985) criou o modelo da hipérbole retangular que relaciona a perda de produtividade de grãos com densidades de plantas daninhas. Esse autor ajustou um modelo empírico que torna possível prever a perda de produtividade em função da densidade de plantas daninhas, obtendo resultados que demonstraram a superioridade deste modelo sobre outros que foram testados com finalidade similares.

As plantas voluntárias, geralmente, aparecem nas lavouras em densidades menores do que as plantas daninhas verdadeiras, tornando-se importante o produtor avaliar e analisar o custo de controle ou mesmo quantificar os danos que essas irão causar na cultura que infestarem. Quando ocorrem em elevada densidade simplifica-se a tomada de decisão dos produtores para adotarem alguma medida de controle (Agostinetto et al., 2010). No entanto, quando aparecem em densidades menores, a adoção de medidas para o controle torna-se difícil, pois os agricultores precisam quantificar as vantagens econômicas associadas ao custo do controle (Tavares et al., 2019; Galon et al., 2022). Desta forma, é necessário implementar estratégias de manejo que integrem o conhecimento técnico e a análise econômica aliado ao conhecimento da relação de competição entre a cultura e as plantas daninhas (Westwood et al., 2018). Dentro deste contexto, é importante caracterizar o nível de dano econômico (NDE) para auxiliar o produtor na tomada de decisão.

O NDE estabelece que a aplicação de herbicidas ou de outros métodos de controle somente se justificará caso os prejuízos causados pelas plantas daninhas forem superiores ao custo da medida utilizada (Piasecki et al., 2018; Tavares et al., 2019). Para realizar os cálculos dos NDE envolvem-se muitas variáveis. Estas podem ser influenciadas por vários fatores, tais como: espécie de planta daninha presente na lavoura, densidade e época de emergência das infestantes em relação à cultura, porcentagem de perda e potencial de produtividade da cultura na presença e livre de plantas daninhas, valor do produto colhido, custos e eficiência do controle, e influência das plantas daninhas remanescentes sobre o produto (Agostinetto et al., 2010; Brandler et al., 2021). Práticas de manejo, como o uso de cultivares com maior habilidade competitiva e densidades de semeadura podem influenciar diretamente no nível de perdas ocasionadas das plantas daninhas.

Nesse sentido existem variações na habilidade competitiva e nos níveis de dano econômico ocasionados pela competição exercida por densidades de milho voluntário sobre cultivares de soja. Diante do exposto, objetivou-se com o trabalho avaliar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico de seis cultivares de soja (Nidera 5909 RG, Brasmax Elite IPRO, Syngenta 13561 IPRO, Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO) infestadas por 12 densidade de plantas de milho voluntário (NK 488 VIP 3).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, latitude 27,725269° S, longitude 52,294485° W e altitude de 650 m, de outubro de 2017 a março de 2018. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Aluminoférrico Húmico (Santos et al., 2018). Amostras de solo foram retiradas na camada de 0 a 10 cm para realizar a análise química, tendo as seguintes características: pH (água) = 5,1; matéria orgânica = 3,0%; argila = >60%; P = 5,2 mg dm⁻³, K = 118,0 mg dm⁻³, Ca⁺² = 5,5 cmolc dm⁻³; Mg⁺² = 3,0 cmolc dm⁻³; Al⁺³ = 0,3 cmolc dm⁻³; H + Al = 7,7 cmolc dm⁻³ e CTC efetiva = 16,6 cmolc dm⁻³. A correção da fertilidade foi efetuada conforme as recomendações técnicas à cultura da soja destinada a produção de grãos (SBCS, 2016). A adubação química de base foi de 433 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-20 de N-P-K. Os demais manejos efetuados seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja.

As condições ambientais no momento de condução do experimento estão dispostas na Figura 1. O clima da região é classificado como Cfa (temperado úmido com verão quente) de acordo com a classificação Köppen-Geiger, nas quais as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano (Peel et al., 2007). O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado, sendo os tratamentos constituídos por seis cultivares de soja e 12 densidades de milho voluntário simulando perdas de colheita, híbrido Syngenta 488 Vip 3, com uma repetição. Nesta pesquisa, as diferentes densidades do milho voluntário funcionaram como repetições, proporcionando a variância necessária para realizar a análise estatística pelo modelo não-linear da hipérbole retangular proposto por Cousens, (1985). Essa mesma metodologia foi empregada na elaboração de vários outros trabalhos desenvolvidos com objetivo similar ao do presente estudo, de avaliar a habilidade competitiva de cultivares e o

nível de dano econômico de plantas daninhas infestantes de culturas (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019; Brandler et al., 2021; Galon et al., 2022).

As cultivares de soja usadas no experimento foram a Nidera 5909 RG, Brasmax Elite IPRO, Syngenta 13561 IPRO, Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO que conviveram com distintas densidades de milho voluntário, conforme a descrição na Tabela 1.

As cultivares de soja foram selecionadas para o presente estudo em razão de serem as mais cultivadas na região para produção de grãos, com as seguintes características: a) Nidera 5909 RG: hábito de crescimento indeterminado, ciclo precoce, grupo de maturação 6.2, resistente insetos e tolerante a herbicidas; b) Brasmax Elite IPRO: hábito de crescimento indeterminado, ciclo precoce, grupo de maturação 5.5, resistente a insetos e tolerante a herbicidas; c) Syngenta 13561 IPRO: hábito de crescimento indeterminado, ciclo médio-precoce, grupo de maturação 6.1, resistente a insetos e tolerante a herbicidas; d) Dom Mario 5958 RSF IPRO: hábito de crescimento indeterminado, ciclo médio, grupo de maturação 5.8, resistente a insetos e tolerante a herbicidas; e) Nidera 6909 IPRO: hábito de crescimento indeterminado, ciclo médio, grupo de maturação 6.3, resistente a insetos e tolerante a herbicidas; e f) Brasmax Lança IPRO: hábito de crescimento indeterminado, ciclo médio, grupo de maturação 5.8, resistente a insetos e tolerante a herbicidas a base de glifosato.

O experimento foi instalado em 30/10/2017, em sistema de plantio direto na palha. A cobertura morta do solo foi formada por aveia-preta + ervilhaca, com produção de 5,00 t ha⁻¹ de massa seca. A dessecação foi realizada com o herbicida glyphosate (1440 g e.a. ha⁻¹) 15 dias antes da semeadura da soja. As unidades experimentais apresentavam área de 15,00 m², sendo compostas por seis fileiras de soja, espaçadas a 0,50 m, e com 5,00 m de comprimento. A área útil correspondeu a 8,00 m², ou seja, quatro linhas centrais, descontando-se uma linha de cada lateral e 0,50 m em cada extremidade (2,00 m x 4,00 m). A densidade de plantas de soja semeadas para cada cultivar foi de 250.000 ha⁻¹.

As densidades de milho voluntário (*Zea mays*) foram estabelecidas pela semeadura manual com matraca em cada parcela usando-se para isso o híbrido Syngenta 488 Vip 3. O estabelecimento das densidades de milho voluntário foi efetuado de modo a simular diferentes perdas de colheita, desde baixas até elevadas quantidades de grãos perdidos na lavoura, calculando-se a quantidade de sementes necessária em cada unidade experimental de acordo com o tratamento proposto, de 0 até 21,5 plantas m⁻². As densidades de milho voluntário foram variadas em virtude de que a semeadura com matraca manual apresenta desuniformidade de profundidade de uma cova para outra, pelo solo às vezes estar mais

compactado, ter mais palhada, dentre outros e desse modo fatores como a umidade e a temperatura do solo podem ter influenciado o estabelecimento de um número exato de plantas por área (unidade experimental).

As densidades de milho voluntário foram determinadas por contagens em duas áreas de 0,50 x 0,50 m, sendo uma aferição efetuada no centro e outra na lateral de cada unidade experimental, quando a soja se encontrava-se no estágio V2 a V3 e a planta daninha (milho voluntário) no estágio de V4 a V5 (quatro a cinco folhas desenvolvidas). As demais plantas daninhas não objeto de estudo foram controladas com aplicação de glyphosate (1440 g e.a. ha⁻¹) para evitar a competição.

A quantificação da densidade de plantas (DP), cobertura do solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) das plantas voluntárias de milho foram realizadas aos 35 dias após a emergência (DAE) ou no estágio fenológico de V2 a V3 da soja. Para determinação da variável explicativa DP, foram efetuadas duas amostragens, aleatórias, por parcela utilizando quadrado de 0,50 m de lado. A CS por plantas de milho voluntário foi avaliada visualmente, de modo individual, por dois avaliadores, utilizando-se uma escala percentual, na qual a nota zero corresponde à ausência de cobertura e 100 representa cobertura total do solo. A quantificação da AF da planta competidora foi efetuada com um integrador eletrônico de AF portátil, modelo CI-203, marca CID Bio-Science, mensurando-se todas as plantas em uma área de 0,25 m² por parcela. A MS do milho voluntário (g m⁻²) foi determinada pelas coletas das plantas contidas em área de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) por parcela e secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60±5°C, até atingirem massa constante.

A quantificação da produtividade de grãos foi obtida pela colheita das plantas na área útil de 8,00 m² (2,00 x 4,00 m) em cada parcela. A colheita foi realizada quando o teor médio de umidade dos grãos atingiu aproximadamente 15%. Após a pesagem, determinou-se a sua umidade, sendo as massas corrigidas para o teor de 13% de umidade e os valores expressos em kg ha⁻¹.

As perdas percentuais de produtividade de grãos de soja, em relação às unidades experimentais livres de plantas competidoras foram calculadas de acordo com a Equação 1:

$$\text{Perda (\%)} = \left(\frac{Ra - Rb}{Ra} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1,}$$

Onde: *Ra* e *Rb*: produtividade da cultura sem ou com presença da planta competidora, milho voluntário, respectivamente.

Anteriormente à análise dos dados, os valores de MS (g m^{-2}), CS (%) ou AF (cm^2) foram multiplicados por 100, dispensando-se assim o uso do fator de correção no modelo (Agostinnetto et al., 2010; Tavares et al., 2019).

As relações entre perdas percentuais de produtividade da soja em função das variáveis explicativas foram calculadas separadamente para cada cultivar, utilizando-se o modelo de regressão não linear derivada da hipérbole retangular, proposta por Cousens em 1985, conforme a Equação 2:

$$Pp = \frac{(i * X)}{(1 + (\frac{i}{a}) * X)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: Pp = perda de produtividade (%); X = DP, CS, AF e MS do milho voluntário; *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. Para o procedimento de cálculos, foi utilizado o método de Gauss-Newton, o qual, por sucessivas iterações, estima os valores dos parâmetros, nos quais a soma dos quadrados dos desvios das observações, em relação aos valores ajustados, seja mínima (Agostinnetto et al., 2010). O valor da estatística F ($p \leq 0,05$) foi utilizado como critério de análise dos dados do modelo. O critério de aceitação do ajuste dos dados ao modelo baseou-se na significância do F, no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e no menor valor do quadrado médio do resíduo (QMR).

Para o cálculo do nível de dano econômico (NDE) foi utilizado as estimativas do parâmetro *i* obtidas a partir da Equação 2 (Cousens, 1985), e a Equação adaptada de Lindquist & Kropff (1996) – Equação 3:

$$\text{NDE} = \frac{(Cc)}{(R * P * (\frac{i}{100}) * (\frac{H}{100}))} \quad \text{Equação 3}$$

onde: NDE = nível de dano econômico (plantas m^{-2}); Cc = custo do controle (mistura comercial dos herbicidas, clethodim – 108 g ha^{-1} + Óleo mineral (0,5% v/v) e aplicação terrestre tratorizada, em dólares ha^{-1}); R = produtividade de grãos da soja (kg ha^{-1}); P = preço da soja (dólares kg^{-1} de grãos); *i* = perda (%) de produtividade da soja por unidade de planta competidora, quando o nível populacional se aproxima de zero e H = nível de eficiência do herbicida (%).

Para as variáveis Cc, R, P e H (Equação 3) foram estimados três valores ocorrentes nos últimos 10 anos. Assim, para o custo de controle (Cc), considerou-se o preço médio, sendo o custo máximo e mínimo alterado em 25%, em relação ao custo médio. A

produtividade de grãos da soja (R) foi baseada na menor, média e maiores quantidades obtidas no Brasil, nos últimos 10 anos. O preço do produto (P) foi estimado a partir do menor, médio e maior preço da soja 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 (Velini et al., 1995). Para as simulações de NDE foram utilizados os valores intermediários para as variáveis que não estavam sendo objeto de cálculo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis explicativas do milho voluntário (DP, AF, CS e MS) avaliadas para a perda de produtividade nas cultivares de soja apresentaram valores da estatística F significativos (Figuras 1, 2, 3 e 4). O modelo da hipérbole retangular ajustou-se adequadamente aos dados, com valor médio do R^2 superior a 0,55 e baixo QMR.

As cultivares de soja apresentaram diferentes níveis de perdas de produtividade de grãos pela infestação das densidades variadas do milho voluntário (Figuras 1, 2, 3 e 4). Levando-se em conta a média do parâmetro i para as variáveis DP, CS, AF e MS as cultivares, Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO e Brasmax Lança IPRO caracterizaram-se como os materiais mais competitivos na presença do milho voluntário.. Trabalhos indicam a capacidade diferenciada de cultivares de soja quanto a sua habilidade competitiva na presença de plantas daninhas (Forte et al., 2017; Souza et al., 2019; Galon et al., 2022). Provavelmente, este fato deve-se a diferenciação genética existente entre os materiais avaliados. A diferença de habilidade competitiva entre as cultivares pode ser atribuída ao maior índice de área foliar, arquitetura das plantas, altura, ciclo, taxa de crescimento e uso eficiente dos recursos do meio pela cultura (Forte et al., 2017; Souza et al., 2019). A competição imposta pelo material genético é uma importante ferramenta para o manejo integrado de plantas daninhas. Cultivares mais competitivos podem reduzir o uso de herbicidas e com isso se tem menor poluição ambiental e produção de alimentos mais seguros (Jha et al., 2017; Tavares et al., 2019).

Observou-se perdas mínimas e máximas, respectivamente, de 12,61 a 40,56% na produtividade de grãos das cultivares de soja ao serem infestadas por 1 planta m^{-2} de milho voluntário (Figuras 1). Esse fato demonstra a diferente habilidade competitiva das cultivares de soja e que o milho voluntário mesmo em pequenas densidades pode ocasionar grandes perdas de produtividade. Na densidade de 5 plantas m^{-2} de milho voluntário, ocorreu perda na

produtividade de grãos das cultivares de soja maior que 75%. O alto nível de perdas pode estar associado ao fato do milho ser uma planta com metabolismo do tipo C4, onde é mais eficiente no uso dos recursos do meio (água, luz, nutrientes e CO₂) (Silva et al., 2012). Associado a este fato, ele apresenta maior taxa de crescimento relativo, ou seja, rápido acúmulo de biomassa, do que a soja, ocasionando a sua supressão (Silva et al., 2012; Pierik & Ballaré, 2021).

Ao se considerar como perda tolerável de grãos de milho pela colheita com colhedora automotriz de 90 kg ha⁻¹ (Mantovani, 2021) e o peso médio de 1000 grãos de milho de, aproximadamente, 342 g (Bianchetto et al., 2017) tem-se uma quantidade de grãos correspondente a 90.000 ha⁻¹. Prevendo um índice de germinação de 50% tem-se 45.000 plantas ha⁻¹ de milho ou 4,50 plantas m⁻². Isso demonstra o potencial de perdas de produtividade que pode ocorrer na cultura da soja, caso o controle de milho voluntário seja realizado de maneira inadequada. Desta forma, a redução de perdas na colheita do milho, possibilitará maior retorno econômico por ocasionar ganhos no rendimento dessa cultura e diminuição do potencial de perdas oriundas da competição com a soja, ou outra cultura semeada em sucessão ao cultivo do milho. Pois observou-se com 5 plantas m⁻² de milho voluntário a perda de produtividade da soja foi superior a 75%, sendo essa densidade próxima da aceitável como perda de colheita para a cultura do milho.

Outros trabalhos também relatam efeito negativo à cultura da soja quando essa foi infestada por 0,5 a 1,00 planta m⁻² de milho voluntário com perdas na produtividade de grãos superiores a 10% (Aguiar et al., 2018; Piasecki et al., 2018), ou de 33% quando as cultivares UFUS Capim Branco e UFUS Carajás foram infestadas por diversas espécies de plantas daninhas (Souza et al., 2019).

Os resultados demonstram perdas de rendimento de grãos da soja de 87,19 e 27,59%, para as cultivares Nidera 5909 RG e Nidera 6909 IPRO, respectivamente ao se levar em consideração acúmulo de 5.000 cm² m⁻² de AF de milho voluntário (Figura 2). Desse modo, fica evidente que o grau de competição da planta daninha com a soja é influenciado pela área foliar da infestante. Destaca-se que estas duas cultivares apresentam maior grupo de maturação do que as demais, respectivamente, 6.2 e 6.3,. Alguns trabalhos relatam que cultivares de soja com grupos de maturação mais tardios demonstram menor habilidade competitiva na presença de plantas daninhas do que as de grupo de maturação precoce (Bastiani et al., 2016; Souza et al., 2019). Este comportamento relaciona-se com o fechamento do dossel pela soja devido a maior velocidade de emergência e a taxa de crescimento. A cultivar de ciclo menor exerce controle cultural mais eficaz que a de ciclo maior, limitando

ainda a germinação de novas plantas daninhas em função do sombreamento mais rápido do solo.

Os resultados para perda de produtividade das cultivares de soja, em relação ao percentual de CS e de MS (Figuras 3 e 4), demonstram semelhança ao observado em relação a DP e AF (Figuras 1 e 2). As cultivares de soja Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO e Brasmax Lança foram as mais competitivas demonstrando menores perdas de produtividades de grãos. O aumento da AF, CS e da MS do milho voluntário está diretamente relacionada com a DP. Este fato contribui para explicar a semelhança nas perdas de produtividade, ao se levar em conta o parâmetro i de cada uma das variáveis estudadas. Entre os fatores que estão atrelados a essa interferência, imposta pelas plantas daninhas, está a competição pelos recursos do meio (água, luz e nutrientes), que pode levar a perdas na produtividade das culturas (Jha et al., 2017; Piasecki et al., 2018; Galon et al., 2022). No caso do milho voluntário a velocidade de absorção de nutrientes, uso eficiente da água, velocidade de crescimento, acúmulo de biomassa e sombreamento imposto as cultivares de soja são fatores que podem estar atrelados a elevadas perdas de produtividades de grãos mesmo quando o milho apareceu em baixas densidades infestando a soja (Piasecki et al., 2018). A soja é menos eficiente na extração de água do solo do que algumas plantas daninhas (Ferreira et al., 2011; Souza et al., 2019) e no caso da presente pesquisa, provavelmente o milho voluntário sobressaiu-se no uso dos recursos do meio ao se comparar com a cultura, o que explica a menor competitividade e a redução na produtividade da soja quando na presença do competidor.

Considerando o parâmetro i como um índice indicativo para comparar a competitividade relativa entre espécies (Agostinetto et al., 2010), observou-se no presente experimento que na média das variáveis DP, CS, AF e MS as cultivares mais competitivas foram: Nidera 5909 RG > Brasmax Lança IPRO > Syngenta 13561 IPRO > Dom Mario 5958 RSF IPRO > Brasmax Elite IPRO > Nidera 6909 IPRO (Figuras 1, 2, 3 e 4). As diferenças observadas em relação a habilidade competitiva das cultivares de soja na presença do milho voluntário podem ser atribuídas a diferenciação genética que existe entre as mesmas, como, ciclo de desenvolvimento, ciclo e grupo de maturação, arquitetura de plantas, índice de área foliar, volume do sistema radicular, ao melhor uso do espaço ou da disponibilidade dos recursos disponíveis no meio, dentre outros, fato esse também observado por outros pesquisadores (Bajwa et al., 2017; Forte et al., 2017; Souza et al., 2019; Galon et al., 2022). Cultivares de soja com características precoces levam vantagem na competição pelo rápido crescimento inicial, suprimindo as plantas daninhas, além de a maturação ocorrer de forma

mais rápida e muitas vezes a colheita acontece antes da maturação das sementes das plantas daninhas o que irá reduzir o banco de sementes para a próxima safra (Bianchi et al., 2011; Souza et al., 2019).

Observou-se que o potencial produtivo das cultivares de soja foi inversamente proporcional a sua habilidade competitiva. As cultivares que apresentaram maior produtividade (Brasmax Elite IPRO; Dom Mario 5958 RSF IPRO e Nidera 6909 IPRO), possivelmente alocaram maior recursos para o desenvolvimento das estruturas reprodutivas em detrimento aos outros órgãos das plantas que lhe conferissem maior habilidade competitiva. Desse modo as cultivares Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO e Brasmax Lança IPRO foram mais competitivas, mas com custo de produzir menos que as demais. Alguns trabalhos tem descrito que a alocação de recursos, além de ser um aspecto fundamental na competição entre espécies, é um importante fator que está condicionado à habilidade competitiva dessas quando convivem em comunidades (Cury et al., 2012; Souza et al., 2019).

As estimativas do parâmetro a , para a maioria das comparações foram superestimadas pelo modelo, com perdas de produtividade superiores a 100% (Figuras 1, 2, 3 e 4). Esses resultados (perdas superiores a 100% para o parâmetro a) podem ser decorrentes do fato de que as maiores densidades de plantas de milho voluntário não serem suficientes para estimar adequadamente a perda máxima de produtividade da soja (Cousens, 1991). Para obtenção de estimativa confiável para o parâmetro a , tem-se a necessidade de se incluir no experimento densidades muito elevadas do competidor, superiores das comumente encontradas em condições de lavoura (Cousens, 1991). De modo semelhante, Agostinetto et al., (2010), Brandler et al., (2020) e Brunetto et al., (2023) ao estudarem a competição do arroz com o capim-arroz, canola *versus* nabo e quinoa em competição com papuã, respectivamente submetido a diferentes métodos de manejo, também observaram perdas superiores a 100% para o parâmetro a .

A limitação do parâmetro a em 100% seria uma possibilidade para evitar que as perdas de produtividade sejam superestimadas, porém isso influenciará a estimativa do parâmetro i , resultando em menor previsibilidade do modelo da hipérbole retangular (Cousens, 1991). Além disso, perdas de produtividade superiores a 100% são biologicamente irrealis e ocorrem quando a amplitude das densidades de plantas daninhas é excessivamente estreita e/ou quando os maiores valores das densidades não são suficientes para produzir resposta assintótica de perda de produtividade (Agostinetto et al., 2010).

Dentre as variáveis analisadas, os melhores ajustes ao modelo corresponderam a $MS > CS > DP > AF$. Para isto foi levado em consideração os maiores valores médios do R^2 e do F , e os menores valores médios do QMR (Figuras 1, 2, 3 e 4). Assim sendo, os resultados demonstram que a MS pode ser usada em substituição às demais variáveis para estimar as perdas de produtividades das cultivares de soja na presença de densidades de milho voluntário. Outros trabalhos também encontraram resultados similares aos observados na presente pesquisa, ao avaliarem a competição de cultivares de soja na presença plantas daninhas (Buttis et al., 2018; Souza et al., 2019). No entanto, a simulação dos valores de nível de dano econômico (NDE) foi efetuada utilizando-se a variável DP do milho voluntário. Essa variável foi selecionada em virtude da facilidade de ser determinada a campo e ainda por ser a mais utilizada em experimentos com esse propósito (Agostinetti et al., 2010; Tavares et al., 2019).

O êxito na implantação de sistemas de manejo de milho voluntário infestante da cultura da soja pode decorrer da determinação na densidade que excede o NDE. O NDE mais baixo foram denotado para a Nidera 6909 IPRO com valor médio de 0,03 plantas m^{-2} (Figuras 5, 6, 7 e 8). Levando-se em conta os mesmos critérios, o NDE foi alcançado com 0,16; 0,12; 0,09; 0,07 e 0,06 plantas m^{-2} de milho voluntário para as cultivares Nidera 5909 IPRO, Brasmax Elite IPRO, Syngenta 13561 IPRO, Dom Mario 5958 RSF IPRO e Brasmax Lança IPRO, respectivamente. Observou-se que as cultivares Nidera 5909 IPRO, Brasmax Elite IPRO, Syngenta 13561 IPRO apresentaram os maiores valores de NDE em todas as simulações realizadas, tendo variações de 0,07 a 0,26 plantas m^{-2} . Os menores valores de NDE foram obtidos com as cultivares Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO de 0,02 a 0,09 plantas m^{-2} . Alguns trabalhos tem descrito haver diferenciações em termos de NDE de acordo com as características das cultivares, conforme relatado para trigo (Tavares et al., 2019), canola (Brandler et al. (2021) e soja (Galon et al., 2022) quando infestadas por diferentes plantas daninhas.

A produtividade de grãos, o custo de controle, o preço pago à saca da soja e a eficiência do herbicida influenciam no NDE do milho voluntário sobre a cultura. Quando as cultivares de soja diminuíram a produtividade de grãos em 777 $kg\ ha^{-1}$, ou seja, redução de 3428 para 2651 $kg\ ha^{-1}$, a densidade de milho necessária para atingir o NDE foi incrementada em 50% para os materiais Nidera 5909 IPRO, Brasmax Elite IPRO, Syngenta 13561 IPRO, Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO (Figura 5). Percebe-se assim que o aumento da expectativa de produtividade da cultura poderá ser menos influenciada pela competição das plantas daninhas. A redução no preço da saca de grão de

soja em US\$ 20,38, (US\$ 36,17 - 15,79), foi necessário o incremento na densidade de milho voluntário para atingir o NDE de 56,35%, para as seis cultivares de soja (Figura 6). Ao se aumentar o custo de controle em US\$ 14,42 (US\$ 21,61 para US\$ 36,03) a densidade de milho voluntário necessária para atingir o NDE foi incrementada em mais de 40%, para todas as cultivares avaliadas (Figura 7). Com a redução da eficiência passando de 100 para 80%, ou seja, redução de 20% a densidade de milho voluntário necessária para atingir o NDE foi incrementada em aproximadamente 25% (Figura 8). Galon et al. (2022) constaram um incremento maior que 10% da densidade de guaxuma para se atingir o NDE quando essa espécie daninha infestou várias cultivares de soja, assemelhando-se em parte aos resultados do presente estudo.

As oscilações entre a maior e a menor produtividade de grãos, preço da saca (60 kg), custo de controle e eficiência do herbicida influenciou na média das cultivares de soja Nidera 5909 IPRO, Brasmax Elite IPRO, Syngenta 13561 IPRO, Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO ocasionara reduções do NDE em cerca de 23, 56; 40 e 20%, respectivamente (Figuras 5, 6, 7 e 8). Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Tavares et al. (2019), Brander et al. (2021) e Galon et al. (2022) ao trabalharem com trigo, canola e soja infestados por plantas daninhas.

As cultivares de soja Nidera 5909 IPRO, Brasmax Elite IPRO e Syngenta 13561 IPRO, apresentaram os melhores resultados para o cálculo do NDE levando-se em conta a produtividade de grãos. Estas cultivares podem conviver com número mais elevado de plantas de milho voluntário do que Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO (Figura 5). Observou-se que quanto maior o potencial produtivo da cultura, menor será a densidade de plantas necessária para ultrapassar os valores de NDE. Resultados similares apontam que quanto maior o potencial produtivo das cultivares de soja menor são os valores de NDE quando em convivência com a guaxuma (Galon et al., 2022).

Ao se comparar a produtividade das cultivares de soja, levando em consideração a menor (2651 kg ha⁻¹) com a maior (3428 kg ha⁻¹), observou-se diferença no NDE de até 22,66% (Figura 5). Desse modo, quanto maior o potencial produtivo das cultivares de soja, menor será a densidade de plantas de milho voluntário que equivale ao NDE. Os resultados indicam que ao optar por cultivares mais produtivas o produtor deve se atentar a adoção de medidas de controle da planta daninha mesmo quando ocorrem em baixas densidades. Por outro lado, o incremento do preço da soja reduz o impacto do custo de controle da planta daninha, obtendo maior retorno econômico com a cultura. Neste cenário, tolera-se menor nível de perda e NDE ocorre com menor densidade de plantas de milho voluntário. Os

resultados quanto ao preço pago à saca de soja demonstram variação em cerca de 2,30 vezes no valor do NDE (Figura 6). Desse modo, pode-se afirmar que quanto menor for o preço pago a saca de soja, maior será a densidade necessária de milho voluntário para ultrapassar o NDE e assim compensar o uso do herbicida. Assim sendo destacaram-se como as cultivares mais competitivas a Nidera 5909 IPRO, Brasmax Elite IPRO e Syngenta 13561 IPRO com valor de NDE superior a 0,07 plantas m⁻² de milho voluntário, sendo esse fato atribuído principalmente as características genéticas diferenciadas dos materiais estudados

Em relação ao custo de controle do milho voluntário, observou-se variação de, aproximadamente, 40,02% quando se compara o custo mínimo com o máximo. Assim quanto maior for o custo do método de controle, maiores são os NDE e mais plantas de milho voluntário m⁻² são necessárias para justificar medidas de controle (Figura 7). Para a eficácia do controle químico, observou-se que a variação de 80 e 100% ocasionou em alteração do NDE de, aproximadamente, 10,00 e 11,11%, respectivamente ao se comparar com o controle médio do milho voluntário (Figura 8). Desse modo, pode-se inferir que o nível de controle influencia diretamente no NDE. De maneira geral, quanto mais elevada a eficácia do herbicida, menor o NDE, ou seja, é necessário menor número de plantas de milho voluntário m⁻² para adoção de medidas de controle.

CONCLUSÕES

As cultivares de soja Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO e Brasmax Lança IPRO apresentaram maior habilidade competitiva ao serem infestados pelo milho voluntário.

Os maiores valores de NDE variaram de 0,07 a 0,20 plantas m⁻² para as cultivares de soja Nidera 5909 RG, Syngenta 13561 IPRO e Brasmax Lança IPRO.

As cultivares Dom Mario 5958 RSF IPRO, Nidera 6909 IPRO e Brasmax Lança IPRO demonstram os menores valores de NDE que variaram de 0,02 a 0,12 plantas m⁻² sendo menos competitivos na presença do milho voluntário.

Os NDEs diminuem com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca de soja, com a redução no custo de controle do milho voluntário e da eficiência do herbicida.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPERGS, à UFFS e ao FINEP pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, v. 28, n. p.993-1003, 2010.
- AGUIAR, A. C. M. et al. Interference and economic threshold level of volunteer corn in soybean. **Planta Daninha**, v. 36, e018178310, p.1-10, 2018.
- ALMS, J. et al. Corn yield loss due to volunteer soybean. **Weed Science**, v.64, n.3, p.495-500, 2016.
- BASTIANI, M. O. et al Relative competitiveness of soybean cultivars with barnyardgrass. **Bragantia**, v. 75, n. 4, p. 435-445, 2016.
- BAJWA, A. A.; WALSH, M.; CHAUHAN, B. S. Weed management using crop competition in Australia. **Crop Protection**, v.95, n.1, p.8-13, 2017.
- BIANCHI, M. A. et al. Interferência de *Raphanus sativus* na produtividade de cultivares de soja. **Planta Daninha**, v. 29, n.4, p. 783-792, 2011.
- BIANCHETTO, R. et al. Desempenho agrônômico de milho crioulo em diferentes níveis de adubação no Sul do Brasil. **Revista Eletrônica Científica**, v. 3, n. 3, p. 528-545, 2017.
- BRANDLER, D. et al. Interference and level of economic damage of turnip in canola. **Revista Agraria Academica**, v. 4, n.1, p. 39-56, 2021.
- BRUNETTO, L. et al. Competitive response and level of economic damage of quinoain the presence of alexandergrass. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.18, n.1, e2543, 2023
- CHRISTOFFOLETI, P.J.; BRUNHARO, C.A.C.G.; FIGUEIREDO, M.R.A. Sem controle das plantas invasoras, perdas na cultura do milho podem chegar a 87%. **Visão Agrícola**, v.13, p. 98-101, 2015.
- COSTA, B.S. et al. Manejo de soja voluntária infestante do feijoeiro com o herbicida ethoxysulfuron. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 1., p. 1-6, 2020.
- 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.
- COUSENS, R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. **Weed Technology**, v.5, n.3, p. 664-673, 1991.
- CURY, J. P. et al. Acúmulo e partição de nutrientes de cultivares de milho em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 287-296, 2013.
- FORTE, T.C. et al. Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.2, p.185-193, 2017.

- FERREIRA, E.A. et al. Características fisiológicas da soja em relação a espécies de plantas daninhas. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.5, n.1, p. 39-47, 2011.
- GALON, L. et al. Interference and threshold level of *Sida rhombifolia* in transgenic soybean cultivars. **Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias - UNCuyo**, v.54, n.2, p.94-106, 2022.
- KALSING, A.; VIDAL, R.A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**, v.31, n.4, p.843-850, 2013.
- JHA, P. et al. Weed management using crop competition in the United States: A review. **Crop Protection**, v.95, n.1, p. 31-37, 2017.
- 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.
- MANTOVANI, E.C. **Perdas na colheita**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/colheita-e-pos-colheita/perdas-na-colheita>. Acessado em: 25/04/2023.
- PAULSEN, M.R. et al Measurement of combine losses for corn and soybeans in Brazil. **Applied Engineering in Agriculture**, v.30, n.6, p.841-855, 2014.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON B. L.; MCMAHON T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p. 1633-1644, 2007.
- PETTER, F.A. et al. Management of volunteer plants in cultivation systems of soybeans, corn and cotton resistant to glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.1, p.58-66, 2016.
- PIASECKI, C. et al. Interference of GR[®] volunteer corn population and origin on soybean grain yield losses. **Planta Daninha**, v36, e018161420, p.1-19, 2018.
- PIERIK, R.; BALLARÉ, C.L. Control of plant growth and defense by photoreceptors: from mechanisms to opportunities in agriculture. **Molecular Plant**, v.14, n.1, p. 61-76, 2021.
- Sociedade brasileira de ciência do solo – SBCS. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. ISBN: 978-85-66301-80-9.
- SILVA, J.P. et al. Development of experimental structure and influence of high CO₂ concentration in maize crop. **Engenharia Agrícola**, v.32, n.2, p.306-314, 2012.
- SOUZA, R. G. et al. Desempenho agrônômico de soja, sob interferência de plantas infestantes. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 2, p. 194-203, 2019.

TAVARES, L.C. et al. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. **Planta Daninha**, v37, e019178898, 2019.

VELINI, E.D.; OSIPE, R.; GAZZIERO, D.L.P. (Eds). **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

WESTWOOD, J. H. et al. Weed Management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, v.66, n.3, p.275-285, 2018.

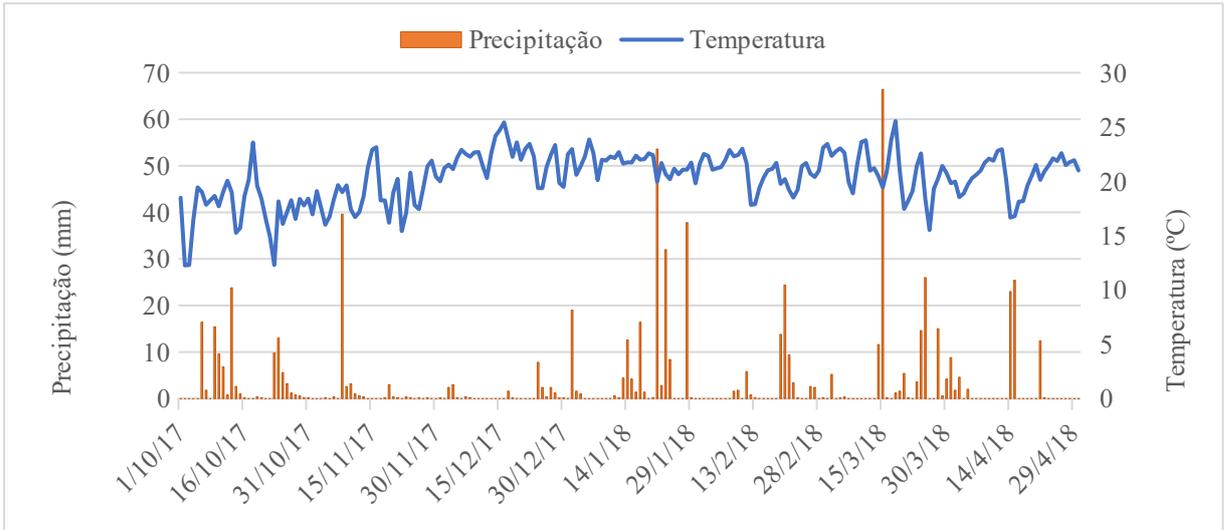


Figura 1. Temperatura média (°C), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) durante o período de condução do experimento de outubro de 2017 a abril de 2018. UFFS/Erechim/RS, 2023. Fonte: INMET, (2023).

Tabela 1. Cultivares de soja e densidades de milho voluntário, híbrido Syngenta 488 Vip 3 (plantas m⁻²) utilizados no experimento. UFFS, Campus Erechim ano agrícola 2017/18.

Cultivares	Densidades de milho voluntário (m ⁻²)
Nidera 5909	0,0; 3,5; 7,0; 7,0; 8,5; 10,0; 10,5; 13,5; 14,0; 17,0; 20,0 e 20,5
Brasmax Elite IPRO	0,0; 3,0; 4,5; 6,0; 6,5; 7,5; 7,5; 9,0; 10,0; 10,0; 10,5 e 12,0
Syngenta 13561 IPRO	0,0; 1,0; 1,5; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 12,0; 12,0; 16,5 e 17,5
Dom Mario 5958 RSF IPRO	0,0; 2,5; 4,0; 5,0; 5,0; 6,0; 8,5; 9,0; 10,0; 11,5; 12,5 e 16,5
Nidera 6909 IPRO	0,0; 3,0; 3,0; 5,0; 8,5; 10,5; 11,0; 12,0; 13,5; 15,5; 16,5 e 21,5
Brasmax Lança IPRO	0,0; 5,0; 5,5; 6,0; 7,0; 7,5; 8,5; 10,0; 10,5; 13,0; 13,5 e 13,5

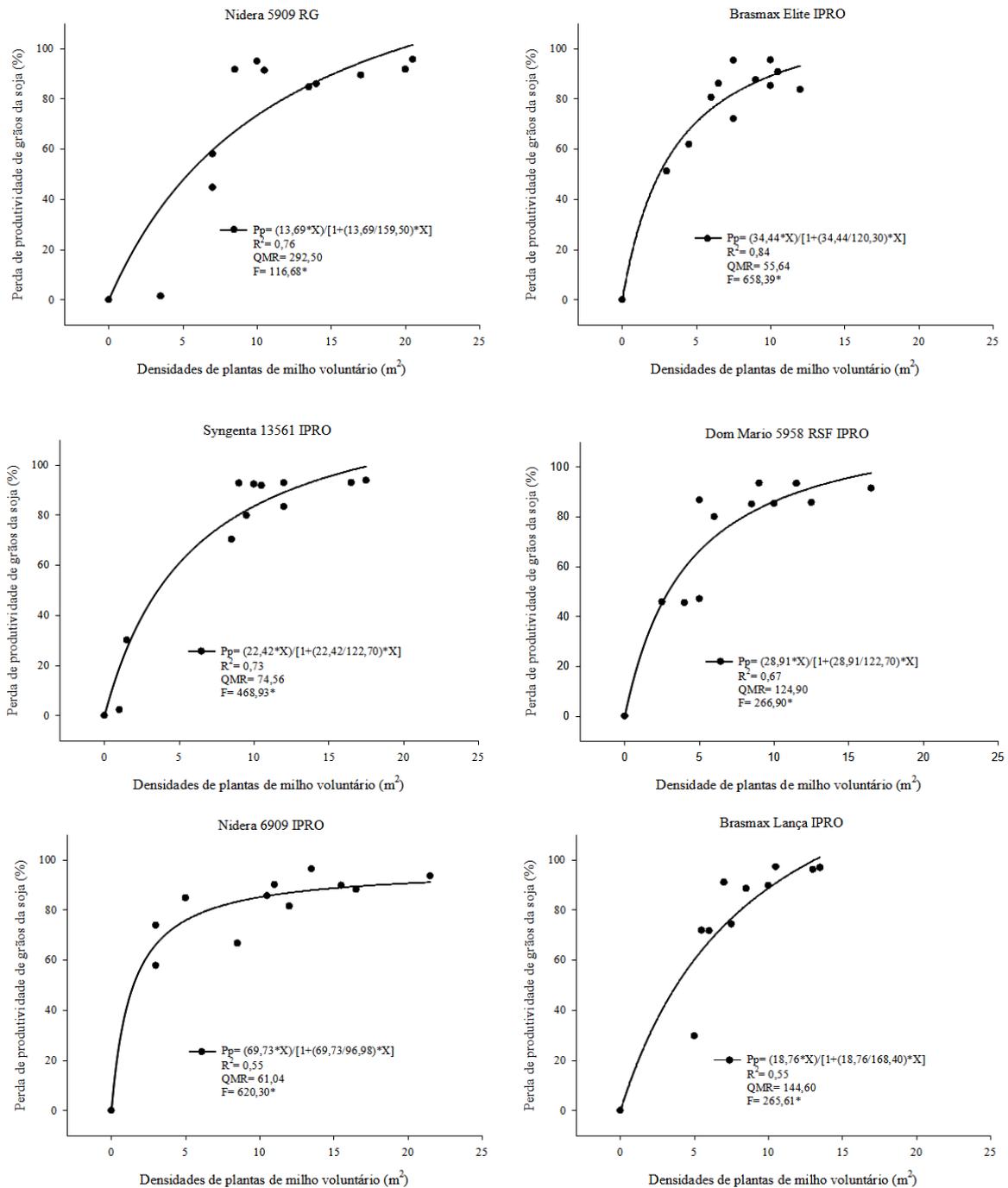


Figura 1. Perda de produtividade (Pp) de grãos de soja em função de cultivares e da densidade de plantas de milho voluntário (m²) em competição aos 35 dias após a emergência. UFFS, Erechim/RS, 2017/18. R²= Coeficiente de determinação; QMR: quadrado médio do resíduo; * Significativo a p≤0,05.

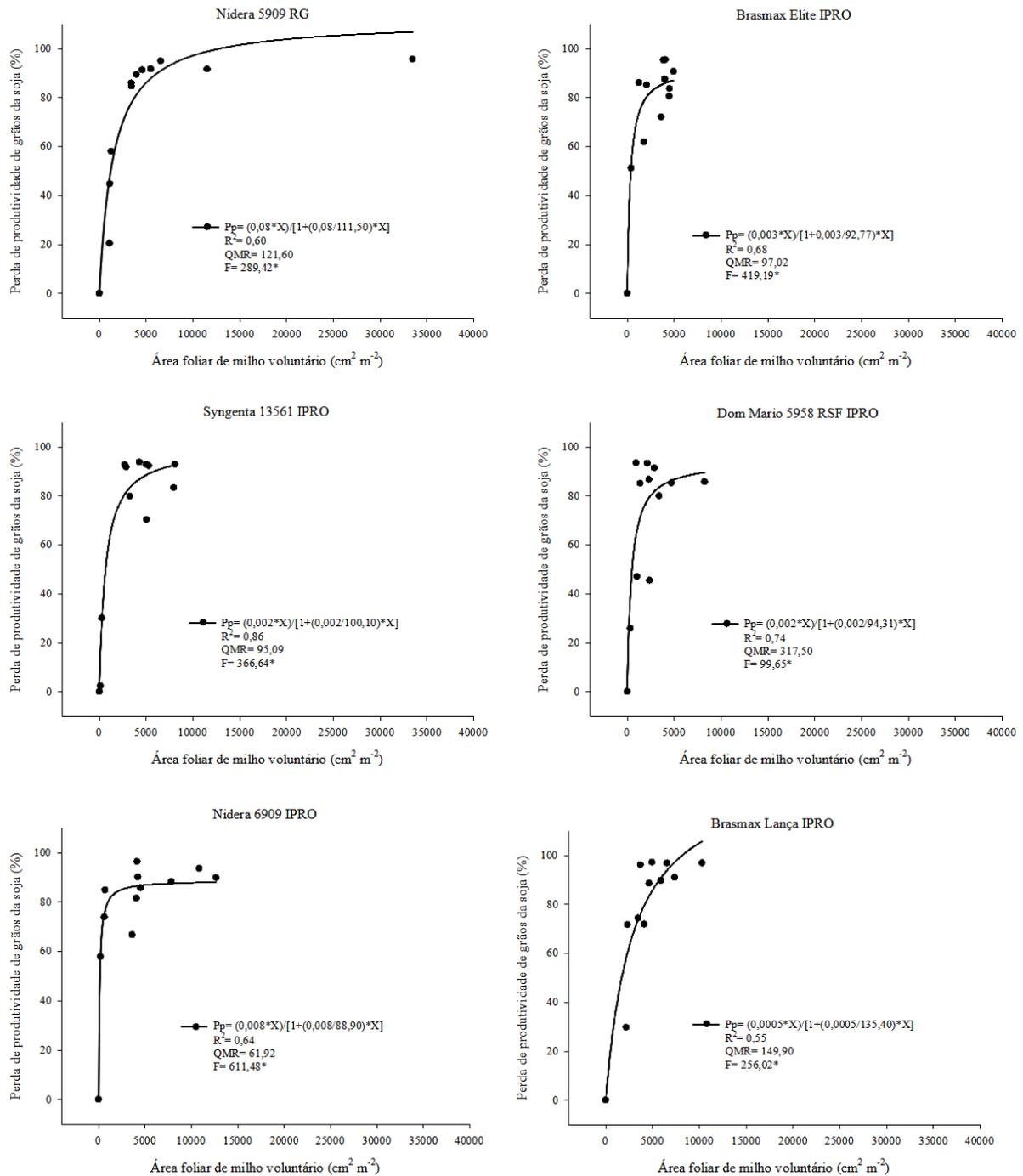


Figura 2. Perda de produtividade (Pp) de grãos de soja em função de cultivares e da área foliar (cm² m⁻²) de plantas de milho voluntário (m⁻²) em competição aos 35 dias após a emergência. UFFS, Erechim/RS, 2017/18. R²= Coeficiente de determinação; QMR: quadrado médio do resíduo; * Significativo a p≤0,05.

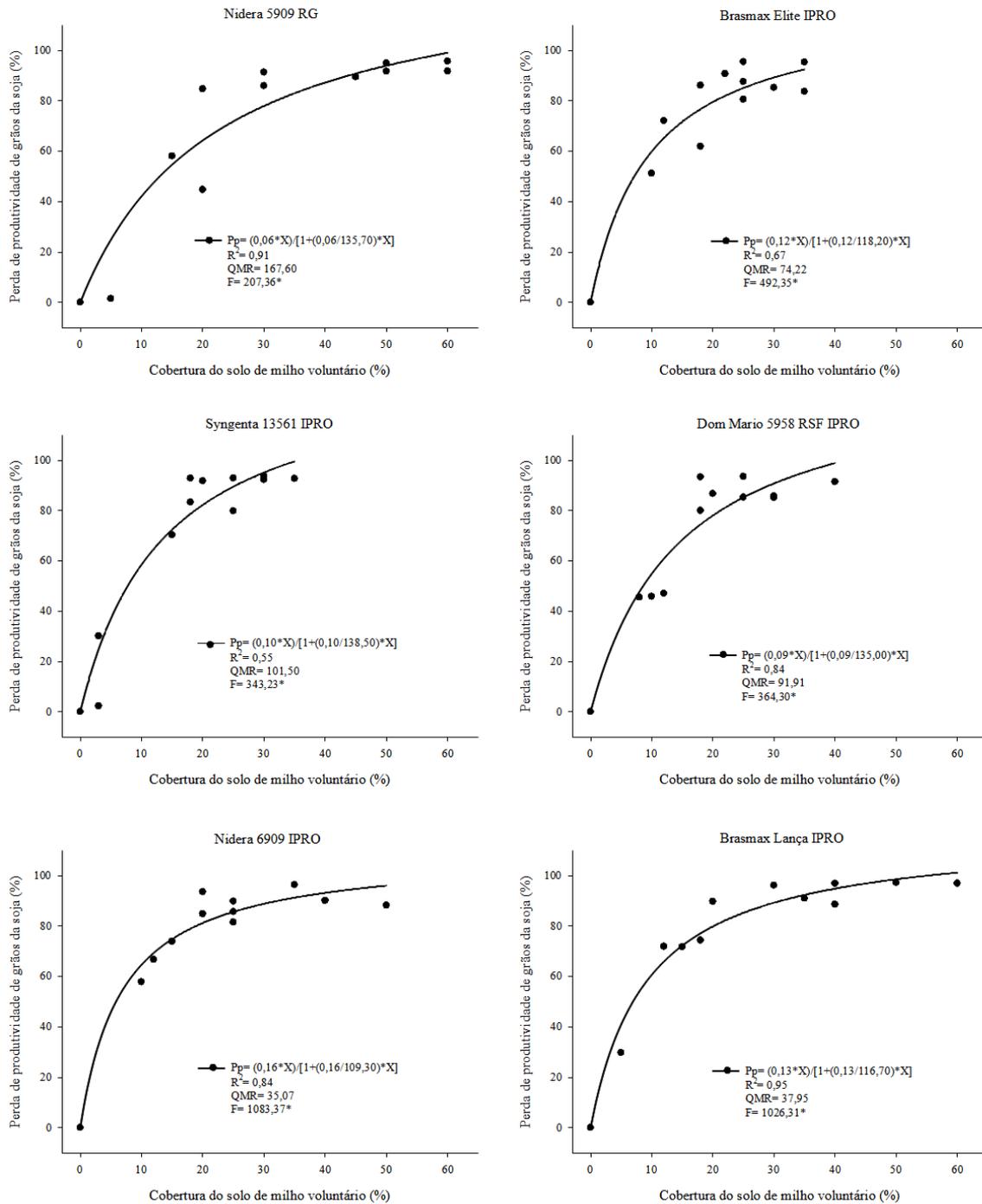


Figura 3. Perda de produtividade (Pp) de grãos de soja em função de cultivares e da cobertura do solo (%) de plantas de milho voluntário em competição aos 35 dias após a emergência. UFFS, Erechim/RS, 2017/18. R^2 = Coeficiente de determinação; QMR: quadrado médio do resíduo; * Significativo a $p \leq 0,05$.

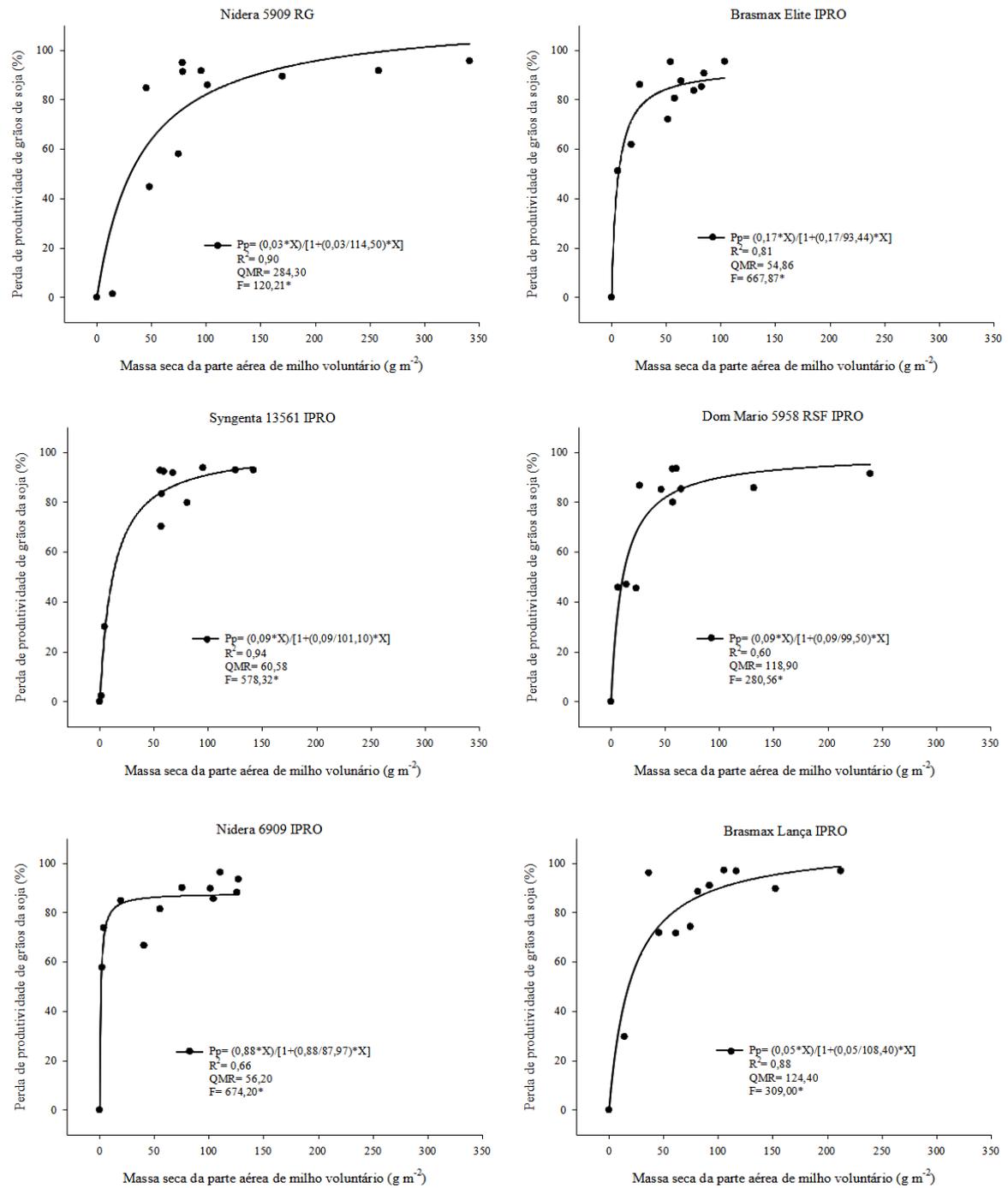


Figura 4. Perda de produtividade (Pp) de grãos de soja em função de cultivares e da massa seca da parte aérea (g m⁻²) de plantas de milho voluntário (m⁻²) em competição aos 35 dias após a emergência. UFFS, Erechim/RS, 2017/18. R²= Coeficiente de determinação; QMR: quadrado médio do resíduo; * Significativo a p≤0,05.

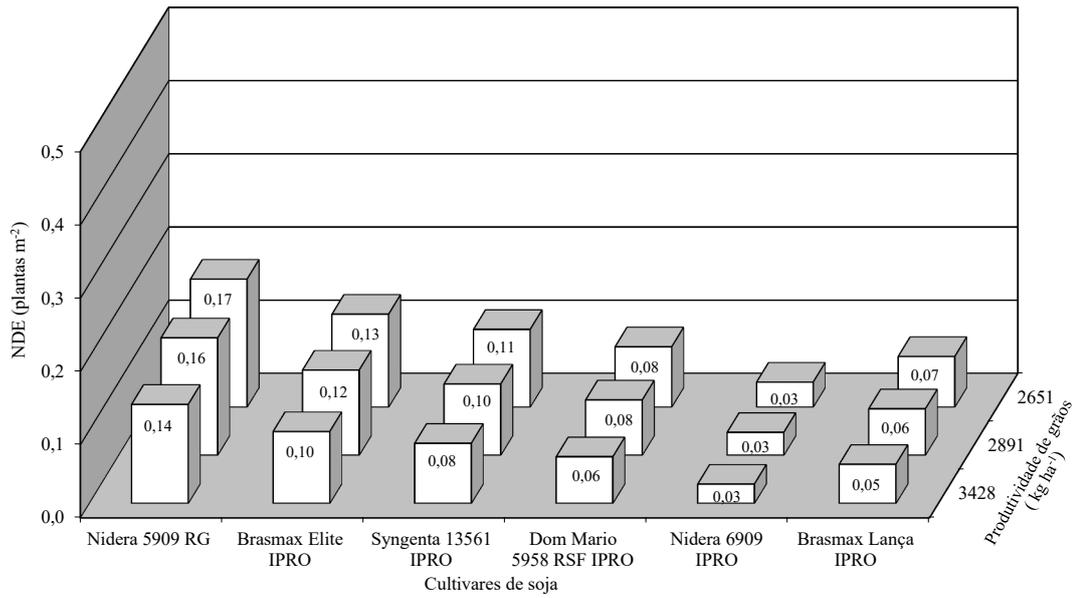


Figura 5. Nível de dano econômico (NDE) em função da produtividade de grãos, densidades de milho voluntário e diferentes cultivares de soja.

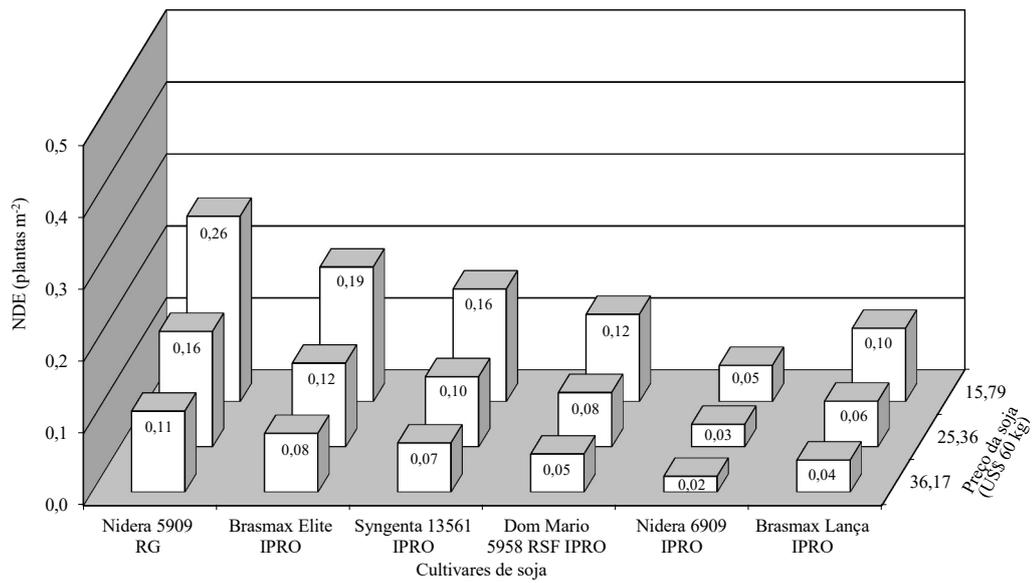


Figura 6. Nível de dano econômico (NDE) em função do preço pago a saca, densidades de milho voluntário e diferentes cultivares de soja.

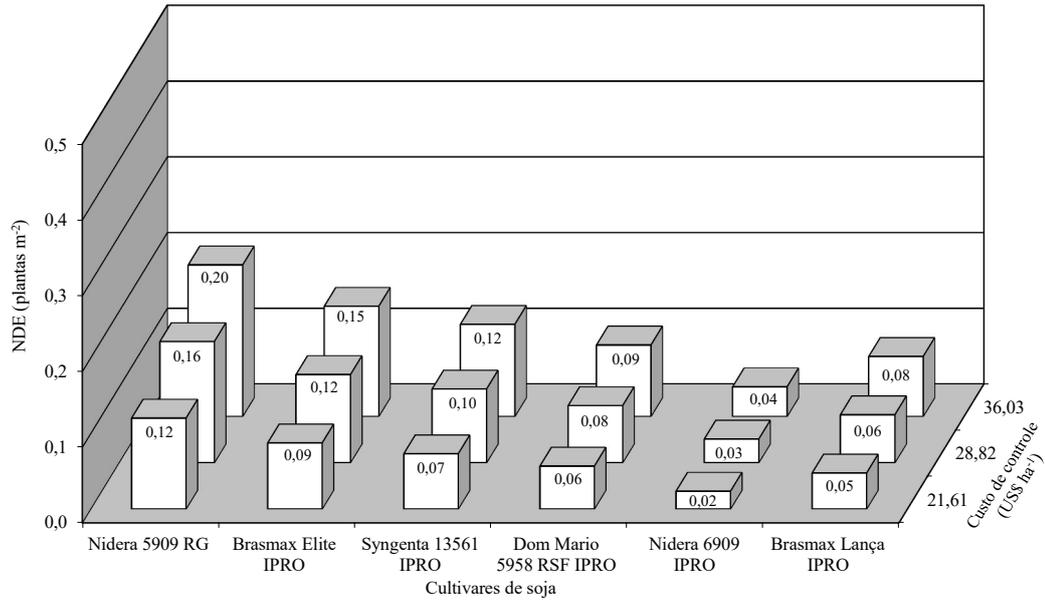


Figura 7. Nível de dano econômico (NDE) em função do custo de controle, densidades de milho voluntário e diferentes cultivares de soja.

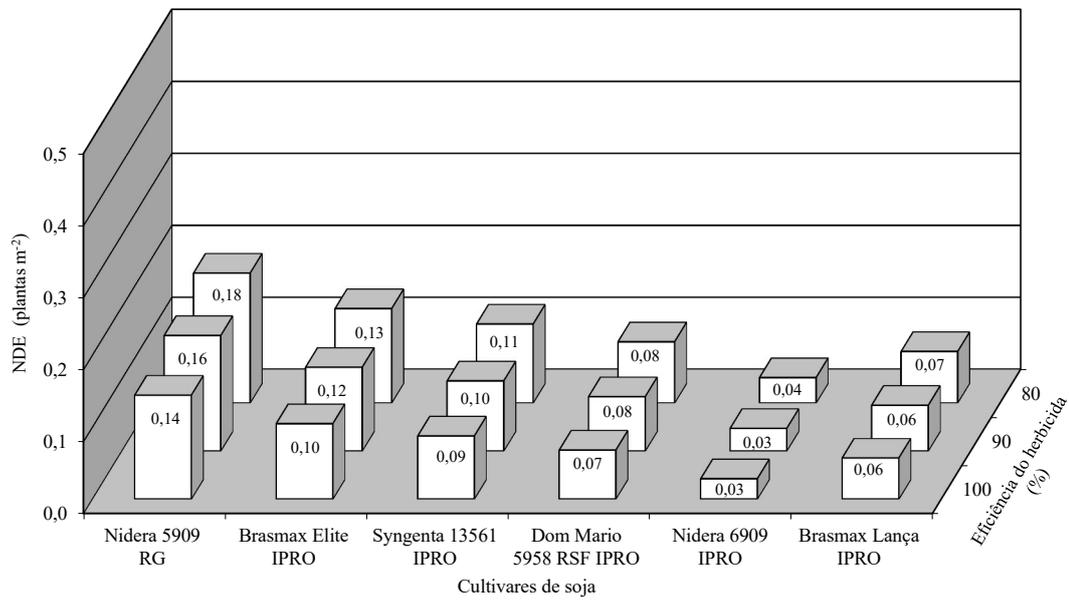


Figura 8. Nível de dano econômico (NDE) em função da eficiência do herbicida, densidades de milho voluntário e diferentes cultivares de soja.

Artigo III - INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE PLANTAS VOLUNTÁRIAS DE SOJA GM INFESTANTE DO FEIJOEIRO

RESUMO: A interferência ocasionada por plantas voluntárias de soja provenientes de grãos perdidos antes ou durante à colheita, podem ocasionar prejuízos econômicos aos produtores de feijão pela competição que essas ocasionam, principalmente às lavouras cultivadas em sucessão chamadas de segunda safra. Diante disso objetivou-se com o trabalho identificar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico de cultivares de feijoeiro (carioca e preto) na presença de diferentes densidades de soja voluntária. Os experimentos foram repetidos por dois anos, sendo conduzidos a campo nas safras agrícolas de 2020/21 e 2021/22, em delineamento de blocos completamente casualizados, com uma repetição. Os tratamentos foram constituídos pelas cultivares de feijoeiro do tipo carioca; BRS Tangará, IAC 1850 e BRS Estilo e do tipo preto; IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio, e 12 densidades de soja voluntária estabelecidas para cada cultivar de feijoeiro, saindo de 0 ao máximo de 66 plantas m⁻². Aos 40 dias após a emergência, efetuou-se a quantificação da densidade de plantas (DP), cobertura de solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) das plantas voluntárias de soja. No feijoeiro determinou-se a produtividade de grãos, custo de controle, preço de venda e eficiência de controle. A cobertura de solo apresentou melhor ajuste ao modelo da hipérbole retangular. As cultivares de feijoeiro IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Uirapuru e BRS Esteio apresentam maior habilidade competitiva na presença da soja voluntária. Os maiores valores de NDE variaram de 1,00 a 2,89 plantas m⁻² para as cultivares BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio ao competirem com a soja voluntária. A soja voluntária ocasiona perdas de produtividade ao infestar o feijoeiro, sendo que as cultivares apresentam habilidades competitivas diferenciadas e o NDE é influenciado diretamente por estas características.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max*, Perdas de colheita.

INTERFERENCE AND LEVEL OF ECONOMIC DAMAGE OF GM SOYBEAN VOLUNTARY PLANTS INFESTING BEAN

ABSTRACT: Interference caused by volunteer soybean plants, prior to or during harvest due to seed losses can cause economic losses to bean producers due to their competitive ability,

especially for crops grown in succession called off-season. Therefore, the objective of this work was to identify the competitive ability and the level of economic damage of bean cultivars (carioca and black) in the presence of different voluntary soybean densities. The experiments were replicated over two years and conducted in the field during the 2020/21 and 2021/22 agricultural seasons, completely randomized block design, with one replicate. Treatments consisted of carioca bean cultivars: BRS Tangará, IAC 1850, and BRS Estilo; and black type: IPR Uirapuru, IPR Urutau, and BRS Esteio, and 12 volunteer soybean densities established for each bean cultivar, ranging from 0 to a maximum of 66 plants m⁻². At 40 days after emergence, plant density (DP), soil cover (CS), leaf area (AF), and shoot dry matter (DM) of volunteer soybean plants were determined. For beans, grain yield, control cost, selling price, and control efficiency were evaluated. Soil cover showed the best fit with the rectangular hyperbola model. The bean cultivars IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Uirapuru, and BRS Esteio showed greater competitive ability in the presence of voluntary soybean. The highest NDE values ranged from 1.00 to 2.89 plants m⁻² for the cultivars BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau, and BRS Esteio when competing with volunteer soybean. The volunteer soybean causes productivity losses when infesting the bean plant, and the cultivars have different competitive abilities to which NDE is directly influenced by these traits.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max*, Crop losses.

INTRODUÇÃO

O cultivo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) destaca-se pela sua relevância socioeconômica, pois é um dos alimentos proteicos que compõem a base da alimentação dos brasileiros (CONAB, 2023), além de ser uma fonte de renda para os produtores rurais, em especial para a diversificação da matriz produtiva das unidades familiares. O Brasil produz em torno de 2,98 milhões de toneladas anuais de feijão, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável por 2,30% da produção nacional (CONAB, 2023).

Destaca-se que no Brasil há possibilidade de se produzir até três safras de feijão, caracterizadas como semeadura das águas (primeira safra), secas (segunda safra) e de outono-inverno (terceira safra). No entanto na Região Sul do Brasil nos últimos anos aumento o cultivo do feijoeiro em safrinha ou de segunda safra, após o cultivo da soja precoce ou milho como culturas principais. Assim sendo o manejo e tratos culturais adotado nas duas culturas estão diretamente relacionados. Algumas práticas culturais efetuadas em uma cultura podem

refletir diretamente na outra. Por exemplo, as perdas de grãos na colheita da soja tem ocasionado aumento na frequência de plantas voluntárias infestando a cultura do feijoeiro semeada em sucessão.

As plantas voluntárias quando infestam as culturas podem competir por espaço, água, nutrientes e luz, além de serem hospedeiras de diversos insetos pragas e doenças (Petter et al., 2016; Piasecki & Rizzardi, 2018; Costa et al., 2020). A soja voluntária ao infestar a cultura do feijoeiro semeado em sucessão tornou-se comum de ser observado nas lavouras, e que tem preocupado os produtores, principalmente após a introdução de cultivares resistentes a vários herbicidas (OGM), como ao glyphosate, glufosinate de amonio, 2,4-D, dentre outros, onde o controle torna-se difícil, tanto na fase da dessecação quanto na limpeza em pós-emergência (Alms et al., 2016; Petter et al., 2016; Piasecki & Rizzardi, 2018; Costa et al., 2020).

A média observada de perdas de grãos de soja das colhedoras automotrizes é de cerca de 81,2 kg ha⁻¹ (Schanoski et al., 2011). Essas perdas ocorrem em virtude da utilização de máquinas em estado precário, a má regulagem dessas, velocidades inadequadas, declives acentuados dos terrenos, colheita com umidade elevada da cultura, falta de conhecimento dos operadores, deficiência no controle de pragas, condições climáticas impróprias, dentre outros, sendo esses os principais fatores que tem ocasionam elevadas perdas.

Apesar de ser uma medida legislativa e obrigatória em diversos estados da federação, muitas vezes, é negligenciado o controle das plantas voluntárias de soja, vindo a ocasionar elevados prejuízos aos produtores de feijão. Elevadas densidades de plantas competindo com as culturas, simplificam a tomada de decisão dos produtores para adotarem alguma medida de controle (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019). No entanto, quando as plantas voluntárias ocorrem em densidades menores, a adoção de medidas para controlá-las torna-se difícil, pois os agricultores precisam quantificar às vantagens econômicas associadas ao custo do controle (Agostinetto et al., 2010; Kalsin & Vidal, 2013; Tavares et al., 2019; Oveisi et al., 2021). Sendo assim, é necessário implementar estratégias de manejo que integrem o saber técnico e a análise econômica aliado ao conhecimento da relação de competição entre a cultura e as plantas daninhas (Kalsin & Vidal, 2013; Westwood et al., 2018). Nesse contexto, destaca-se o nível de dano econômico (NDE) como uma ferramenta para auxiliar o produtor na tomada de decisão.

O NDE estabelece que a aplicação de herbicidas ou de outros métodos de controle somente se justificará caso os prejuízos causados pelas plantas daninhas forem superiores ao custo da medida utilizada (Agostinetto et al., 2010; Tavares et al., 2019). Para realizar os cálculos dos NDE envolvem-se muitas variáveis essas podem ser influenciadas por vários

fatores, tais como: espécie de planta daninha presente na lavoura, densidade e época de emergência das infestantes em relação à cultura, porcentagem de perda e potencial de produtividade da cultura na presença e livre de plantas daninhas, valor do produto colhido, custos, eficiência do controle e influência das plantas daninhas remanescentes sobre o produto (Agostinetto et al., 2010; Galon et al., 2016; Tavares et al., 2019).

Dentre as práticas de manejo, o uso de cultivares de feijoeiro com maior habilidade competitiva e a densidade que as plantas daninhas aparecem nas lavouras podem influenciar diretamente na porcentagem de perdas de grãos e no nível de dano econômico. Diante disso objetivou-se com o trabalho identificar a habilidade competitiva e o nível de dano econômico de cultivares de feijoeiro (carioca e preto) na presença de diferentes densidades de soja voluntária.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos a campo, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Campus Erechim/RS, latitude 27,725269° S, longitude 52,294485° W e altitude de 650 m, de novembro a março de 2020/21 (Ensaio I) e de novembro a março 2021/22 (Ensaio II). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico Húmico (Santos et al., 2018).

Amostras de solo foram retiradas na camada de 0 a 10 cm para realizar a análise química, tendo as seguintes características: pH (água) = 5,1; matéria orgânica = 3,0%; argila = >60%; P = 5,2 mg dm⁻³, K = 118,0 mg dm⁻³, Ca⁺² = 5,5 cmolc dm⁻³; Mg⁺² = 3,0 cmolc dm⁻³; Al⁺³ = 0,3 cmolc dm⁻³; H + Al = 7,7 cmolc dm⁻³; CTC efetiva = 16,6 cmolc dm⁻³. A correção da fertilidade foi efetuada conforme as recomendações técnicas para a cultura do feijoeiro destinado a produção de grãos (SBCS, 2016). A adubação química de base foi de 350 kg ha⁻¹ da fórmula 05-30-15 de N-P-K. Os demais manejos efetuados seguiram as recomendações técnicas para a cultura do feijoeiro.

As condições ambientais no momento de condução dos experimentos estão dispostas na Figura 1. O clima da região é classificado como Cfa (temperado úmido com verão quente) de acordo com a classificação Köppen-Geiger, nas quais as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano (PEEL et al., 2007).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento completamente casualizado, tendo-se os mesmos tratamentos repetidos nas duas safras agrícolas, constituídos por seis cultivares de feijoeiro e 12 densidades de soja voluntária, com uma repetição. Nesta pesquisa,

as diferentes densidades da soja voluntária serviram como repetições, proporcionando a variância necessária para realizar a análise estatística pelo modelo não-linear da hipérbole retangular proposto por Cousens, (1985). Essa mesma metodologia foi observada em trabalhos desenvolvidos por Agostinetto et al., (20210), Galon et al., (2016) e Tavares et al., (2019).

As cultivares de feijoeiro usadas foram do tipo carioca: IPR Tangará (C1), IAC 1850 (C2) e BRS Estilo (C3), e do tipo preto: IPR Uirapuru (C4), IPR Urutau (C5) e BRS Esteio (C6). Estas cultivares foram submetidos a convivência com distintas densidades de soja voluntária por duas safras agrícolas 2020/21 e 2021/22: C1 *versus* 0, 10, 14, 15, 16, 16, 18, 20, 23, 25, 33 e 42; C2 *versus* 0, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 17, 18, 22, 23 e 30; C3 *versus* 0, 14, 16, 16, 17, 18, 21, 22, 30, 35, 37 e 66; C4 *versus* 0, 7, 12, 14, 14, 17, 20, 21, 26, 30, 30 e 40; C5 *versus* 0, 8, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 21, 22, 28 e 24; C6 *versus* 0, 10, 11, 16, 16, 17, 18, 21, 22, 22, 24 e 30 plantas m⁻². As cultivares de feijoeiro foram selecionadas para os estudos em razão de serem as mais cultivadas na região para produção de grãos de feijão do tipo carioca e do tipo preto, sendo as características das mesmas dispostas na Tabela 1.

Os experimentos foram instalados em 13/11/2020 e 29/11/2021, em sistema de plantio direto na palha. A cobertura morta do solo foi formada por aveia-preta + ervilhaca, com produção de 5 t ha⁻¹ de massa seca. A dessecação foi realizada com o herbicida glyphosate (1440 g ha⁻¹), 15 dias antes da semeadura do feijoeiro. As unidades experimentais apresentavam área de 15 m², sendo compostas por seis fileiras de feijoeiro, espaçadas a 0,5 m, e com 5 m de comprimento. Para os dois experimentos a área útil correspondeu as quatro linhas centrais, descontando uma linha de cada lateral e 1 m em cada extremidade (2 m x 3 m). A densidade de plantas de feijoeiro obtidas para cada cultivar foi de 12 plantas m⁻² ou 240.000 ha⁻¹.

As densidades de soja voluntária (*Glycine max*), para os dois experimentos foram estabelecidas pela semeadura manual, com matraca em cada parcela, usando-se para isso a cultivar de soja Nidera 5909 RG. O estabelecimento das densidades da soja voluntária foi efetuado de modo a simular diferentes perdas de colheita, desde baixas até elevadas quantidades de grãos perdidos na lavoura, calculando-se a quantidade de sementes necessária em cada unidade experimental de acordo o tratamento proposto, de 0 até 66 plantas m⁻², para os dois experimentos. As densidades de soja voluntária foram variadas em virtude de que a semeadura com matraca manual apresenta desuniformidade de profundidade de uma cova para outra, pelo solo às vezes estar mais compactado, ter mais palhada, dentre outros e desse modo fatores como a umidade e a temperatura do solo podem ter influenciado o

estabelecimento de um número exato de plantas por área (unidade experimental). No segundo experimento, instalado na safra 2021/22, efetuou-se a contagem das plantas de soja voluntária em cada unidade experimental e quando denotado haver densidade de plantas superiores ao tratamento proposto no ensaio do ano anterior (safra 2020/21) efetuou-se o desbaste das plantas excedentes, para assim se ter a mesma população nos dois experimentos conduzidos em safras agrícolas diferentes. As demais plantas daninhas não objeto de estudo foram controladas com aplicação de fomesafen + fluazifop-p-butil (200 + 200 g ha⁻¹) + espalhante adesivo (0,2% v/v) para evitar competição com a cultura, nos dois experimentos.

A quantificação da densidade de plantas (DP), cobertura do solo (CS), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MS) das plantas voluntárias de soja foram realizadas, nos dois experimentos, aos 40 dias após a emergência (DAE), quando o feijoeiro se encontrava no estágio fenológico V3 a V4 e a planta competidora em V4 a V5.

Para determinação da variável explicativa DP, foram efetuadas duas amostragens, aleatórias, por parcela utilizando-se um quadrado de 0,5 m de lado. A CS por plantas de soja voluntária foi avaliada visualmente, de modo individual, por dois avaliadores, utilizando-se uma escala percentual, na qual a nota zero corresponde à ausência de cobertura e 100% representa cobertura total do solo. A quantificação da AF da planta competidora foi efetuada com um integrador eletrônico de AF portátil, modelo CI-203, marca CID Bio-Science, mensurando-se todas as plantas em uma área de 0,25 m² por parcela. A MS das plantas de soja voluntária (g m⁻²) foi determinada pelas coletas das plantas contidas em área de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) por parcela e secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60±5°C, até atingirem massa constante.

A quantificação da produtividade de grãos foi obtida pela colheita das plantas na área útil de 6 m² (2 x 3 m) em cada parcela, nos dois experimentos. A colheita foi realizada quando o teor médio de umidade dos grãos atingiu aproximadamente 15%. Após a pesagem, determinou-se a sua umidade, sendo as massas corrigidas para o teor de 13% de umidade e os valores expressos em kg ha⁻¹.

As perdas percentuais de produtividade de grãos do feijoeiro, em relação às unidades experimentais livres de plantas competidoras foram calculadas de acordo com a Equação 1, levando-se em conta a média dos dados obtidos nos dois experimentos:

$$\text{Perda (\%)} = \left(\frac{R_a - R_b}{R_a} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1,}$$

Onde: R_a e R_b : produtividade da cultura sem ou com presença da planta competidora, soja voluntária, respectivamente.

Anteriormente à análise dos dados, os valores de CS (%), AF (cm^2) ou MS (g m^{-2}), foram multiplicados por 100, dispensando-se assim o uso do fator de correção no modelo (Agostinetto et al., 2010).

As relações entre perdas percentuais de produtividade do feijoeiro em função das variáveis explicativas foram calculadas separadamente para cada cultivar, utilizando-se o modelo de regressão não linear derivada da hipérbole retangular, proposta por Cousens em 1985, conforme a Equação 2, adotando-se o valor médio obtido dos dois experimentos:

$$P_p = \frac{(i * X)}{(1 + (\frac{i}{a}) * X)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: P_p = perda de produtividade (%); X = DP, AF, CS ou MS da soja voluntária; i e a = perdas de produtividade (%) por unidade de plantas de soja voluntária quando o valor da variável se aproxima de zero e quando tende ao infinito, respectivamente. Para o procedimento de cálculos, foi utilizado o método de Gauss-Newton, o qual, por sucessivas iterações, estima os valores dos parâmetros, nos quais a soma dos quadrados dos desvios das observações, em relação aos valores ajustados, seja mínima (Agostinetto et al., 2010). O valor da estatística F ($p \leq 0,05$) foi utilizado como critério de análise dos dados ao modelo. O critério de aceitação do ajuste dos dados ao modelo baseou-se na significância do F, no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e no menor valor do quadrado médio do resíduo (QMR).

Para o cálculo do nível de dano econômico (NDE) foi utilizado as estimativas do parâmetro i obtidas a partir da Equação 2 (Cousens, 1985) e a Equação adaptada de Lindquist & Kropff (1996) – Equação 3, calculando-se como valores médios provindos dos dois experimentos.

$$NDE = \frac{(C_c)}{(R * P * (\frac{i}{100}) * (\frac{H}{100}))} \quad \text{Equação 3}$$

onde: NDE = nível de dano econômico (plantas m^{-2}); C_c = custo do controle (mistura comercial do herbicida ethoxysulfuron (24 g ha^{-1}) + óleo metilado de soja (0,2% v/v) e aplicação terrestre tratorizada, em dólares ha^{-1}); R = produtividade de grãos do feijoeiro (kg ha^{-1}); P = preço do feijão (dólares kg^{-1} de grãos); i = perda (%) de produtividade do feijoeiro por unidade de planta competidora, quando o nível populacional se aproxima de zero e H = nível de eficiência do herbicida (%).

Para as variáveis Cc, R, P e H (Equação 3) foram estimados três valores ocorrentes nos últimos 10 anos. Assim, para o custo de controle (Cc), considerou-se o preço médio (22,00 US\$), sendo o custo máximo e mínimo alterado em 25%, em relação ao custo médio. A produtividade de grãos do feijoeiro (R) foi baseada na menor (891 kg ha⁻¹), média (962 kg ha⁻¹) e maior (1057 kg ha⁻¹) obtidas no Brasil, nos últimos 10 anos (CONAB, 2023). O preço do produto (P) foi estimado a partir do menor para o tipo carioca (29,46 US\$) e do tipo preto (22,55 US\$), médio para o tipo carioca (52,05 US\$) e do tipo preto (25,96 US\$) e maior preço para o tipo carioca (76,89 US\$) e do tipo preto (49,88 US\$) do feijoeiro pagos a saca de 60 kg, nos últimos 10 anos. A cotação do dólar na data de tabulação dos dados estava em R\$ 5,06 para cada US\$ 1,00 (Banco do Brasil, 2023). 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 (Velini, 1995). Para as simulações de NDE foram utilizados os valores intermediários para as variáveis que não estavam sendo objeto de cálculo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis explicativas da soja voluntária: DP, AF, CS e MS avaliadas para a perda de produtividade nas cultivares de feijoeiro apresentaram valores da estatística F significativos (Tabela 2). O modelo da hipérbole retangular ajustou-se adequadamente aos dados, com valor médio do R² superior a 0,57 e baixo QMR. Galon et al. (2016) ao avaliarem a competição de picão-preto (*Bidens pilosa*) com seis cultivares de feijoeiro do tipo preto encontraram valores médios do R², para as mesmas variáveis do presente estudo, superiores a 0,61; assemelhando-se assim aos resultados observados na presente pesquisa. Cargnelutti Filho & Storck. (2007) consideraram como moderados a bons valores de R² entre 0,57 a 0,66 ao estudarem o efeito genético de cultivares e herdabilidade em milho.

As cultivares de feijoeiro demonstraram diferenças nas perdas de produtividades de grãos em virtude da infestação das densidades de soja voluntária (Tabela 2). Ao se levar em conta os valores médios do parâmetro *i* para as variáveis DP, CS, AF e MS as cultivares de feijoeiro IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Uirapuru e BRS Esteio se caracterizaram como os materiais mais competitivos, com as menores perdas de produtividades quando comparado as demais cultivares, IAC 1850 e IPR Urutau. Alguns trabalhos tem relatado ocorrer variabilidade da habilidade competitiva de cultivares de feijoeiro na presença de plantas daninhas, principalmente em virtude da diferença genética que existente entre os materiais

cultivados (Kalsing & Vidal, 2013; Parreira et al., 2014; Galon et al., 2016; Oveisi et al., 2021).

A diferença de competição entre cultivares de feijoeiro pode ser atribuída ao maior dossel (AF), arquitetura das folhas, altura de plantas e/ou relacionadas a maior taxa de crescimento relativo e uso eficiente dos recursos do meio pela cultura (Amini et al., 2014; Parreira et al., 2014; Oveisi et al., 2021). A competição imposta pelo material genético é uma importante ferramenta para o manejo integrado de plantas daninhas. Busca-se como estratégias promissoras a redução do uso de herbicidas, menor custo e poluição ambiental, e a produção de um alimento livre de contaminantes (Amini et al., 2014; Bajwa et al., 2017; Oveisi et al., 2021). Assim sendo a descoberta de cultivares de feijoeiro que demonstrem maior habilidade competitiva na presença de plantas daninhas ocasiona ganhos econômicos e ambientais, já que se tem a possibilidade de se aplicar menos herbicidas nas lavouras.

Os resultados demonstram que a densidade média de 20 plantas de soja voluntária m^{-2} infestando as cultivares de feijoeiro ocasionou perdas na produtividade de grãos que variaram de 24 a 46%, valores esses estimados pela equação hiperbólica (Tabela 2). A perda de rendimento de grãos do feijoeiro ao ser infestado por diferentes densidades de milho voluntário foi de 6,5 a 19,3% em trabalho de Sbatella et al. (2016) e de até 90% na pesquisa de Piasecki & Rizzardini (2018). Schanoski et al. (2011) observaram que a perda média de grãos de soja das colhedoras automotrizes é de 81,2 $kg\ ha^{-1}$. Ao se levar em conta que o peso médio de 1000 grãos é de cerca de 200 g (Câmara, 2015), isso corresponderá a 406.000 grãos. Estimando-se como taxa de germinação de 50% tem-se 203.000 plantas de soja por hectare ou 20,30 plantas m^{-2} . Desse modo torna-se evidente o elevado potencial de perdas de produtividade que poderá haver na cultura do feijoeiro, caso o controle da soja voluntária seja realizado de maneira inadequada. Desta forma, a redução de perdas na colheita da soja, possibilitará maior retorno econômico por ocasionar ganhos de rendimento do feijoeiro e redução do potencial de perdas oriundas da sua competição com a cultura semeada em sucessão a soja.

Ao se comparar as cultivares de feijoeiro, IPR Tangará, IAC 1850, BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio para a variável DP, com base na perda unitária (*i*), observou-se perdas de produtividades de 2,07; 4,11; 1,65; 2,12; 2,92 e 2,28%, respectivamente (Tabela 2). Conforme já relatado anteriormente a diferenciação da habilidade competitiva entre as cultivares de feijoeiro na presença da soja voluntária deve-se em grande parte as características genéticas diferenciadas que essas apresentam e desse modo há vantagem no crescimento e desenvolvimento para o material mais competitivo. A competição

imposta pelo material genético torna-se uma possível estratégia para o manejo integrado de plantas daninhas, com isso pode-se utilizar menor quantidade de herbicidas (Jha et al., 2017; Oveisi et al., 2021) ou mesmo mão de obra nos atuais programas de controle, tendo assim maior vantagem econômica e ambientalmente ao produtor rural.

Observou-se perda de 27% da produtividade de grãos da cultivar de feijoeiro IAC 1850 ao se comparar os resultados médios do parâmetro i , obtido pela equação da hipérbole retangular, dessa com as demais cultivares para a variável CS (Tabela 2). As cultivares IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio foram os que apresentaram as menores perdas de produtividade (0,04; 0,04; 0,04; 0,05 e 0,05%) em relação a IAC 1850 para a CS. Pode-se assim inferir que o grau de competição da soja voluntária em relação ao feijoeiro é influenciado pela CS, ou seja, quanto mais CS apresentar a planta daninha por unidade relativa mais competitiva a mesma vai ser em relação a cultura demonstrando maior perda de produtividade. Nesse estudo percebe-se que a soja voluntária apresenta elevada habilidade ao infestar o feijoeiro, pois com o aumento da DP e da porcentagem de CS do competidor ocorreu elevada perdas de produtividades de grãos da cultura. Galon et al., (2016) também observaram que à medida que a planta daninha (picão-preto) demonstrou maior crescimento e desenvolvimento ocasionou elevadas perdas de rendimento de grãos do feijoeiro.

Os resultados para perda de produtividade das cultivares de feijoeiro, em relação ao percentual de AF e de MS, demonstram semelhança ao observado em relação a DP e CS, pois a cultivar IAC 1850 foi a menos competitiva e a que apresentaram as maiores perdas de produtividades (Tabela 2). O aumento da AF, CS e da MS da soja voluntária está diretamente relacionada com a DP, explicando-se assim a semelhança nas perdas de produtividade entre as variáveis avaliadas, ao se levar em conta os parâmetro i de cada uma das variáveis estudadas. Entre os fatores que estão atrelados a essa elevada interferência imposta pelas plantas voluntárias nas culturas de interesse esta a competição que essas exercem pelos recursos do meio como água, luz e nutrientes, principalmente. De acordo com Piasecki & Rizzardi (2018) quando o milho voluntário infestou o feijoeiro ocasionou perdas superiores a 70% na produtividade de grãos da cultura. Os autores relacionaram a elevada perda de produtividade de grãos pela alta capacidade competitiva que as plantas voluntárias apresentam ao infestarem as culturas.

Para comparar a competitividade relativa entre espécies, Agostinetto et al. (2010) utilizaram o parâmetro i , desse modo observou-se valores diferenciados para as cultivares de feijoeiro IPR Tangará, IAC 1850, BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio nas

variáveis explicativas testadas (Tabela 2). A comparação entre as cultivares, considerando o parâmetro i , na média das quatro variáveis explicativas (DP, CS, AF ou MS), demonstrou que a ordem de colocação, de modo geral, em relação a competitividade foi: BRS Estilo > IPR Tangará > IPR Uirapuru > BRS Esteio > IPR Urutau > IAC 1850. As diferenças observadas entre as cultivares podem ser atribuídas a diferenciação genética que há entre as mesmas, como ciclo de desenvolvimento, arquitetura de plantas, índice de área foliar, volume do sistema radicular, ao melhor uso do espaço ou da disponibilidade dos recursos disponíveis no meio, ou a plasticidade fenotípica da cultura quando na presença da soja voluntária, dentre outros, conforme já relatado em outros trabalhos da literatura (Galon et al., 2016; Bajwa et al., 2017; Piasecki & Rizzardi, 2018; Oveisi et al., 2021). Todas essas características alteram o grau de competição do feijoeiro na presença das plantas voluntárias, conforme também relatado por Piasecki & Rizzardi, (2018).

As cultivares apresentaram potenciais produtivos distintos, sendo observado para o tratamento em que o feijoeiro esteve sem a presença de soja voluntária produtividades de grãos de: 2,65; 3,12; 2,79; 2,55; 2,68 e 2,80 t ha⁻¹ para IPR Tangará, IAC 1850, BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio, respectivamente. A cultivar IAC 1850 apresentou a menor competitividade na presença da soja voluntária ao ser comparada com todas as demais, na média do parâmetro i avaliado nas variáveis DP, AF, CS e MS (Tabela 2). No entanto o IAC 1850 foi o material que apresentou 16% maior produtividade de grãos (3,12 t ha⁻¹) ao ser comparada com as médias de produtividades das demais cultivares, quando na ausência de competição. Sendo assim, nesse estudo observou-se que os materiais menos produtivos apresentam maior capacidade de competir com a soja voluntária, levando-se em conta o parâmetro i , muito possivelmente pela menor necessidade de alocação dos recursos em outros órgãos da planta e não para as vagens e grãos. A arquitetura foliar e o arranjo de plantas são fatores que influenciam na absorção da radiação solar, e esta na realização da fotossíntese, elementos que apresentam relação direta com o desenvolvimento de ramos, plantas, vagens, grãos e peso dos grãos das cultivares de feijoeiro. Alguns estudos tem relatado que a alocação de recursos, além de ser um aspecto fundamental na competição entre espécies de plantas é um importante fator que está condicionado à habilidade competitiva dessas quando convivem em comunidades (Fernandes et al., 2015; Oveisi et al., 2021).

Em termos de diferenças competitivas entre as cultivares de feijoeiro na presença da soja voluntária, levando-se em conta o tipo do feijão carioca ou preto praticamente não se observou muitas diferenças, ou seja, há grande semelhança entre as mesmas quanto na presença do competidor (Tabela 2). Observou-se valor médio do parâmetro i para as variáveis

DP, CS, AF e MS de 0,67 para as cultivares de feijoeiro do tipo carioca (IPR Tangará, EIAC 1850 e BRS Estilo), contra 0,63 das cultivares do tipo preto (IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio). No entanto quando se analisa o efeito da competição sobre o conjunto de cultivares de feijoeiro do tipo carioca observou-se que essas apresentaram 4% maior produtividade de grãos em relação as do tipo preto, levando-se em conta o efeito médio de todas as densidades de soja voluntária que competiram com a cultura. Esse fato torna-se importante ao produtor, pois caso tenha uma lavoura infestada por soja voluntária e tenha como objetivo semear feijão safrinha esse pode dar preferência às cultivares do tipo carioca.

No modelo da hipérbole retângula o parâmetro a demonstra a perda de rendimento quando a densidade de soja voluntária é máxima, ou seja, é possível com esse comparar as perdas máximas de produtividade de grãos das cultivares de uma determinada cultura (Tavares et al., 2019). Na presente pesquisa, todas as estimativas do parâmetro a envolvendo as variáveis da soja voluntária DP, CS, AF e MS foram superestimadas pelo modelo da hipérbole retangular, desse modo os valores foram restritos a 100% (Tabela 2). Os resultados podem ter ocorrido em virtude de que as densidades de soja voluntária não tenham sido altas o suficiente para estimar a perda máxima de produtividade de grãos da cultura do feijoeiro, resultado esse também encontrado por Kalsing & Vidal (2013) ao estudarem o efeito de papuã em cultivares de feijoeiro e por Tavares et al. (2019) ao testarem cultivares de trigo em competição com azevém.

De acordo com Cousens (1991) para se ter uma estimativa confiável do parâmetro a os experimentos precisam ter densidades de plantas elevadas, maiores que as comumente encontradas nas lavouras. Assim sendo, como observado em outros trabalhos, adotou-se a restrição de perda máxima de produtividade, já que não se tem explicação biológica para perdas superiores a 100% (Agostinetto et al., 2004; Tavares et al., 2019).

Dentre as variáveis analisadas, os melhores ajustes ao modelo corresponderam a $CS > AF > MS > DP$ (Tabela 2). Para isto foi levado em consideração os maiores valores médios do R^2 e do F, e os menores valores médios do QMR. Desta forma, os dados demonstram que a CS pode ser usada em substituição às demais variáveis para estimar as perdas de produtividades de grãos do feijoeiro na presença de densidades de soja voluntária. Observou-se que dependendo da cultivar de feijoeiro a variável DP pode ser substituída por outra para a tomada de decisão de controle da soja voluntária. Pesquisas tem relatado que a densidade de plantas pode ser substituída por outras variáveis ao avaliarem a competição de cultivares de feijoeiro em convivência com papuã (Kalsing & Vidal, 2013), com picão-preto (Galon et al., 2016) ou de trigo infestadas por azevém (Tavares et al., 2019).

A simulação dos valores de nível de dano econômico (NDE) foi efetuada utilizando-se a variável DP da soja voluntária. Optou-se pela escolha desta variável devido ao fato dela ser a inferência mais utilizada para tomada de decisão no campo devido a facilidade de obtenção, além, também, de ser a mais utilizada em experimentos com esse propósito (Agostinetto et al., 2010; Galon et al., 2016; Tavares et al., 2019).

O êxito na implantação de sistemas de manejo de soja voluntária infestante da cultura do feijoeiro pode decorrer da determinação na densidade que excede o NDE. O NDE mais baixo ocasionado pelas densidades de soja voluntária para as seis cultivares de feijoeiro em função da produtividade de grãos, preço da saca do feijão, custo de controle e eficiência do herbicida foi observado para a IAC 1850 com valor médio de 0,62 plantas m^{-2} (Figuras 2, 3, 4 e 5). Levando-se em conta os mesmos critérios, o NDE foi alcançado com 1,55; 1,54; 2,25; 1,63 e 1,92 plantas m^{-2} de soja voluntária para as cultivares IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio, respectivamente. Observou-se que as cultivares IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio apresentaram os maiores valores de NDE em todas as simulações realizadas, tendo variações de 0,87 a 2,89 plantas m^{-2} . Os menores valores de NDE foram obtidos com as cultivares IPR Tangará, IAC 1850 e BRS Estilo de 0,40 a 2,61 plantas m^{-2} . Destaca-se que as cultivares de feijoeiro do tipo preto (IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio) apresentaram maior NDE em relação as do tipo carioca (IPR Tangará, IAC 1850 e BRS Estilo), sendo isso atribuído principalmente as distintas características genéticas existentes entre esses materiais. Barroso et al. (2010) também relataram que ocorreu competição diferencial entre genótipos de feijoeiro ao competirem com plantas daninhas. De acordo com esses mesmos autores, características como hábito de crescimento, ciclo de desenvolvimento e número de ramos, índice de área foliar, volume radicular, dentre outras, afetam a habilidade competitiva da cultura. Kalsing & Vidal (2013) também relatam ocorrer diferenciação ao compararem as cultivares de feijoeiro do tipo carioca UTF-06 (carioca) em relação a do tipo preto (IPR Graúna) para os níveis críticos de danos de papuã infestante da cultura.

A produtividade de grãos, o custo de controle, o preço pago à saca do feijoeiro e a eficiência do herbicida influenciaram no NDE da soja voluntária sobre a cultura. Quando as cultivares de feijoeiro diminuíram a produtividade de grãos em 166 kg ha^{-1} , ou seja, redução de 1057 para 891 kg ha^{-1} , a densidade de soja voluntária necessária para atingir o NDE foi incrementada em 19% para os materiais IPR Tangará, IAC 1850, BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio (Figura 2). Observou-se que o aumento da expectativa de produtividade da cultura poderá ser influenciada pela competição das plantas daninhas. Esse

fato também foi relatado por Galon et al. (2016) ao avaliarem cultivares de feijoeiro infestadas por picão-preto.

A redução no preço da saca de grão das cultivares do tipo carioca em US\$ 47,43, saindo de 76,89 para US\$ 29,46 e das do tipo preto em US\$ 27,33, alterando de 49,88 para US\$ 22,55, foi necessário o incremento nas densidades de soja voluntária para atingirem os NDEs de 61 e 21%, para as três cultivares de feijoeiro do tipo carioca e preto, respectivamente (Figura 3). Ao se aumentar o custo de controle em US\$ 11,00; de US\$ 16,50 para US\$ 27,50 a densidade de soja voluntária necessária para atingir o NDE foi incrementada em mais de 67%, para todas as cultivares de feijoeiro avaliadas (Figura 4). Galon et al., (2016) também relataram que a redução no valor pago pela saca de grãos de feijão incrementou a densidade de picão-preto necessária para se atingir o NDE da planta daninha sobre as cultivares da cultura, assemelhando-se assim aos dados do presente estudo.

Com a redução da eficiência passando de 100 para 80%, ou seja, redução de 20% a densidade de soja voluntária necessária para atingir o NDE foi incrementada em aproximadamente 25% levando-se em conta todas as cultivares feijoeiro (Figura 5). Galon et al. (2016) constaram um incremento maior que 8% da densidade de picão-preto para se atingir o NDE quando essa espécie daninha infestou várias cultivares de feijoeiro, assemelhando-se em parte aos resultados do presente estudo.

As oscilações entre os maiores e menores valores das variáveis referentes ao feijoeiro ocasionou reduções dos NDEs em cerca de 16%, levando-se em conta a produtividade de grãos, 160% para o preço do feijão do tipo carioca e de 120% para o do tipo preto, 67% em relação ao custo de controle e de 12% tomando por base a eficiência do herbicida (Figuras 5, 6, 7 e 8). Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Agostinetto et al. (2010), Galon et al. (2016) e Tavares et al. (2019) ao trabalharem com arroz, feijão e trigo infestados por plantas daninhas, respectivamente.

As cultivares do tipo preto IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio, apresentaram os melhores resultados para o cálculo do NDE levando-se em conta a produtividade de grãos, ou seja, essas podem conviver com um número mais elevado de plantas voluntárias de soja ao serem comparadas com as demais cultivares do tipo carioca (IPR Tangará, IAC 1850 e BRS Estilo) (Figura 2). Observou-se assim que quanto maior for o potencial produtivo da cultura, menor será a densidade de plantas necessária para ultrapassar os valores de NDE. De modo similar Galon et al. (2016) relataram que quanto maior o potencial produtivo das cultivares de feijoeiro menor são os valores de NDE quando em convivência com o picão-preto.

Ao se comparar a produtividade das cultivares de feijoeiro, levando em consideração a menor (891 kg ha^{-1}) com a maior (1057 kg ha^{-1}), observou-se diferença no NDE de até 19% (Figura 2). Desse modo, quanto maior o potencial produtivo das cultivares de feijoeiro, menor será a densidade de plantas de soja voluntária que equivale ao NDE. Nessa situação torna-se importante a adoção de medidas de controle da planta daninha mesmo quando ocorrem em baixas densidades. Galon et al. (2016) relatam que o NDE de picão-preto ao infestar cultivares de feijoeiro aumenta à medida que ocorre a redução do preço da cultura e aumento do custo do controle. Em contra partida, o incremento do preço do feijoeiro reduz o impacto do custo de controle da planta daninha, obtendo maior retorno econômico com a cultura. Neste cenário, tolera-se menor nível de perda e NDE ocorre com menor densidade de plantas de soja voluntária.

Os resultados quanto ao preço pago à saca de feijão do tipo carioca e preto demonstram variações em cerca de 2,61 e 2,21 vezes nos valores do NDE, respectivamente (Figura 3). Desse modo pode-se afirmar que quanto menor for o preço pago a saca de feijão, maior será a densidade necessária de soja voluntária para ultrapassar o NDE e assim compensar o uso do herbicida. Assim sendo destacaram-se como as cultivares mais competitivas a BRS Estilo, IPR Uirapuru e BRS Estilo com valor de NDE superior a 1,00 plantas m^{-2} de soja voluntária, levando-se em conta o preço pago a saca do feijão. A maior competição dessas cultivares, conforme já explicado anteriormente, deve-se em partes pelas diferenças genéticas que as mesmas apresentam em relação as demais, fazendo desse modo que essas tenham maior habilidade competitiva na presença do competidor.

Em relação ao custo de controle da soja voluntária, observou-se redução de 40% quando se compara o custo mínimo com o máximo (Figura 4). Assim quanto maior for o custo do método de controle, maiores são os NDE e mais plantas de soja voluntária m^{-2} necessárias para justificar medidas de controle. Resultados similares ao do presente estudo foram encontrados por Galon et al. (2016) ao pesquisarem o efeito de densidades de picão-preto infestando cultivares de feijoeiro do tipo preto.

Em relação a eficiência do controle químico, observou-se que a variação de 80 (NDE de 1,76) e 100% (NDE de 1,41) ocasionou em uma alteração do NDE de, aproximadamente, 12 e 11%, respectivamente ao se comparar com o controle médio (90% NDE 1,57) da soja voluntária (Figura 5). Desse modo, pode-se inferir que o nível de controle influencia diretamente no NDE. De maneira geral, quanto mais elevada a eficácia do herbicida menor o NDE, ou seja, é necessário um menor número de plantas de soja voluntária m^{-2} para adoção de medidas de controle. Ao avaliarem a eficácia de fluazifop-p-butil+fomesafen para o controle

de picão-preto em feijoeiro, Galon et al. (2016) também observaram resultados similares aos encontrados no presente estudo, mesmo que tenham sido estudados diferentes herbicidas e plantas daninhas nos dois trabalhos.

Os NDEs diminuem com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca de feijão, com a redução no custo de controle e da eficiência do herbicida sobre a soja voluntária, justificando assim a adoção de medidas de controle em menores densidades do competidor. O uso do NDE como uma ferramenta para o manejo de plantas daninhas deve ser associado com boas práticas agrícolas de manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. A sua adoção somente se justifica nas lavouras que utilizem rotação de culturas, arranjo adequado de plantas, uso de cultivares mais competitivas, épocas adequadas de semeadura, correção da fertilidade do solo, dentre outras. Apesar do controle da soja voluntária ser obrigatório, em determinados períodos do ano que coincidem com o desenvolvimento da segunda safra do feijoeiro (safrinha) em determinadas regiões do Brasil, o uso do NDE pode auxiliar os produtores na tomada de decisão de manejo mais assertivo.

CONCLUSÕES

O modelo de regressão da hipérbole retangular estima adequadamente as perdas de produtividade de grãos de feijoeiro na presença de soja voluntária.

As cultivares de feijoeiro IPR Tangará, BRS Estilo, IPR Uirapuru e BRS Esteio apresentaram maior habilidade competitiva ao serem infestados pela soja voluntária.

Os maiores valores de NDE variaram de 1,00 a 2,89 plantas m^{-2} para as cultivares BRS Estilo, IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio ao competirem com densidades de soja voluntária.

As cultivares IPR Tangará e IAC 1850 demonstram os menores valores de NDE que variaram de 0,40 a 2,08 plantas m^{-2} , na presença de soja voluntária.

Os NDEs diminuem com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca do feijão, com a redução no custo de controle da soja voluntária e da eficiência do herbicida.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à FAPERGS, à UFFS e ao FINEP pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINETTO, D. et al. Interferência e nível de dano econômico de capim-arroz sobre o arroz em função do arranjo de plantas da cultura. **Planta Daninha**, v.28, número especial, p.993-1003, 2010.
- ALMS, J. et al. Corn yield loss due to volunteer soybean. **Weed Science**, v.64, n.3, p.495-500, 2016.
- AMINI, R.; ALIZADEH, H.; YOUSEFI, A. Interference between red kidneybean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). **European Journal of Agronomy**, v.60, n.1, p.13-21, 2014.
- BAJWA, A. A.; WALSH, M.; CHAUHAN, B. S. Weed management using crop competition in Australia. **Crop Protection**, v.95, n.1, p.8-13, 2017.
- Banco Central do Brasil. Cotação. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acessado em: 25/04/2023.
- BARROSO, A. A. M. et al. Interferência entre espécies de planta daninha e duas cultivares de feijoeiro em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p.609-616, 2010.
- CÂMARA, G.M.S. Preparo do solo e plantio In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Eds.). **Soja: do plantio a colheita**. Viçosa/MG: UFV, 2015. CAP. 4, p.66-109.
- CARGNELUTTI, FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.1, p.17-24, 2007.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Safra brasileira de grãos de 2023. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 21/04/2023.
- COSTA, B.S. et al. Manejo de soja voluntária infestante do feijoeiro com o herbicida ethoxysulfuron. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n.1, p.1-6, 2020.
- 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.
- COUSENS, R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. **Weed Technology**, v.5, n.3, p. 664-673, 1991.
- CQFS-RS/SC. 2016. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11.ed. Porto Alegre. 376p.
- FERNANDES, R.C. et al. Desempenho de cultivares de feijoeiro-comum em sistema orgânico de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.9, p.797-806, 2015.

- GALON, L. et al. Interference and economic threshold level for control of beggartick on bean cultivars. **Planta Daninha**, v. 34, n. 3, p. 411-422, 2016.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados climatológicos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10/04/2023.
- JHA, P. et al. Weed management using crop competition in the United States: A review. **Crop Protection**, v.95, n.1, p.31-37, 2017.
- KALSING, A.; VIDAL, R.A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**, v.31, n.4, p.843-850, 2013.
- 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.
- PARREIRA, M.C. et al. Comparação entre métodos para determinar o período anterior à interferência de plantas daninhas em feijoeiros com distintos tipos de hábitos de crescimento. **Planta Daninha**, v.32, p.727-738, 2014.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON B. L.; MCMAHON T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, n.5, p. 1633-1644, 2007.
- PETTER, F.A. et al. Management of volunteer plants in cultivation systems of soybeans, corn and cotton resistant to glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.15, n.1, p.58-66, 2016.
- PIASECKI, C.; RIZZARDI, M.A. Yield losses and economic threshold of GR® F2 volunteer corn in bean. **Planta Daninha**, v36, e018177187, 2018.
- OVEISI, M. et al. Bean cultivar mixture allows reduced herbicide dose while maintaining high yield: A step towards more eco-friendly weed management. **European Journal of Agronomy**, v.122, p.126173, 2021.
- SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª Edição. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SBATELLA, M. et al. Volunteer corn (*Zea mays*) interference in dry edible bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technology**, v.30, n.2, p.937-942, 2016.
- SCHANOSKI, R.; RIGHI, E.Z.; WERNER, V. Perdas na colheita mecanizada de soja (*Glycine max*) no município de Maripá - PR1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1206–1211, 2011.
- TAVARES, L.C. et al. Criteria for decision making and economic threshold level for wild radish in wheat crop. **Planta Daninha**, v37, e019178898, 2019.
- VELINI, E.D.; OSIPE, R.; GAZZIERO, D.L.P. (Eds). **Procedimentos para instalação,**

avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD, 1995. 42 p.

WESTWOOD, J. H. et al. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed Science**, v.66, n.3, p.275-285, 2018.

Tabela 1. Características genéticas, grupo, ciclo, habito de crescimento e tipo de cultivares de feijoeiro utilizadas nos experimentos conduzidos nas safras agrícolas de 2020/21 e 2021/22. UFFS, Campus Erechim/RS, 2023.

Empresa	Pedigree	Grupo	Ciclo	Habito de crescimento	Tipo
EMBRAPA	BRS Esteio	Preto	Normal	Indeterminado	II
IAPAR	IPR Urutau	Preto	Médio	Indeterminado	II
IAPAR	IPR Uirapuru	Preto	Médio	Indeterminado	II
EMBRAPA	BRS Estilo	Carioca	Médio	Indeterminado	II
IAPAR	IPR Tangará	Carioca	Médio	Determinado	II
IAC	IAC 1850	Carioca	Médio	Indeterminado	II

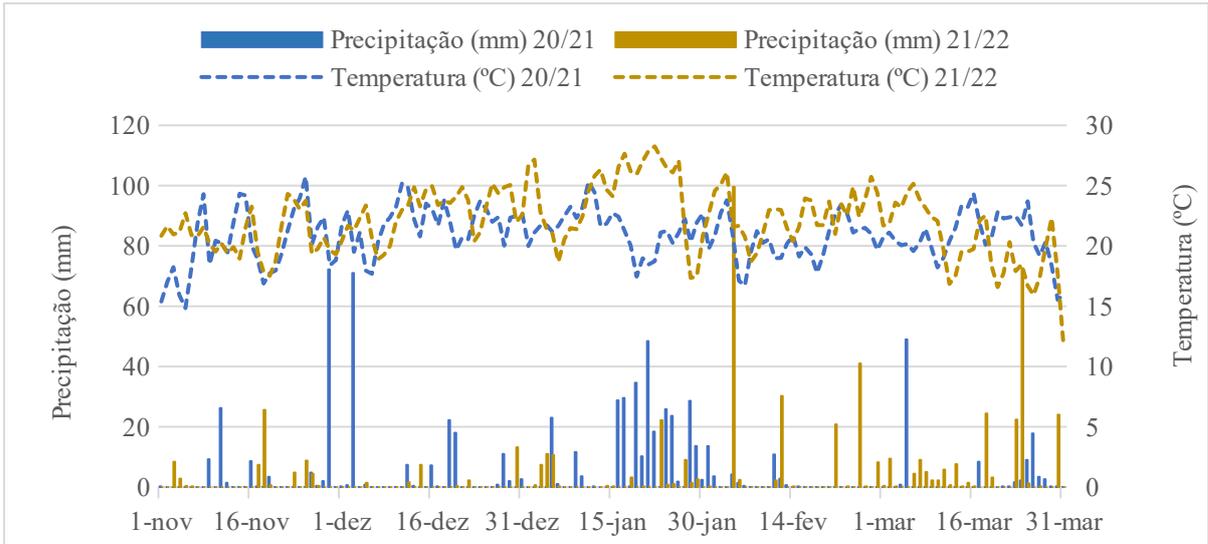


Figura 1. Temperatura média (°C), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) durante o período de condução dos experimentos de novembro a março das safras agrícolas 2020/21 e 2021/22. UFFS/Erechim/RS. Fonte: INMET, (2023).

Tabela 2. Perda de produtividade (Pp) de grãos de feijoeiro em função de cultivares, da densidade de plantas (m^{-2}), cobertura do solo (%), área foliar ($cm^2 m^{-2}$) e massa seca da parte aérea ($g m^{-2}$) de plantas de soja voluntária em competição levando-se em conta os valores médios das duas safras agrícolas que foram conduzidos os experimentos, 2020/21 e 2021/22.

Variáveis explicativas	Parâmetros ¹		R ²	QMR	F
	<i>i</i>	<i>a</i>			
Densidade de plantas de soja voluntária (plantas m^{-2})					
IPR Tangará	2,07	100	0,80	98,34	91,34*
IAC 1850	4,11	100	0,75	25,44	729,50*
BRS Estilo	1,65	100	0,57	49,78	249,40*
IPR Uirapuru	2,12	100	0,77	119,77	105,35*
IPR Urutau	2,92	100	0,70	148,80	76,10*
BRS Esteio	2,28	100	0,73	22,40	430,16*
Cobertura do solo de plantas de soja voluntária (%)					
IPR Tangará	0,04	100	0,81	66,30	157,12*
IAC 1850	0,06	100	0,71	67,51	356,31*
BRS Estilo	0,04	100	0,81	18,43	504,14*
IPR Uirapuru	0,04	100	0,79	84,23	168,53*
IPR Urutau	0,05	100	0,87	34,35	669,60*
BRS Esteio	0,05	100	0,75	23,71	584,33*
Área foliar de plantas de soja voluntária ($cm^2 m^{-2}$)					
IPR Tangará	0,0002	100	0,59	105,13	86,11*
IAC 1850	0,0003	100	0,62	18,30	816,06*
BRS Estilo	0,0002	100	0,72	52,04	372,27*
IPR Uirapuru	0,0002	100	0,72	84,22	113,55*
IPR Urutau	0,0002	100	0,84	104,53	108,60*
BRS Esteio	0,0003	100	0,73	24,23	441,31*
Massa seca da parte aérea de plantas de soja voluntária ($g m^{-2}$)					
IPR Tangará	0,02	100	0,84	111,52	110,19*
IAC 1850	0,03	100	0,65	25,72	571,63*
BRS Estilo	0,02	100	0,84	36,29	240,13*
IPR Uirapuru	0,03	100	0,59	39,23	237,44*
IPR Urutau	0,03	100	0,71	138,96	79,13*
BRS Esteio	0,03	100	0,83	41,05	321,09*

¹ *i* e *a* perdas de produtividades (%) por unidade de soja voluntária quando o valor da variável se aproxima de zero ou tende ao infinito, obtidos pelo modelo da hipérbole retangular $Y = (i.X)/(1+(i/a).X)$ (Cousens, 1985); respectivamente. * Significativo a $p \leq 0,05$. R²: Coeficiente de determinação. QMR: Quadrado médio do resíduo. Os parâmetros *i* e *a*, R², QMR e F são valores obtidos pela média dos valores das duas safras agrícolas 2020/21 e 2021/22, onde se cultivou o feijoeiro.

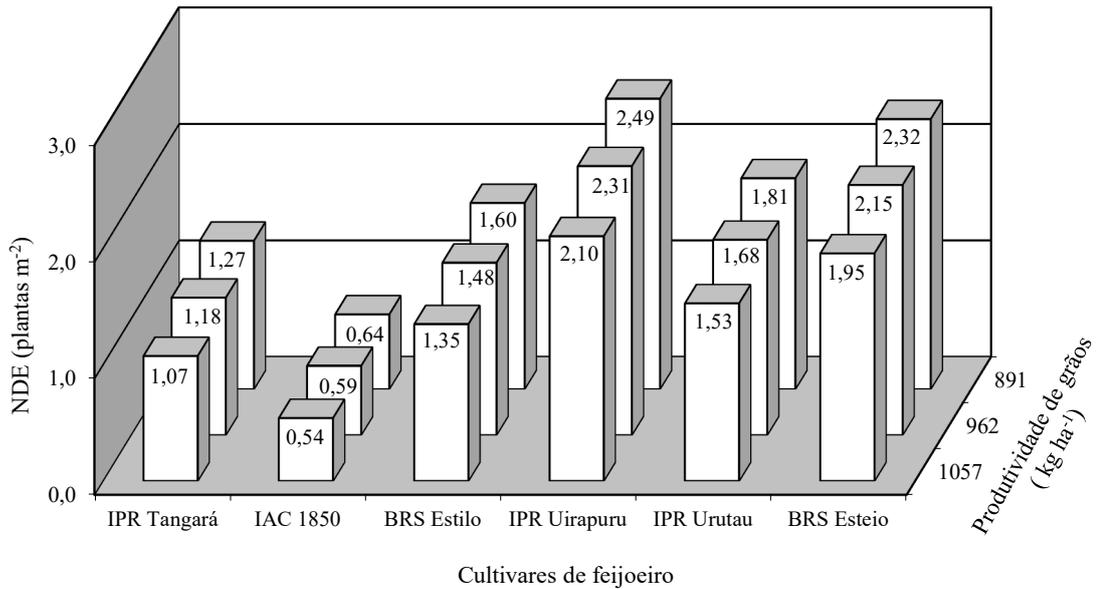


Figura 2. Nível de dano econômico (NDE) obtidos pela média das duas safras agrícolas (2020/21 e 2021/22) em função da densidade de soja voluntária, diferentes cultivares e produtividade de grãos do feijoeiro. UFFS, Campus Erechim/RS, 2023.

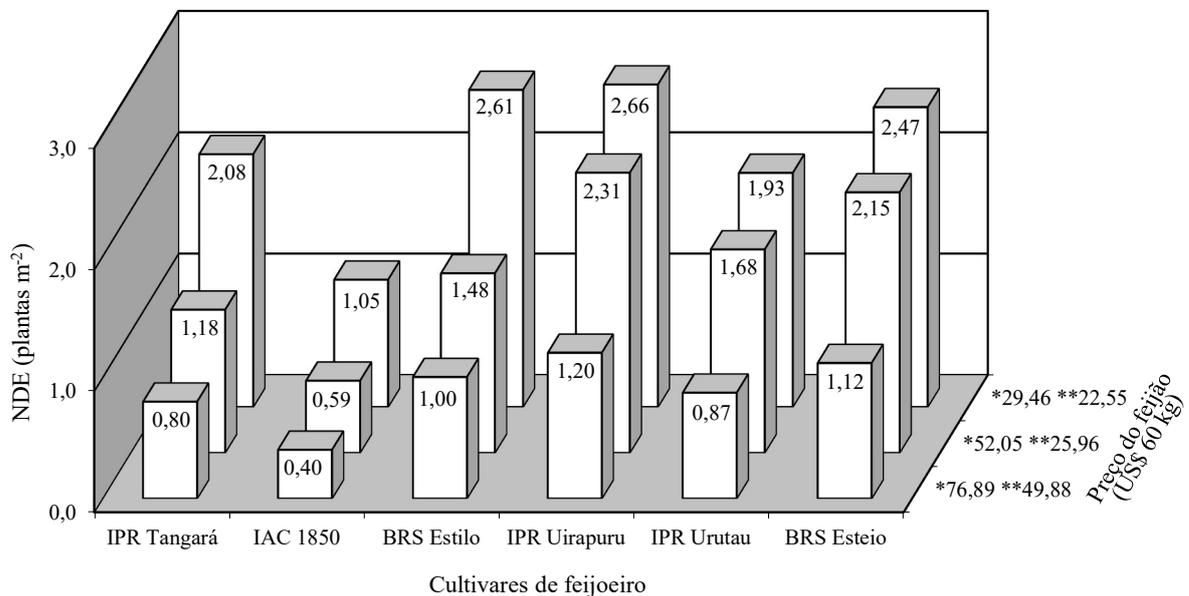


Figura 3. Nível de dano econômico (NDE) obtidos pela média das duas safras agrícolas (2020/21 e 2021/22) em função da densidade de soja voluntária, diferentes cultivares e preço pago ao feijoeiro. * e **: Preço pago para cultivares de feijoeiro do tipo carioca (IPR Tangará, IAC 1850 e BRS Estilo) e do tipo preto (IPR Uirapuru, IPR Urutau e BRS Esteio), respectivamente. UFFS, Campus Erechim/RS, 2023.

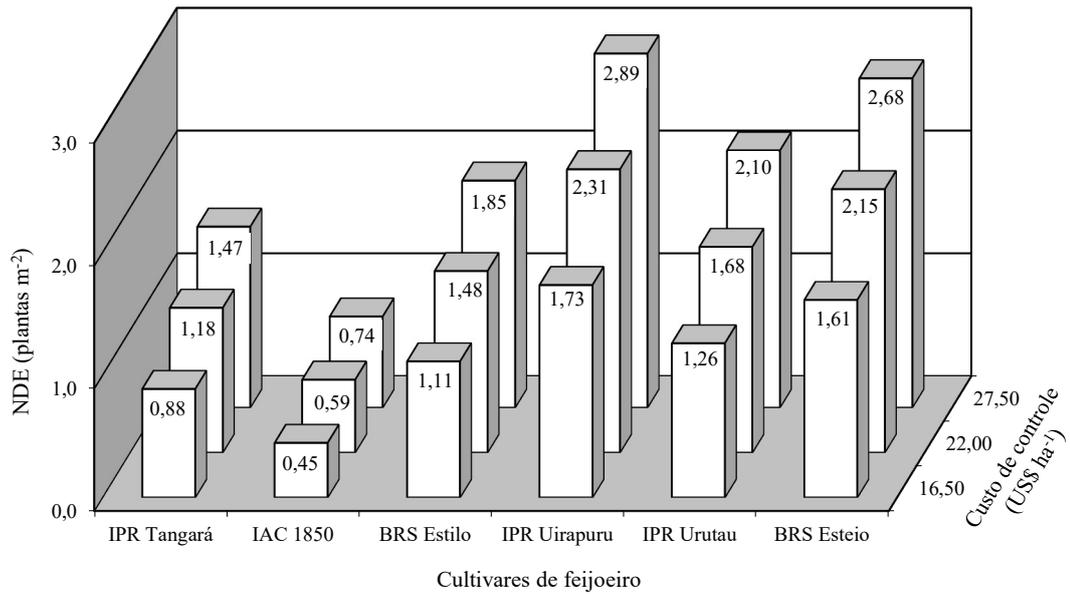


Figura 4. Nível de dano econômico (NDE) obtidos pela média das duas safras agrícolas (2020/21 e 2021/22) em função da densidade de soja voluntária, diferentes cultivares e custo de controle. UFFS, Campus Erechim/RS, 2023.

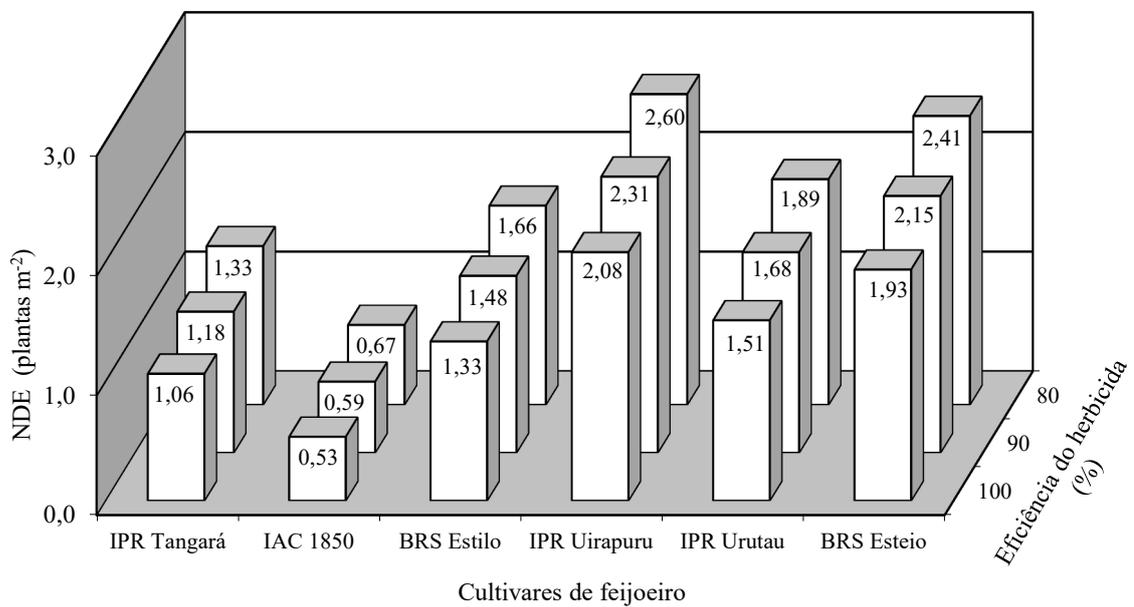


Figura 5. Nível de dano econômico (NDE) obtidos pela média das duas safras agrícolas (2020/21 e 2021/22) em função da densidade de soja voluntária, diferentes cultivares e eficiência do herbicida ethoxysulfuron-sodium. UFFS, Campus Erechim/RS, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade ocorrem elevadas perdas de grãos na plataforma de corte, no processo de trilha, separação e limpeza e também à perda natural, antes mesmo da colheitadeira entrar nas lavouras para colher as culturas de milho e soja. E esses grãos perdidos tem se transformado em plantas daninhas voluntárias de difícil controle em meio às culturas semeadas em sucessão.

A redução de perdas na colheita da soja e do milho, ocasionará maior retorno econômico por possibilitar ganhos de rendimento destas culturas e redução do potencial de perdas oriundas da sua competição com as culturas da soja, milho e do feijoeiro cultivado em sucessão as mesmas, principalmente em safrinha.

Na atualidade há elevadas perdas de grãos de soja das colhedoras automotrizes que ocorrem em virtude da utilização de máquinas em estado precário, a má regulação dessas, velocidades inadequadas, declives acentuados dos terrenos, colheita com umidade elevada da cultura, falta de conhecimento dos operadores, deficiência no controle de pragas, condições climáticas impróprias, dentre outros. Desse modo há que se ter técnicas para reduzir a influencia desses fatores, tanto relacionados às máquinas, quanto ao clima, ambiente e operacional para que seja sanado a problemática.

Os produtos precisam ter atenção na escolha de culturas geneticamente modificadas, especialmente de milho e de soja resistentes a herbicidas para que não tenham problemas para o cultivo das culturas e sucessão, em virtude da dificuldade da adoção do controle químico.

As plantas voluntárias de milho e de soja são muito competitivas ao infestarem as culturas, ocasionado elevadas perdas na produtividade de grãos, especialmente do milho, soja e feijoeiro cultivados em sucessão, mesmo quando aparecerem em baixas densidades nas lavouras.

O nível de dano econômico diminui com o aumento da produtividade de grãos, do preço da saca dos grãos, com a redução no custo de controle das plantas daninhas e da eficiência do herbicida.

Densidades inferiores a 1 planta m⁻² de milho e soja voluntários já ocasionam elevadas perdas de rendimento de grãos das culturas que infestam, especialmente a soja, o milho e feijoeiro, necessitando de medidas de controle.