

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE

Adalin Cezar Moraes de Aguiar

**INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE MILHO
VOLUNTÁRIO EM FEIJÃO**

Frederico Westphalen, RS
2018

Adalin Cezar Moraes de Aguiar

**INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE MILHO VOLUNTÁRIO
EM FEIJÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

Orientador: Prof. Dr. Claudir José Basso

Frederico Westphalen, RS
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Aguiar, Adalin Cezar
Interferência e Nível de Dano Econômico de milho voluntário em feijão / Adalin Cezar Aguiar. - 2018.
111 p.; 30cm

Orientador: Claudir José Basso
Coorientador: Diecson Ruy Orsolin da Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2018

1. Interferência de milho voluntário em feijão 2. Nível de Dano Econômico de milho voluntário em feijão I. Basso, Claudir José II. Orsolin da Silva, Diecson Ruy III. Título.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Adalin Cezar Moraes de Aguiar. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: adalin-cezar@hotmail.com

Adalin Cezar Moraes de Aguiar

**INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE MILHO VOLUNTÁRIO
EM FEIJÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 22 de fevereiro de 2018:

Claudir José Basso, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Diecson Ruy Orsolin da Silva, Dr. (UFSM)
(Coorientador)

Fabiane Pinto Lamego, Dra. (EMBRAPA)

Siumar Pedro Tironi, Dr. (UFFS)

Frederico Westphalen, RS
2018

DEDICATÓRIA

*A Deus, pelo dom da vida, aos meus pais Ivo Becher de Aguiar e Enedina Moraes de Aguiar,
por serem meu espelho e inspiração, dedico-lhes este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me proporcionar saúde e força.

Aos meus pais Ivo Becher de Aguiar e Enedina Moraes de Aguiar, meus irmãos e cunhadas e demais familiares, por todo apoio, confiança e humildade na criação. Pelas orações, compreensão nos momentos de ausência e pelos valiosos conselhos.

Aos professores Claudir José Basso, Diecson Ruy Orsolin da Silva e Hilda Hildebrand Soriani pela oportunidade e confiança depositada. Obrigado pelos conselhos, ensinamentos e pela amizade.

A minha namorada Jessica Casarin, por toda a ajuda e por entender os momentos de dificuldades.

À UFSM e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, pela possibilidade da realização desse trabalho.

Aos professores Fabiane Pinto Lamego; Siumar Pedro Tironi e Antonio Luis Santi, pela disponibilidade em participar da banca de defesa.

Aos eternos amigos do Laboratório de Agricultura e do Laboratório de Plantas Daninhas, por toda ajuda e amizade.

E a todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste sonho.

RESUMO

INTERFERÊNCIA E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO DE MILHO VOLUNTÁRIO EM FEIJÃO

AUTOR: Adalin Cezar Moraes de Aguiar

ORIENTADOR: Claudir José Basso

Dentre os fatores que afetam a cultura do feijão destaca-se a interferência imposta pelas plantas daninhas. Em um sistema de cultivo segunda safra, o feijão se tornou uma opção no sistema de sucessão após o milho na região Sul do Brasil. A partir disso, sementes de milho que permanecem no campo em pós-colheita podem germinar durante o cultivo do feijão, podendo o milho se tornar uma planta daninha voluntária problemática nessas condições. Diante disso, o estudo tem por objetivo avaliar a competitividade relativa, danos ao crescimento, desenvolvimento, morfologia, fisiologia, rendimento de grãos e nível de dano econômico da interferência da densidade e época de emergência do milho voluntário em relação ao feijão. A pesquisa foi desenvolvida no período entre 2015 e 2017, em casa de vegetação, laboratório e a campo, onde foram realizados quatro estudos apresentados na forma de artigos. Os estudos referentes aos artigos I, II e III foram conduzidos em casa de vegetação e laboratório, enquanto que o artigo IV foi realizado a campo. No artigo I foi avaliada a competitividade relativa de duas cultivares de feijão em convivência com milho voluntário, esse emergindo em diferentes épocas e proporções de plantas na associação. No artigo II, foi estudado o efeito da interferência da época de emergência do milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento, pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz. O artigo III abordou estudo sobre a interferência da época de emergência do milho voluntário em competição com feijão pelos recursos de luz e solo+luz, no crescimento e estômatos de duas cultivares de feijão. O artigo IV é relativo ao efeito da época de emergência e densidade do milho voluntário sobre a perda de rendimento de grãos e o nível de dano econômico no feijão. Quando o milho voluntário emerge antes, a interferência causada ao feijão é maior que a emergência simultânea. Pode-se notar uma correlação significativa entre as variáveis de crescimento das plantas de feijão e a fluorescência da clorofila o que a torna uma importante ferramenta de análise usada para quantificar o estresse causado pelas plantas daninhas. Os efeitos da competição pelos recursos solo+luz são maiores quando comparados com a competição apenas por luz, onde a densidade estomática do feijão aumenta quando em competição com o milho voluntário apenas quando o milho emerge de forma antecipada competindo por ambos os recursos luz e solo. As perdas de rendimento do feijão aumentam com o aumento na densidade do milho voluntário. A germinação da planta voluntária junto à cultura provocou maior redução dos valores de nível de dano econômico, comparado com a emergência tardia. O nível de dano econômico do milho voluntário independente da simulação realizada não passou de 14.553 plantas ha⁻¹, podendo chegar à população mínima de necessidade de controle 902 plantas ha⁻¹. Nesse sentido, pode-se elencar a importância da sementeira do feijão em solo livre de infestação com plantas de milho voluntário onde os valores indicam a necessidade de manejo dessa espécie mesmo em baixas densidades.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Competição. Milho tiguera. Época de emergência. Competitividade relativa. Fluorescência da clorofila.

ABSTRACT

INTERFERENCE AND LEVEL OF ECONOMIC DAMAGE OF VOLUNTARY CORN IN BEAN

AUTHOR: Adalin Cezar Moraes de Aguiar

ADVISOR: Claudir José Basso

Among the factors that affect the bean culture, the interference imposed by the weeds stands out. In a second cropping system, bean became an option in the succession system after maize in southern Brazil. From this, corn seeds that remain in the post-harvest field can germinate during bean cultivation, and maize can become a problematic voluntary weed under these conditions. The objective of this study was to evaluate the relative competitiveness, damage to growth, development, morphology, physiology, grain yield and level of economic damage of the density interference and emergence time of volunteer corn in relation to beans. The research was developed in the period between 2015 and 2017, in a greenhouse, laboratory and field, where four studies were presented in the form of articles. The studies referring to articles I, II and III were conducted in a greenhouse and laboratory, while Article IV was conducted in the field. In article I the relative competitiveness of two bean cultivars in coexistence with volunteer corn was evaluated, which emerged at different times and proportions of plants in the association. In article II, the effect of the emergence interference of volunteer corn on growth parameters, photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of bean cultivars in competition for light and soil + light resources was studied. The article III approached study on the interference of the emergence season of volunteer corn in competition with bean by the light and soil + light resources, in the growth and stomata of two bean cultivars. Article IV is related to the effect of the emergence season and volunteer corn density on grain yield loss and the level of economic damage in the beans. When volunteer corn emerges earlier, interference to beans is greater than simultaneous emergence. There is a significant correlation between bean plant growth variables and chlorophyll fluorescence, which makes it an important analysis tool used to quantify the stress caused by weeds. The effects of competition for soil + light resources are greater when compared to competition by light only, where the stomatal density of the beans increases when in competition with the volunteer corn only when the corn emerges in advance competing for both light and soil resources. Bean yield losses increase with the increase in volunteer corn density. The germination of the volunteer plant with the crop caused a greater reduction of the values of economic damage level, compared to the late emergence. The level of economic damage of volunteer maize independent of the simulation performed did not exceed 14,553 plants ha⁻¹, and 902 plants ha⁻¹ can reach the minimum population of control need. In this sense, the importance of bean sowing in infestation-free soil with volunteer corn plants can be highlighted, where values indicate the need to manage this species even at low densities.

Key words: *Phaseolus vulgaris*. Competition. Tiguera corn. Time of emergency. Relative competitiveness. Fluorescence of chlorophyll.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1 - Diferenças de produtividade relativa (DPR) e de produtividade relativa total (PRT) das variáveis, altura de planta, área foliar e biomassa seca da parte aérea de dois cultivares de feijão e do competidor milho voluntário, emergindo sete dias antes (-7 DAE) e simultaneamente (0 DAE) em relação à cultura, aos 35 dias após a emergência. Frederico Westphalen, RS, 201827
- Tabela 2 - Altura de planta (cm) de cultivares de feijão em diferentes proporções de plantas e época de emergência do milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018.....28
- Tabela 3 - Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de cultivares de feijão em diferentes proporções de plantas e época de emergência do milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018.....31
- Tabela 4 - Biomassa seca da parte aérea (g planta^{-1}) de cultivares de feijão em diferentes proporções de plantas e época de emergência do milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 201833
- Tabela 5 - Índices de competitividade de cultivares de feijão e milho voluntário, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K_a e K_b) e agressividade (A), obtidos em experimentos conduzidos em séries substitutivas. Frederico Westphalen, RS, 201834

ARTIGO II

- Tabela 1 - Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), comprimento de raiz (CR) e relação altura/comprimento de raiz (AP/CR) de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz Frederico Westphalen, RS, 2018.....47
- Tabela 2 - Biomassa seca total (MST) de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz, Frederico Westphalen, RS, 2018.....48
- Tabela 3 - Teor de clorofila *a*, *b* e *a+b* (mg g^{-1} Biomassa fresca) das folhas de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz, Frederico Westphalen, RS, 2018.....50
- Tabela 4 - Teor de carotenoides (mg g^{-1} Biomassa fresca) das folhas de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz, Frederico Westphalen, RS, 201851

Tabela 5 - Análise de correlação de Pearson para os parâmetros de planta, pigmentos fotossintéticos e fluorescência de clorofila de plantas de feijão em competição pelo recurso luz com milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 57

Tabela 6 - Análise de correlação de Pearson entre os parâmetros de planta, pigmentos fotossintéticos e fluorescência de clorofila de plantas de feijão em competição pelos recursos Luz+solo com milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 58

ARTIGO III

Tabela 1 - Altura do primeiro nó (APN) e número de trifólios (NT) de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 71

Tabela 2 - Área foliar (AF) de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 73

Tabela 3 - Biomassa seca de raiz (BSR), Biomassa seca da parte aérea (BSPA) e relação BSPA/BSR de cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 74

Tabela 4 - Densidade estomática (DE) e índice estomático (IE) da parte adaxial das folhas de feijão em função da época de emergência do com milho voluntário competindo pelo recurso de solo+luz e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018 75

Tabela 5 - Densidade estomática (DE) (mm^2) da parte abaxial das folhas de feijão em função da época de emergência do com milho voluntário competindo pelo recurso solo+luz e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 77

Tabela 6 - Índice estomático (IE) (%) da parte abaxial das folhas de feijão em função da época de emergência do com milho voluntário competindo pelo recurso solo+luz e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 77

ARTIGO IV

Tabela 1 - Dados e informações dos locais e operações de instalação dos experimentos. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 87

Tabela 2 - Tabela da *Anova* de rendimento do feijão, para os anos de cultivo, época de emergência e densidade do milho voluntário. Frederico Westphalen, 2018. 89

Tabela 3 - Parâmetros do modelo da hipérbole retangular da perda de rendimento de feijão preto, com base na época de emergência e populações do milho voluntário nos diferentes anos de cultivo. Frederico Westphalen, RS, 2018 91

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1 - Diagrama de produtividade relativa da altura de planta, das cultivares de feijão IPR Gralha (a; b) e Fepagro Triunfo (c; d) e o milho voluntário em duas épocas de emergência da planta daninha -7 DAE (a; c) e 0 DAE (b; d) em função da variação da proporção de plantas entre as duas espécies. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 26

Figura 2 - Diagrama de produtividade relativa da área foliar, das cultivares de feijão IPR Gralha (a; b) e Fepagro Triunfo (c; d) e o milho voluntário em duas épocas de emergência da planta daninha -7 DAE (a; c) e 0 DAE (b; d) em função da variação da proporção de plantas entre as duas espécies. Frederico Westphalen, RS, 2018..... 30

Figura 3 - Diagrama da produtividade relativa da biomassa seca da parte aérea, das cultivares de feijão IPR Gralha (a; b) e Fepagro Triunfo (c; d) e o milho voluntário em duas épocas de emergência da planta daninha -7 DAE (a; c) e 0 DAE (b; d) em função da variação da proporção de plantas entre as duas espécies. Frederico Westphalen, RS, 2018 32

ARTIGO II

Figura 1 – Esquema representando os tratamentos, de acordo com os fatores de competição entre feijão e milho voluntário, Frederico Westphalen, RS, 2018..... 44

Figura 2 - Fluorescência inicial (F_0) de folhas de plantas de feijão em competição por recursos solo+luz e Luz com milho voluntário, emergindo sete dias antes (-7 DAE) e simultaneamente (0 DAE). Letras minúsculas comparam entre época de emergência do milho voluntário ou cultivar de feijão, pelo teste de teste Tukey ($p<0,05$). Frederico Westphalen, RS, 2018. 52

Figura 3 - Fluorescência máxima (F_m) e rendimento quântico efetivo do PSII (Y_{II}) de folhas de plantas de feijão em competição por recursos solo+luz e luz com milho voluntário, emergindo sete dias antes (7 DAE) e simultaneamente (0 DAE). Letras minúsculas comparam entre época de emergência do milho voluntário, pelo teste de teste Tukey ($p<0,05$). Frederico Westphalen, RS, 2018..... 53

Figura 4 - Taxa de transporte de elétrons (ETR) e extinção não fotoquímica (NPQ) de folhas de plantas de feijão em competição por recursos Solo+luz e Luz com milho voluntário, emergindo sete dias antes (7 DAE) e simultaneamente (0 DAE). Letras minúsculas comparam entre época de emergência do milho voluntário, pelo teste de teste Tukey ($p<0,05$). Frederico Westphalen, RS, 2018..... 55

ARTIGO III

Figura 1 – Esquema representando os tratamentos, de acordo com os fatores de competição entre feijão e milho voluntário, Frederico Westphalen, RS, 2018.....71

ARTIGO IV

Figura 1 - Perda de rendimento (%) de grãos de feijão em convivência com milho voluntário com emergência simultaneamente (0 DAE) e sete dias após emergência do feijão. Frederico Westphalen, 2018.90

Figura 2 - Nível de dano econômico (NDE) do milho voluntário no feijão em função da época de emergência em relação a cultura, do rendimento de grãos, preço pago á cultura, eficiência do controle e custo do controle. O 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. Frederico Westphalen, RS, 2018.94

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 HIPÓTESES	18
1.2 OBJETIVO GERAL	18
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2 ARTIGO I - COMPETITIVIDADE RELATIVA DE CULTIVARES DE FEIJÃO EM CONVIVÊNCIA COM MILHO VOLUNTÁRIO EM SÉRIE DE SUBSTITUIÇÃO	20
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
2.4 REFERÊNCIAS	36
3 ARTIGO II - INTERFERÊNCIA DE MILHO VOLUNTÁRIO SOBRE OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO.	39
3.1 INTRODUÇÃO	41
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.4 REFERÊNCIAS	60
4 ARTIGO III - INTERFERÊNCIA DE MILHO VOLUNTÁRIO NO CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS ESTOMÁTICAS DAS FOLHAS DE FEIJÃO	65
4.1 INTRODUÇÃO	67
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	68
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.4 REFERÊNCIAS	79
5 ARTIGO IV – PERDA DE RENDIMENTO E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO PARA O MILHO VOLUNTÁRIO EM FEIJÃO	83
5.1 INTRODUÇÃO	85
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	86
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
5.4 REFERÊNCIAS	97
6 DISCUSSÃO GERAL	99
7 CONCLUSÃO GERAL	104
8 REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado um dos principais alimentos consumidos no Brasil, com alta importância social e econômica (TAVARES et al., 2013). O feijão é consumido em todas as regiões do país e, juntamente com o arroz, compõe o alimento básico para a população, sendo privilegiado pela fonte de proteínas, minerais, vitaminas, alto conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados e carboidratos, além de poder ser utilizado para a alimentação animal (CURY et al., 2011; MORAES e MENELAU, 2017).

O feijão, no Brasil, é cultivado em pequena e grande escala, onde os sistemas de produção diferem entre as regiões. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), na safra 2016/17 a área total de feijão cultivada no Brasil, considerando as três safras, foi de 2.980,8 mil hectares, com produção de 3.124,1 mil toneladas. O feijão do tipo preto é responsável por aproximadamente 10% desta área e 16 % da produção nacional, onde na região sul na safra de 2016/2017, o feijão preto compôs uma área de 284,6 mil hectares, com produção 482,1 mil toneladas, representando 94% da área semeada a nível nacional e 96% da produção.

Dos fatores que influenciam o crescimento, desenvolvimento e a produtividade do feijão, destaca-se a interferência imposta pelas plantas daninhas, através da competição exercida pelos fatores luz, água e nutrientes, além de aumentar os custos operacionais de colheita, secagem e beneficiamento dos grãos (FREITAS et al., 2009). O feijão é considerado uma das culturas agrícolas com menor capacidade competitiva com plantas daninhas, por apresentar crescimento inicial lento e por ser enquadrado no grupo de culturas agrícolas que menos sombreiam o solo (MANABE et al., 2015; TEIXEIRA et al., 2009). No Brasil, estimam-se perdas médias em torno de 25% do rendimento de grãos de feijão provocado pelas plantas daninhas, o que equivale a R\$ 1 bilhão de reais anualmente (VIDAL et al., 2010).

Dentre as várias plantas daninhas que competem com as culturas, destacam-se as plantas voluntárias, como o milho voluntário, o qual pode se tornar uma planta infestante em regiões onde o milho é cultivado em sucessão (DEEN et al., 2006). A competição imposta pelo milho voluntário provoca redução no rendimento em várias culturas como a soja, o próprio milho cultivado, a beterraba e o algodão (ALMS et al., 2016; KNISS et al., 2012; MARQUARDT et al., 2012; THOMAS et al., 2007), além de afetar a qualidade do produto colhido (DEEN et al. 2006) e servir como hospedeiro de insetos praga e agentes patogênicos (SUMMERS et al., 2004).

Como o feijão comum é uma opção de cultivo na “safrinha” a ser utilizado em sistemas de sucessão após o milho na região Sul do Brasil, as sementes de milho que permanecem no campo em pós-colheita podem germinar durante o cultivo do feijão, tornando o milho voluntário uma planta problemática nessas condições (SBATELLA et al., 2016; MARQUARDT et al., 2012; ALMS et al., 2016). A infestação do milho voluntário pode ocorrer em grandes densidades, devido às perdas excessivas de grãos e pedaços de espigas durante a colheita (BECKET e STOLLER, 1988), onde a semeadura da cultura sucessora faz com que o milho permaneça em contato com o solo ou envolvido na palha, no qual a germinação e emergência bem sucedidas podem variar com o tempo.

Entre os elementos que influenciam a competição entre plantas daninhas e culturas, são relacionadas à prática de gestão como o uso de cultivares com maior capacidade competitiva, o que pode diminuir o grau de competição da planta daninha (KALSING e VIDAL, 2013). Outro fator que pode influenciar é a época relativa de emergência das plantas daninhas em relação à cultura, onde plantas daninhas que emergem após as culturas, em geral, exercem menor impacto sobre o rendimento, pois grande parte da interferência ocorre após a definição dos componentes de rendimento (VANDEVENDER et al., 1997). Em contrapartida, plantas daninhas com emergência antecipada apresentam maior crescimento por adquirirem vantagem de acesso prioritário aos recursos do meio, aumentando a habilidade competitiva (AGOSTINETTO et al., 2004).

No mesmo sentido, estudos que isolam fatores favorecem a compreensão dos mecanismos de competição (MCPHEE e AARSSSEN, 2001). A competição por nutrientes é afetada pelo teor de água no solo, por aspectos específicos dos concorrentes, bem como pelas diferenças no hábito de crescimento e demanda de nutrientes pelas espécies envolvidas (PITELLI, 1995). Já a competição imposta pelo estresse luminoso provoca uma alteração nos comprimentos de onda na faixa do vermelho e vermelho extremo, através de uma mudança na qualidade da luz, detectada principalmente pelo fitocromo, tendo um papel importante na indução de várias mudanças morfológicas na arquitetura das plantas, principalmente na redução de ramos e folhas (BALLARÉ, 2014).

Existem vários métodos para investigar as relações competitivas entre plantas, dentre eles destacam-se os experimentos de séries substitutivas. Proposto por Radosevich (1987), o método consiste em que a densidade total de plantas seja mantida constante, enquanto as proporções da mistura das duas espécies são variáveis. O modelo mostra-se importante no sentido de avaliar os efeitos da competição de duas espécies em uma única densidade total e determinar os efeitos relativos da interferência dentro e entre as espécies a fim de indicar qual

delas é mais competitiva. Em experimentos conduzidos em séries substitutivas, geralmente as culturas demonstram maior habilidade competitiva do que as espécies daninhas. Entretanto, quando se trabalha com duas culturas, em que uma delas atua como uma planta voluntária, a habilidade competitiva da planta cultivada de interesse econômico pode ser mais intensamente afetada.

Fatores envolvidos no meio, como déficit hídrico, esgotamento de nutrientes e efeito da qualidade e quantidade da radiação, são os principais influenciadores da capacidade fotossintética das plantas em convivência (AFIFI e SWANTON, 2012). O teor de pigmento foliar é um indicador importante da capacidade fotossintética das plantas (DAI et al., 2017), pois a clorofila *a* favorece a absorção de luz de onda longa, a clorofila *b* funciona para luz de onda curta, e os carotenóides absorvem a luz de outros comprimentos de ondas, além de serem antioxidantes endógenos e protegerem a clorofila de danos fotodinâmicos (BRODY, 2002). Nesse sentido, alterações nos parâmetros relacionados à fotossíntese podem ser indicativo do dano competitivo às plantas (ULGUIM et al., 2017; DAI et al., 2017).

Outro parâmetro usado em estudo de estresse é a fluorescência da clorofila, por ser um método não destrutivo e que permite analisar de forma qualitativa e quantitativa a absorção, o aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (NETTO et al., 2005). O uso dos parâmetros de fluorescência permite avaliar o efeito de vários tipos de estresses, como déficit hídrico (SILVA et al., 2015), salinidade (YAN et al., 2012), luminosidade (SCHOCK et al., 2014), temperatura (PERBONI et al., 2015), danos por insetos (HUANG et al., 2013), doenças (COSTA et al., 2009) e metais pesados (FERREIRA et al., 2015). No entanto, a utilização destes parâmetros de fluorescência para expressar danos causados pela competição de plantas daninhas é pouco encontrada na literatura.

Em relação à parte anatômica, os estômatos das plantas compõem o portão vital entre a planta e a atmosfera, podendo desempenhar um papel central nas respostas vegetais às condições ambientais (NILSON e ASSMANN, 2007). Há relatos de respostas de densidade estomática e índice estomático a vários fatores ambientais, como estresse por calor (BEERLING e CHALONER, 1993), seca (GALMÉS et al., 2007), concentração elevada de CO₂ (WOODWARD, 1987), estresse salino (ZHAO et al., 2006), mudança de precipitação (YANG et al., 2007) e densidade de plantas (ZHANG et al., 2003). No entanto, resposta de alteração na densidade estomática e índice estomático de plantas em competição com plantas daninhas também é pouco visto na literatura.

Devido ao alto efeito das plantas daninhas nas lavouras de feijão, o manejo se torna indispensável. O controle de plantas daninhas no feijão é realizado geralmente pelo uso de herbicidas, em virtude da alta viabilidade, eficiência e menor custo, em comparação com outros métodos de controle (GALON et al., 2016). Com isso o uso de modelos de produção mais sustentáveis que diminuam o risco de resíduos nos alimentos e que reduzam o impacto ambiental sobre os agroecossistemas pode-se tornar uma importante ferramenta de gestão. Nesse sentido, o controle de plantas daninhas baseados no nível de dano econômico (NDE) torna-se uma importante ferramenta a nível econômico e ambiental que auxilia os agricultores a tomar decisões sobre o controle de plantas daninhas (KALSING e VIDAL, 2013; WESTENDORFF et al., 2014).

Dessa forma, o NDE se caracteriza pela utilização de métodos de controle sobre uma população de plantas quando o prejuízo causado no rendimento de grãos é superior ao custo das medidas de controle a serem adotadas (PESTER et al., 2000). O NDE agrupa relações existentes entre a densidade de plantas daninhas, rendimento esperado da cultura, preço da cultura e eficiência de controle. Para estabelecer o NDE é necessário levar em consideração, variáveis que são dependentes de características ambientais, práticas culturais, preço dos produtos agrícolas e outros fatores externos (BERTI et al., 1997).

1.1 HIPÓTESES

Cultivares de feijão de ciclo mais longo apresentam maior potencial de competir com plantas de milho voluntário que emergem antes do estabelecimento da cultura.

O milho voluntário tem maior potencial de causar danos ao feijão quando emerge antecipadamente, e a competição pelo recurso luz não é capaz de alterar o crescimento, desenvolvimento, e na fisiologia das plantas de feijão.

As perdas de rendimento de grãos do feijão variam em função do aumento da densidade e época de emergência do milho voluntário em relação à cultura.

O incremento na produtividade de grãos, no preço do feijão, na eficiência do herbicida e a redução no custo de controle diminuem os valores do nível de dano econômico do milho voluntário.

1.2 OBJETIVO GERAL

O estudo tem por objetivo avaliar a competitividade relativa, danos ao crescimento, desenvolvimento, fisiologia, rendimento de grãos e nível de dano econômico da interferência de densidades e épocas de emergência do milho voluntário em relação ao feijão.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a competitividade relativa de duas cultivares de feijão em convivência com milho voluntário emergindo em diferentes épocas, em diferentes proporções de plantas na associação.

Aferir o efeito da interferência do milho voluntário, emergindo em duas épocas, sobre os parâmetros de crescimento, pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz.

Avaliar o efeito da interferência da época de emergência do milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento e características estomáticas de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz.

Verificar o efeito da época de emergência e densidade de milho voluntário sobre a perda de rendimento de grãos, e o nível de dano econômico em feijão.

**2 ARTIGO I - COMPETITIVIDADE RELATIVA DE CULTIVARES DE FEIJÃO EM
CONVIVÊNCIA COM MILHO VOLUNTÁRIO EM SÉRIE DE SUBSTITUIÇÃO**

Submetido para o periódico: Revista Planta Daninha

Situação: Aceito

Competitividade relativa de cultivares de feijão em convivência com milho voluntário em série de substituição

Relative competitiveness of bean cultivars in coexistence with volunteer corn in substitution series

RESUMO – O milho voluntário pode se tornar uma planta infestante em regiões onde o milho é cultivado em sucessão. Objetivou-se com este estudo avaliar a competitividade relativa de duas cultivares de feijão em convivência com milho voluntário, emergindo em diferentes épocas, em diferentes proporções de plantas na associação. Primeiramente, tanto para o feijão como para o milho voluntário, determinou-se a população de plantas em que a produção final de Biomassa seca se torna constante (24 plantas vaso⁻¹). Posteriormente, instalou-se um experimento em esquema fatorial 2x2x5, envolvendo dois cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo), duas épocas de emergência das plantas de milho voluntário (-7 e 0 dias em relação ao feijão) e cinco proporções de plantas na associação (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100). O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Aos 35 dias após a emergência do feijão, aferiram-se a altura das plantas, área foliar e biomassa seca da parte aérea de ambas as espécies. A análise da competitividade foi efetuada por meio de diagramas aplicados a experimentos substitutivos e uso de índices de competitividade relativa. O feijão e o milho voluntário não diferem quanto às características efetivamente avaliadas de altura, área foliar e biomassa seca quando a emergência das espécies ocorre de forma simultânea. No entanto, quando o milho voluntário emerge de forma antecipada, a interferência sobre as plantas de feijão é evidente, reforçando a importância da semeadura da cultura em solo livre de infestação com plantas de milho voluntário.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*, plantas voluntárias, competição, época de emergência.

ABSTRACT - Volunteer corn can become an infesting plant in regions where maize is grown in succession. The objective of this study was to evaluate the relative competitiveness of two bean cultivars in coexistence with volunteer corn, emerging at different times in different proportions of plants in the association. Firstly, for both bean and volunteer maize, the plant population was determined in which the final production of dry biomass becomes constant (24 pot⁻¹ plants). An experiment was carried out in a 2x2x5 factorial scheme, involving two common bean cultivars (IPR Gralha and Fepagro Triunfo), two emergence times of volunteer

corn plants (-7 and 0 days in relation to beans) and five proportions of plants in the association (100: 0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0: 100). The study was conducted in a completely randomized design, with five replications. At 35 days after the emergence of the bean, the height of the plants, leaf area and dry biomass of the aerial part of both species were measured. The competitiveness analysis was carried out through diagrams applied to substitutive experiments and the use of relative competitiveness indices. Beans and volunteer maize do not differ in the evaluated characteristics of height, leaf area and dry biomass when the emergence of the species occurs simultaneously. However, when volunteer maize emerges in advance, interference on bean plants is evident, reinforcing the importance of sowing the crop in soil free from infestation with volunteer corn plants.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays*, voluntary plants, competition, emergence periods.

2.1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma das culturas utilizadas em sistemas de sucessão na região sul do Brasil, que consiste na produção do milho como primeira safra e o feijão em sucessão como segunda safra (safrinha), compondo uma área cultivada de 284 mil hectares (Conab 2017). Como consequência, as sementes de milho que permanecem no campo em pós-colheita podem germinar durante o cultivo do feijão em sucessão, podendo o milho voluntário se tornar uma planta daninha problemática nessas condições (Sbatella et al., 2016; Deen et al., 2006; Marquardt et al., 2012; Alms et al., 2016).

Há relatos de competição de milho voluntário com várias culturas, como a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), o próprio milho cultivado (*Zea mays*), beterraba (*Beta vulgaris* L.) e o algodão (*Gossypium hirsutum* L.), (Alms et al., 2016; Kniss et al., 2012; Marquardt et al., 2012; Thomas et al., 2007). No entanto, informações sobre os efeitos do milho voluntário na cultura do feijoeiro ainda são escassas.

Como os grãos de milho podem emergir de forma escalonada na lavoura em sucessão, a diferença na época relativa de emergência pode afetar consideravelmente a habilidade competitiva das espécies envolvidas. Plantas daninhas que emergem após as culturas, em geral, exercem menor impacto sobre o rendimento, pois grande parte da interferência ocorre após a definição dos componentes de rendimento (Vandevender et al., 1997). Em contrapartida, plantas daninhas com emergência antecipada apresentam maior crescimento

por adquirirem vantagem de acesso prioritário aos recursos do meio, aumentando a habilidade competitiva (Agostinetto et al., 2004).

O tempo de duração do ciclo das plantas é outro fator que pode ter relação direta com a habilidade de cada cultivar em tolerar a competição imposta pelas plantas daninhas (Carvalho et al., 2011). Para soja cultivares com características de maior altura e ciclo tardio possuem maior habilidade competitiva do que cultivares de ciclo precoce e porte baixo (Bennett e Shaw, 2000). Pressupõe-se que cultivares portadoras dessas características produzam maior quantidade de fitomassa, o que pode ser indicativo de plantas que causam maior sombreamento (Lamego et al., 2004).

Existem vários métodos para investigar as relações competitivas entre plantas, dentre eles destacam-se os experimentos em série substitutivos. Proposto por Radosevich (1987), o método consiste que a densidade total de plantas seja mantida constante, enquanto as proporções da mistura das duas espécies são variáveis. O modelo mostra-se importante no sentido de avaliar os efeitos da competição de duas espécies em uma única densidade total e determinar os efeitos relativos da interferência dentro e entre as espécies a fim de indicar qual delas é mais competitiva.

Em experimentos conduzidos em série substitutivos, geralmente as culturas demonstram maior habilidade competitiva do que as espécies daninhas. Entretanto, quando se trabalha com duas culturas, em que uma delas atua como uma planta voluntária, a habilidade competitiva da planta cultivada pode ser mais intensamente afetada.

As hipóteses deste estudo são: 1) a utilização de cultivares de feijão de ciclo de maturação mais longo apresenta maior potencial de competir com plantas de milho voluntário; 2) o milho voluntário apresenta maior potencial competitivo que o feijão, quando ocorrendo em proporções semelhantes; 3) o milho voluntário apresenta maior habilidade competitiva quando se estabelece antecipadamente em relação ao feijão. Desse modo, o objetivo do estudo foi avaliar a competitividade relativa de duas cultivares de feijão em convivência com milho voluntário emergindo em diferentes épocas, em diferentes proporções de plantas na associação.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois estudos em casa de vegetação no período de setembro de 2016 a janeiro de 2017. As unidades experimentais foram constituídas de vasos de plástico de 8 litros com 23 cm de diâmetro, preenchidos com solo, classificado como Latossolo Vermelho

aluminoférrico típico. As características químicas do solo utilizado foram: pH = 5,1; MO = 1,0%; P = 3,0 mg dm⁻³; K = 42,5 mg dm⁻³; Al³⁺ = 1,6 cmolc dm⁻³; Ca²⁺ = 1,5 cmolc dm⁻³; Mg²⁺ = 0,7 cmolc dm⁻³; CTC = 7,4 cmolc dm⁻³; H+Al = 5,1 cmolc dm⁻³; SB = 31,2 cmolc dm⁻³; argila = 61%, sendo previamente corrigido e adubado.

O primeiro experimento consistiu em monocultivo de feijão e milho voluntário para determinar a população de plantas a ser estabelecida por vaso, com base na Lei de “Produtividade Final Constante” (Radosevich et al., 2007). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições. Neste experimento foi semeado o feijão (cv. IPR Galha) e milho voluntário (sementes F2 do híbrido DKB 240) como monoculturas para estabelecer as seguintes populações de plantas: 2; 4; 8; 16; 24; 32 e 64 plantas vaso⁻¹ (equivalente a 40; 80; 160; 320; 480; 640; 1280 plantas m⁻²) para ambas as espécies.

Aos 35 dias após a emergência (DAE), foi coletada a parte aérea das plantas de feijão e milho voluntário para determinação da biomassa seca de parte aérea (BSPA). O material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e depositados em estufa com temperatura constante de 60°C, até que fosse atingido peso seco constante, a partir disso as amostras foram pesadas em balança de precisão. A produção máxima de BSPA das plantas de feijão e milho voluntário foi de 32 e 16 plantas, respectivamente, sendo que utilizou-se 24 plantas por vaso (equivalente a 480 plantas m⁻²).

O segundo estudo foi conduzido pelo modelo de série de substituição, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, em esquema fatorial 2x2x5, envolvendo duas cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo), duas épocas de emergência do milho voluntário em relação ao feijão (sete dias antes do feijão (-7) e simultaneamente (0)), além de cinco proporções de plantas na associação entre o feijão e milho (100:0 (monocultura de feijão), 75:25; 50:50; 25:75 e 0: 100 (monocultura do milho)). Para simular o milho voluntário foram usadas sementes de origem F2 do híbrido DKB 240.

A cultivar IPR Galha apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo II, porte ereto, ciclo médio de 93 dias, com tolerância à seca e alta temperatura durante a fase reprodutiva, destaca-se pela sua rusticidade, apresentando resistência às principais doenças. Já a cultivar Fepagro Triunfo apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo II, porte ereto, ciclo médio de 75 dias, resistentes ao acamamento, e bom nível de tolerância a moléstias.

Aos 35 DAE foram avaliadas a altura de plantas (AP), área foliar (AF) e a biomassa seca da parte aérea (BSPA). A EP (cm) foi determinada usando uma régua milimétrica medindo a altura desde o solo até o ápice do último trifólio para o feijão e até o final da última

folha para o milho voluntário. Para determinação de AF (cm² planta⁻¹), foi utilizado o método de discos que consiste na retirada de discos foliares de área conhecida em quatro posições do limbo foliar de um conjunto de folhas, evitando-se a amostragem da nervura central, conforme estudos de Gomide et al. (1977). Foram realizados os cortes e retirada de 30 discos de cada amostra, com auxílio de um vazador com área de 1,76 cm². Os discos e as folhas foram acondicionados em sacos de papel, levados a estufa a 60°C até atingir peso constante e depois pesados separadamente em balança analítica.

A AF (cm² planta⁻¹) foi determinada de acordo com a equação:

$$AF = (n^{\circ} \text{ discos} * \text{área de perfuração}) * \frac{(MS \text{ folhas} + \text{discos})}{MS \text{ discos}} \quad [1]$$

Onde n^o discos = número de discos por amostra; Área de perfuração = área de perfuração do disco em mm²; BS Folhas= Biomassa seca total das folhas, em gramas; BS de discos = Biomassa seca do disco, em gramas.

Para a determinação da BSPA (g planta⁻¹) foram recolhidos os caules, acondicionados em sacos de papel, devidamente identificados e depositados em estufa com temperatura constante de 60°C, até que fosse atingida Biomassa seca constante. A partir disso, as amostras foram pesadas em balança de precisão e somadas com o peso das folhas e discos que haviam sido utilizados para determinação da área foliar.

Para as variáveis AP, AF e BSPA das cultivares de feijão e do milho voluntário, utilizou-se o método da análise gráfica da produtividade relativa (Radosevich, 1987). O modelo consiste na construção de um diagrama com base na produtividade relativa (PR) e na produtividade relativa total (PRT) nas proporções de plantas 0; 25; 50; 75 e 100%.

A obtenção dos valores de PR, PRT, dos índices de competitividade relativa (CR), os coeficientes de agrupamento relativo (K) e a agressividade (A), e a estatística referente foram realizadas conforme Bianchi et al. (2006). Os resultados obtidos para altura de plantas, área foliar e biomassa seca da parte aérea das plantas de feijão e milho voluntário foram expressos em valores médios por planta. Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste Lilliefors. Não sendo necessária a transformação, realizou-se a análise de variância pelo teste F (p ≤ 0,05) e havendo diferença significativa os fatores cultivares e épocas de emergência do milho voluntário, foram comparados pelo teste de Dunnett (p < 0,05) consideraram-se as monoculturas como testemunhas nessa comparação.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise gráfica da AP, referente às combinações das cultivares de feijão com o competidor milho voluntário emergindo nas duas épocas avaliadas, demonstram valores de PR esperados próximos às linhas hipotéticas, revelando que as duas cultivares responderam similarmente à competição com a planta de milho voluntário (Figura 1; Tabela 1).

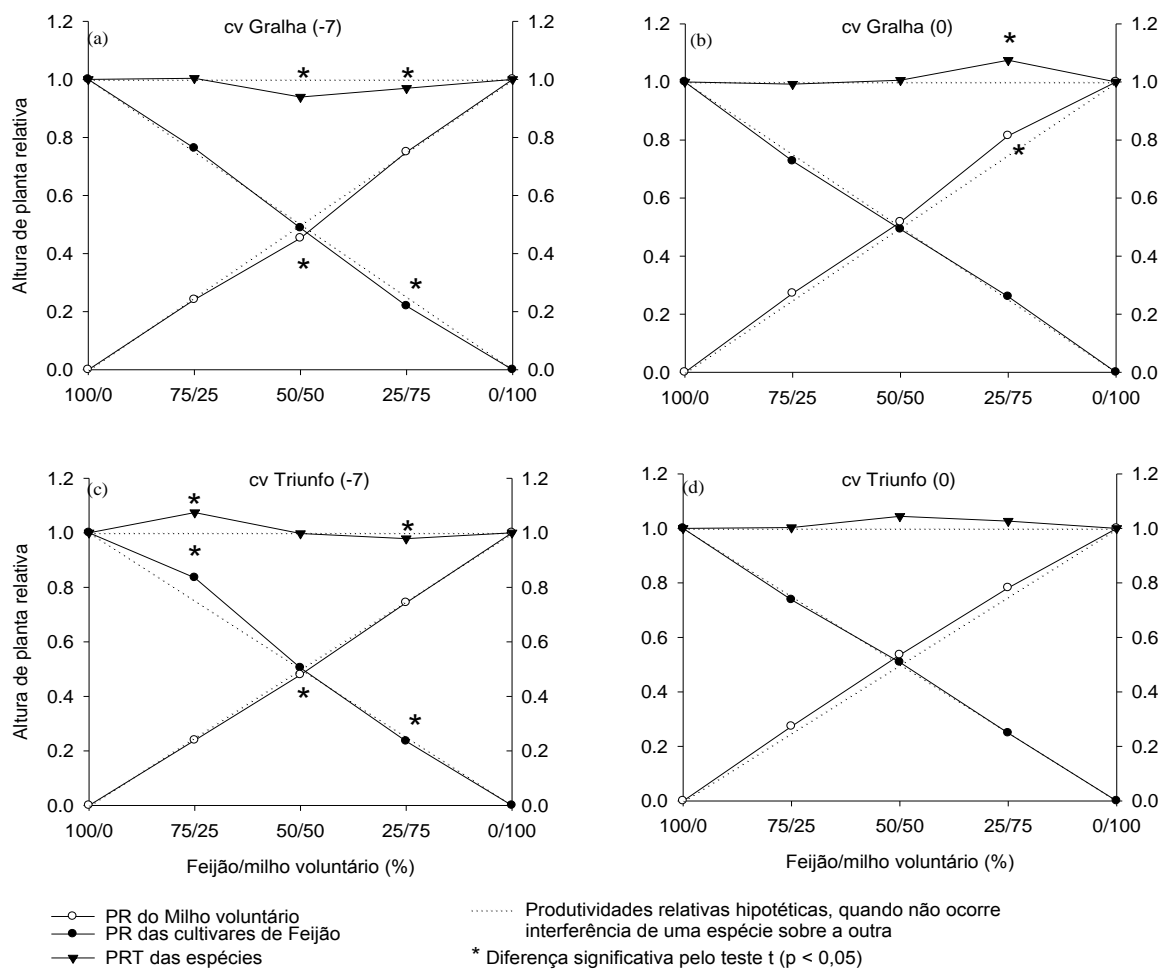


Figura 1 - Diagrama de produtividade relativa da altura de planta, das cultivares de feijão IPR Gralha (a; b) e Fepagro Triunfo (c; d) e o milho voluntário em duas épocas de emergência da planta daninha -7 DAE (a; c) e 0 DAE (b; d) em função da variação da proporção de plantas entre as duas espécies. Frederico Westphalen, RS, 2018.

Tabela 1 - Diferenças de produtividade relativa (DPR) e de produtividade relativa total (PRT) das variáveis, altura de planta, área foliar e biomassa seca da parte aérea de dois cultivares de feijão e do competidor milho voluntário, emergindo sete dias antes (-7 DAE) e simultaneamente (0 DAE) em relação à cultura, aos 35 dias após a emergência. Frederico Westphalen, RS, 2018

Cultivar / época de emergência	Proporção de plantas (feijão: milho voluntário)		
	75/25	50/50	25/75
	Altura de planta		
DPR Galha	0,01(0,03) ^{ns}	-0,01(0,02) ^{ns}	-0,03(0,02)*
DPR Milho -7 DAE	-0,02(0,02) ^{ns}	-0,09(0,04)*	0,02(0,04) ^{ns}
PRT	1,01(0,05) ^{ns}	-0,12(0,05)*	-0,09(0,03)*
DPR Galha	-0,02(0,02) ^{ns}	-0,01(0,03) ^{ns}	-0,01(0,01) ^{ns}
DPR Milho 0 DAE	0,06(0,02) ^{ns}	0,03(0,03) ^{ns}	0,10(0,02)*
PRT	1,01(0,02) ^{ns}	1,04(0,05) ^{ns}	1,13(0,01)*
DPR Triunfo	0,09(0,04)*	0,00(0,03) ^{ns}	-0,01(0,00)*
DPR Milho -7 DAE	-0,02(0,02) ^{ns}	-0,05(0,02)*	-0,03(0,03) ^{ns}
PRT	1,12(0,04)*	0,99(0,04) ^{ns}	0,96(0,03)*
DPR Triunfo	-0,01(0,03) ^{ns}	-0,01(0,02) ^{ns}	0,00(0,02) ^{ns}
DPR Milho 0 DAE	0,02(0,02) ^{ns}	0,02(0,03) ^{ns}	0,06(0,04) ^{ns}
PRT	1,01(0,03) ^{ns}	1,08(0,03) ^{ns}	1,06(0,05) ^{ns}
	Área Foliar		
DPR Galha	-0,07(0,11) ^{ns}	-0,09(0,11)*	-0,04(0,02)*
DPR Milho -7 DAE	0,09(0,05)*	0,01(0,08) ^{ns}	-0,08(0,05)*
PRT	1,02(0,12) ^{ns}	0,92(0,07)*	0,88(0,04)*
DPR Galha	-0,10(0,04)*	0,05(0,10) ^{ns}	0,05(0,03) ^{ns}
DPR Milho 0 DAE	0,05(0,04) ^{ns}	-0,10(0,04)*	-0,07(0,09) ^{ns}
PRT	0,95(0,03) ^{ns}	0,95(0,07) ^{ns}	0,99(0,08) ^{ns}
DPR Triunfo	-0,09(0,12) ^{ns}	-0,08(0,08)*	-0,12(0,02)*
DPR Milho -7 DAE	-0,01(0,02) ^{ns}	0,00(0,09) ^{ns}	0,04(0,08) ^{ns}
PRT	0,90(0,06)*	0,92(0,06)*	0,91(0,07)*
DPR Triunfo	-0,12(0,06)*	-0,04(0,04) ^{ns}	-0,03(0,00)*
DPR Milho 0 DAE	-0,04(0,01)*	-0,04(0,07) ^{ns}	-0,03(0,12) ^{ns}
PRT	0,84(0,07)*	0,92(0,09) ^{ns}	0,94(0,12) ^{ns}
	Biomassa seca da parte aérea		
DPR Galha	-0,05(0,01)*	-0,08(0,04)*	-0,18(0,03)*
DPR Milho -7 DAE	-0,02(0,04) ^{ns}	0,00(0,03) ^{ns}	0,03(0,04) ^{ns}
PRT	0,93(0,04)	0,92(0,04)*	0,85(0,07)*
DPR Galha	0,02(0,02) ^{ns}	-0,02(0,03) ^{ns}	-0,14(0,08)*
DPR Milho 0 DAE	0,00(0,09) ^{ns}	0,03(0,06) ^{ns}	0,03(0,08) ^{ns}
PRT	1,02(0,09) ^{ns}	1,01(0,08) ^{ns}	0,89(0,07)*
DPR Triunfo	-0,08(0,02)*	-0,08(0,04)*	-0,17(0,05)*
DPR Milho -7 DAE	0,05(0,05) ^{ns}	0,01(0,06) ^{ns}	0,03(0,07) ^{ns}
PRT	0,96(0,04)*	0,93(0,07)*	0,92(0,07)*
DPR Triunfo	-0,02(0,01) ^{ns}	-0,04(0,04) ^{ns}	-0,04(0,05) ^{ns}

DPR Milho 0 DAE	0,19(0,05)*	0,04(0,06) ^{ns}	0,03(0,04) ^{ns}
PRT	1,17(0,10)*	1,00(0,09) ^{ns}	0,99(0,06) ^{ns}

* e ^{ns} significativo e não significativo pelo teste t ($p \leq 0,05$); Valores entre parênteses representam o erro padrão da média. DPR = Diferenças de produtividade relativa; PRT = Produtividade relativa total.

Para haver significância, pelo menos duas proporções de plantas devem diferir significativamente (Bianchi et al., 2006). Apenas a altura da cultivar Triunfo sofreu alteração em pelo menos duas proporções de plantas (75:25 e 25:75), isso quando o milho voluntário emergiu sete dias antes do feijão (Tabela 1; Figura 1c). Na maior proporção da cultura (75:25), houve uma tendência de aumento em altura das plantas de feijão representado pela linha convexa, todavia, quando a população maior é a do milho voluntário (25:75) a altura das plantas de feijão tende à redução, o que é representado pela linha côncava.

Não há modificação na altura das plantas de ambas as espécies quando o milho emerge junto com feijão, em contrapartida, em emergência antecipada do milho voluntário na proporção 75:25, as plantas de feijão foram cerca de 8% mais altas em relação à testemunha na ausência do milho voluntário (Tabela 2). Esse aumento possivelmente está em resposta à fuga a sombra, ou seja, resposta à mudança na qualidade de luz. Nessas condições, ocorre um aumento da biossíntese de auxina que é transportada para a epiderme, responsável pelo controle do alongamento das células. As auxinas interagem também com brassinosteróides, um potente estimulador do crescimento, ainda nessas condições ocorre também a produção de etileno. Hormônios pelos quais são responsáveis pelo alongamento vegetal para a resposta da fuga da sombra (Ruberti et al., 2012).

Tabela 2 - Altura de planta (cm) de cultivares de feijão em diferentes proporções de plantas e época de emergência do milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018

Épocas ¹	Proporção de plantas (feijão/milho voluntário)			
	100/0(T)	75/25	50/50	25/75
-7 DAE	42,0 a	*44,9 b	^{ns} 42,1 a	*38,4 b
0 DAE	42,0 a	^{ns} 41,5 a	^{ns} 42,5 a	^{ns} 41,5 a

* e ^{ns} significativo e não significativo pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam época dentro de cada proporção de plantas pelo teste t ($p \leq 0,05$). ¹ o -7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, e 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão.

Esse aumento pode representar também um fator de busca de adaptação à competição futura com plantas vizinhas em virtude da diminuição da qualidade da luz. A planta expressa o resultado da alteração nos processos fisiológicos relacionados à dinâmica hormonal e à

divisão celular, também podendo causar a redução da capacidade de absorver nutrientes e água e de realizar fotossíntese (Jensen et al., 1998).

Já quando se aumenta a população do milho voluntário em relação ao feijão (25:75), a altura do feijão foi reduzida em comparação com a emergência simultânea. O menor crescimento em altura sugere que a competição pelos recursos do solo ocorreu em maior intensidade, como relatado por Fleck et al. (2006) em trabalho com soja em competição com *Raphanus sativus*. Resultados semelhantes foram verificados na cultura da soja em competição com o capim-arroz (Bastiani et al., 2016) e na cultura do arroz em competição com arroz-vermelho e papuã (Galon et al., 2014).

A PRT da altura de planta diferiu significativamente de 1 (linha reta) para ambos os cultivares de feijão na época de emergência antecipada do milho voluntário (-7). Isto indica que para o cultivar Gralha, emergido após o estabelecimento do milho nas proporções de 75:25 e 50:50, a PRT foi menor que 1 (linha côncava), o qual indica ocorreu competição pelos mesmos recursos do ambiente (Figura 1a e 1b; Tabela 1). Já para cultivar Triunfo na emergência antecipada, o PRT na densidade mais baixa do milho (75:25) sofreu um estímulo, representado pela linha convexa. Em contrapartida, quando a densidade do milho voluntário foi superior (75:25) a PRT reduziu representado pela linha côncava (Figura 1c e 1d; Tabela 1) Pode-se considerar que, de modo geral, para semeadura simultânea os efeitos de uma espécie sobre a outra na competição pelos recursos do ambiente foram pouco visíveis, sendo que a habilidade de uma em interferir sobre a outra quanto à altura foi equivalente. É provável que o menor prejuízo da interação, relativo à altura das plantas, esteja associado à estratégia da planta para captar mais luminosidade, o que leva à formação de colmos mais longos, com menor investimento de energia para o desenvolvimento de folhas (Galon et al., 2011).

Em relação à AF, nos tratamentos com semeadura simultânea houve redução da PR da cultivar Triunfo nas densidades 75:25 e 25:75, representado pela linha côncava (Figura 2b; Tabela 1). Em contrapartida, quando as plantas de milho voluntário emergiram sete dias antes, os efeitos de redução de AF são maiores em ambas as cultivares avaliadas, sendo a PR do feijão representado pela linha côncava nas densidades 50:50 e 25:75. Vale destacar que a PR das plantas de milho voluntário não é afetada pela competição com as plantas de feijão, pois apresentam maior habilidade competitiva pelo fato de utilizar de forma mais eficiente os recursos do meio, independentemente do momento de emergência das plantas.

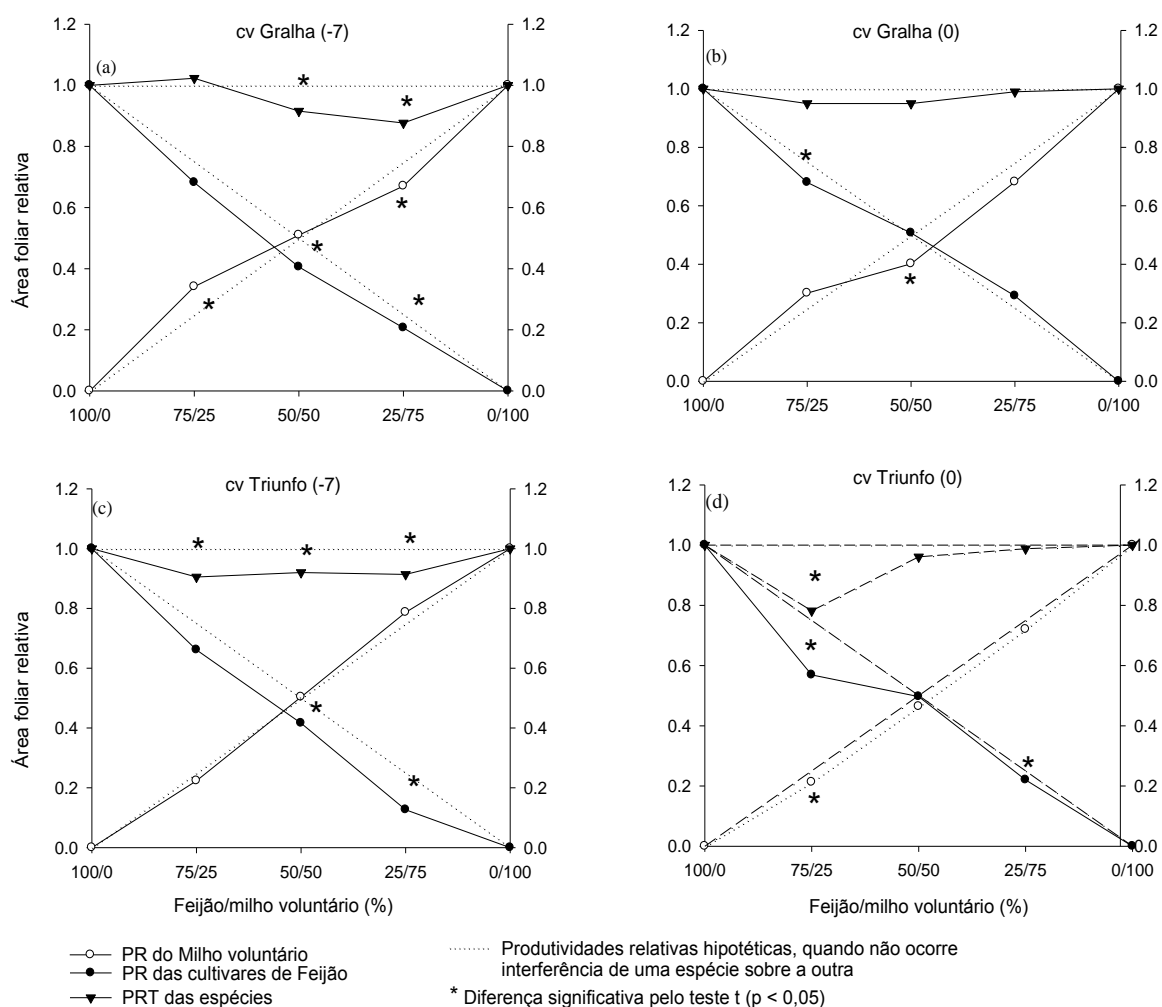


Figura 2 - Diagrama de produtividade relativa da área foliar, das cultivares de feijão IPR Gralha (a; b) e Fepagro Triunfo (c; d) e o milho voluntário em duas épocas de emergência da planta daninha -7 DAE (a; c) e 0 DAE (b; d) em função da variação da proporção de plantas entre as duas espécies. Frederico Westphalen, RS, 2018.

Os resultados de redução da AF estão relacionados à morfologia das plantas de milho, que atingem maior altura e se estabelecem acima da copa das plantas de feijão. A competição ocorre principalmente por luz, acarretando redução na área foliar (Page et al., 2010), além de estarem relacionados ao ciclo C_4 de assimilação de carbono (Kissmann, 1997). Em competição entre Capim-marmelada e soja, em que a habilidade da planta daninha foi maior em relação à cultura. Isso se atribui à produção de grande quantidade de sementes, germinação distribuída com o ciclo da cultura, características morfológicas que resultam na produção vigorosa de folhas e pelo ciclo C_4 de assimilação de carbono (Kissmann, 1997). Características semelhantes a essas são observadas em plantas de milho voluntário quando em competição (Deen et al., 2006; Marquardt et al., 2012; Alms et al., 2016; Sbatella et al., 2016).

A cultivar Gralha produziu menor área foliar (17%) em relação à cultivar Triunfo na proporção 75:25 (Feijão/milho), nos tratamentos com semeadura simultânea. No entanto, quando o milho voluntário emergiu sete dias antes, pode-se verificar, nas densidades maiores (25:75), uma maior capacidade de tolerância à competição da cultivar Gralha, que produziu área foliar cerca de 50% superior à cultivar Triunfo (Tabela 3). Este resultado pode estar relacionado à diferença nas características das cultivares usadas no estudo, haja vista que, embora ambos apresentem hábito de crescimento indeterminado tipo II, a cultivar Gralha possui ciclo mais longo que a cultivar Triunfo. Plantas de ciclo mais longo de cultivares de arroz foram mais competitivas que o arroz vermelho em comparação com cultivares de ciclo curto (Kwon et al., 1991). Para a cultura da soja também foi verificado que, em alguns ambientes, as cultivares de ciclo longo mostram-se mais competitivas (Nordby et al., 2007).

Tabela 3 - Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de cultivares de feijão em diferentes proporções de plantas e época de emergência do milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018

Cultivares	Época ¹	Proporção de plantas (feijão/milho voluntário)			
		100:0(T)	75:25	50:50	25:75
Triunfo	-7 DAE	356,5 Aa	*314,5 Aa	*294,6 Aa	^{ns} 180,7 Bb
Triunfo	0 DAE	356,5 Aa	^{ns} 377,1 Aa	^{ns} 332,3 Aa	^{ns} 270,6 Aa
Gralha	-7 DAE	377,0 Aa	*310,7 Aa	*270,6 Ab	^{ns} 342,9 Aa
Gralha	0 DAE	377,0 Aa	*313,1 Ba	^{ns} 324,1 Aa	*298,6 Aa

* e ^{ns} significativo e não significativo pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam cultivar dentro da época e densidade pelo teste t ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam época dentro da cultivar e densidade pelo teste t ($p \leq 0,05$). ¹ o -7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, e 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão.

Com relação ao PRT, há alteração entre os valores hipotéticos e estimados para a variável AF na maioria dos tratamentos, apresentando valores médios inferiores a 1. Esse efeito não é visto nas simulações das cultivares quando a emergência ocorreu de forma simultânea (Figura 2b; d), porém, na época de emergência antecipada do milho voluntário (Figura 2a; c) há reduções nos valores de AF, representados pela linha côncava. Isso indica que houve competição pelos mesmos recursos do ambiente e na mesma proporção, ocorrendo antagonismo entre as espécies de feijão e milho voluntário (Cousens, 1991).

A PR da BSPA do feijão e do milho voluntário emergindo de forma simultânea, não demonstra diferença entre as proporções testadas, confirmando a ausência de superioridade competitiva entre as plantas para ambos os cultivares de feijão (Figura 3b, d; Tabela 1). O PRT também não foi afetado pela competição nessa mesma época de emergência,

demonstrando que as espécies feijão e milho voluntário não competem pelos recursos do ambiente nessas condições.

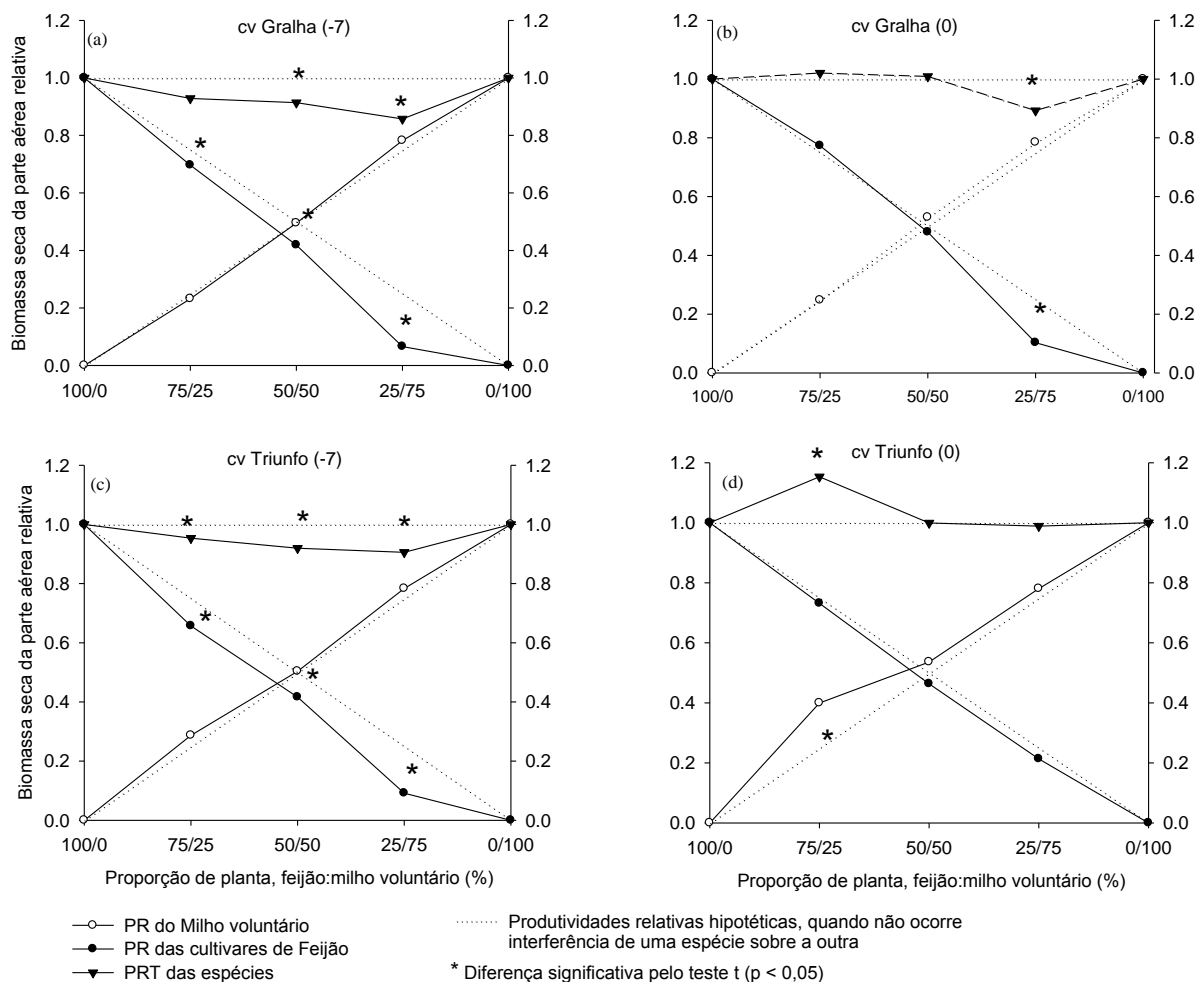


Figura 3 - Diagrama da produtividade relativa da biomassa seca da parte aérea, das cultivares de feijão IPR Galha (a; b) e Fepagro Triunfo (c; d) e o milho voluntário em duas épocas de emergência da planta daninha -7 DAE (a; c) e 0 DAE (b; d) em função da variação da proporção de plantas entre as duas espécies. Frederico Westphalen, RS, 2018

Na emergência antecipada, o milho voluntário mostrou-se mais competitivo que as cultivares de feijão, uma vez que a BSPA do milho voluntário não foi afetada mesmo em competição com altas densidades de plantas de feijão representado pela não modificação da PR em relação à linha hipotética (Figura 3; Tabela 1). Em contrapartida, a PR do feijão para ambos os cultivares foi representada pela linha côncava, demonstrando prejuízo ao feijão em todas as densidades testadas (75:25; 50:50 e 25:75) (Figura 3a, c; Tabela 1). Plantas daninhas com emergência antecipada apresentam maior crescimento por adquirirem vantagem de

acesso prioritário aos recursos do meio, aumentando a habilidade competitiva, afetando a cultura de forma mais severa (Agostinetti et al., 2004).

A PRT da BSPA quando a emergência do milho voluntário é antecipada (-7) foi menor que 1 em ambas as cultivares testadas, mostrando que as espécies de feijão e milho voluntário apresentam prejuízos na associação. Isso reflete que as espécies competem pelos mesmos recursos disponíveis no meio, resultando menor crescimento e desenvolvimento, o que pouco contribui para a PRT (Galon et al., 2011).

Foi verificada maior produção de BSPA das plantas da cultivar Gralha em relação à cultivar Triunfo nas densidades 100:0; 50:50 e 25:75 (Tabela 4). Isso pode ter ocorrido pelo fato da cultivar IPR Gralha apresentar ciclo mais longo de desenvolvimento e pelas próprias características intrínsecas de cada cultivar quando em competição com plantas daninhas (Galon et al., 2011; Wandscheer et al., 2013). Essas diferenças podem servir como um indicador de habilidade competitiva, o maior acúmulo de Biomassa pode indicar que a planta se sobressaiu na utilização dos recursos do meio (Tironi et al., 2014).

Para o fator época de emergência do milho voluntário, não houve diferença entre as cultivares, porém verificou-se redução da produção de BSPA em todas as densidades 75:25; 50:50 e 25:75 quando a emergência do milho voluntário ocorreu de forma antecipada em relação ao feijão (Tabela 4). Ao emergir antes do feijão, o milho voluntário apresentou maior capacidade de extrair os recursos do meio, dominando assim o ambiente, desenvolvendo-se mais que a espécie que emergiu posteriormente (Tironi et al., 2014). Resultados similares foram observados para cultura da cevada que apresentou maior habilidade competitiva que o azevém e o nabo quando esta emergiu oito dias antes que as plantas daninhas (Tironi et al., 2014).

Tabela 4 - Biomassa seca da parte aérea (g planta⁻¹) de cultivares de feijão em diferentes proporções de plantas e época de emergência do milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018

Cultivar	Proporção de plantas (feijão/milho voluntário)			
	100:0(T)	75:25	50:50	25:75
Triunfo	2,22 B	^{ns} 1,92 A	*1,88 B	*1,78 B
Gralha	2,58 A	^{ns} 2,42 A	^{ns} 2,26 A	*2,42 A
Época ¹	100:0(T)	75:25	50:50	25:75
-7 DAE	2,40 a	*1,82 b	*1,86 b	*1,76 b
0 DAE	2,40 a	^{ns} 2,10 b	^{ns} 2,28 a	^{ns} 2,44 a

* e ^{ns} significativo e não significativo pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam cultivar dentro da densidade pelo teste t ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas comparam época dentro da densidade pelo teste t ($p \leq 0,05$). ¹ o -7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, e 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão.

A competitividade relativa (CR) referente à altura das plantas de feijão da cultivar Gralha superou a do milho voluntário nos tratamentos com emergência simultânea. O resultado representa a dominância da cultura sobre a competidora, o que não foi verificado para a cultivar Triunfo. Todavia, quando a emergência do milho voluntário ocorreu antes do feijão a CR apresentou valor menor que 1, indicando maior habilidade competitiva do milho voluntário (Tabela 5). Para comprovar a superioridade competitiva, é necessária a ocorrência de diferenças em pelo menos 2 índices (Bianchi et al., 2006).

Tabela 5 - Índices de competitividade de cultivares de feijão e milho voluntário, expressos por competitividade relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (Ka e Kb) e agressividade (A), obtidos em experimentos conduzidos em séries substitutivas. Frederico Westphalen, RS, 2018

Plantas / épocas ¹	CR	Ka (feijão)	Kb (milho)	A
	Altura de planta			
Gralha x milho -7 DAE	0,77(0,04)*	0,95(0,06)*	1,07(0,29)	-0,04(0,01)*
Gralha x milho 0 DAE	1,22(0,11)*	0,98(0,12)*	0,90(0,06)	0,02(0,01)*
Triunfo x milho -7 DAE	1,12(0,10) ^{ns}	0,83(0,11)*	1,02(0,07)	0,01(0,01) ^{ns}
Triunfo x milho 0 DAE	0,99(0,09) ^{ns}	1,04(0,08) ^{ns}	1,08(0,14)	0,00(0,02) ^{ns}
	Área foliar			
Gralha x milho -7 DAE	0,83(0,36) ^{ns}	0,74(0,40) ^{ns}	1,08(0,34)	-0,03(0,05) ^{ns}
Gralha x milho 0 DAE	1,39(0,37) ^{ns}	1,29(0,52) ^{ns}	0,68(0,12)	0,04(0,03) ^{ns}
Triunfo x milho -7 DAE	0,87(0,32) ^{ns}	0,73(0,22) ^{ns}	1,06(0,34)	-0,02(0,03) ^{ns}
Triunfo x milho 0 DAE	0,99(0,16) ^{ns}	0,84(0,13) ^{ns}	0,89(0,25)	0,00(0,02) ^{ns}
	Biomassa seca da parte aérea			
Gralha x milho -7 DAE	0,85(0,10)*	0,72(0,11)*	0,99(0,13)	-0,02(0,01)*
Gralha x milho 0 DAE	0,91(0,10) ^{ns}	0,92(0,09) ^{ns}	1,16(0,31)	-0,01(0,01) ^{ns}
Triunfo x milho -7 DAE	0,82(0,19)*	0,75(0,13)*	1,07(0,14)	-0,02(0,01)*
Triunfo x milho V. 0 DAE	0,87(0,11) ^{ns}	0,87(0,14) ^{ns}	1,19(0,31)	-0,02(0,02) ^{ns}

* e ^{ns} significativo e não significativo pelo teste t a $p \leq 0,05$; Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média. Ka e Kb = Coeficientes de agrupamento relativo do feijão e do milho voluntário, respectivamente; CR = Competitividade relativa; K = Coeficiente de agrupamento relativo; A= Agressividade. ¹ o -7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, e 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão.

Ainda relacionado à AP conforme indicado pelos índices K e A, há uma vantagem competitiva da cultivar IPR Gralha sob o milho voluntário com emergência na mesma época, porém a habilidade competitiva dessa cultivar é superada quando o milho voluntário emerge sete dias antes do seu estabelecimento. Verificaram-se resultados semelhantes de superioridade competitiva para a cultura do feijão em competição com papuã, emergindo junto com a cultura (Passini et al., 2003). No entanto, estudos relacionados à emergência antecipada de plantas daninhas em convivência com a cultura do feijão não são encontrados na literatura ainda mais em convivência com milho voluntário.

Não houve diferença significativa do CR, K e A para a variável AF (Tabela 5). No entanto, para a BSPA pode-se verificar que o CR do feijão de ambos os cultivares ficou abaixo de 1 quando o feijão competiu com o milho voluntário emergindo sete dias antes da cultura. Já quando o milho voluntário emerge junto com a cultura, o CR não foi significativo. Isso ocorreu também para os índices K e A, mostrando a vantagem competitiva das plantas de milho voluntário sobre ambos os cultivares de feijão quando a emergência do milho voluntário ocorre de forma antecipada (Tabela 5).

Vários autores relataram o uso dos índices para avaliar superioridade competitiva das culturas e suas competidoras: o nabo forrageiro foi mais competitivo que genótipos de soja (Bianchi et al., 2006); o azevém (*Lolium multiflorum* L.) demonstrou maior habilidade competitiva que cultivares de cevada (*Hordeum vulgare*) (Galon et al., 2011); o arroz (*Oryza sativa*) se sobressaiu em relação ao milhã (*Digitaria horizontalis*) (Agostinetto et al., 2013); houve maior crescimento do genótipo de arroz, em relação ao competidor papuã (*Brachiaria plantaginea*) (Galon et al., 2014), todavia, resultados de habilidade competitiva de culturas com plantas daninhas voluntárias ainda são escassos na literatura.

Os resultados obtidos permitem concluir que, de maneira geral, as cultivares de feijão IPR Gralha e Fepagro Triunfo não se distinguem entre si quando em competição com o milho voluntário, rejeitando a hipótese de alteração da habilidade competitiva de cultivares de ciclo mais longo. Quando a emergência dos competidores ocorre de forma simultânea, a habilidade competitiva é equivalente, rejeitando a hipótese de superioridade competitiva do milho voluntário em relação ao feijão, em proporções semelhantes. Em contrapartida, o milho voluntário é mais competitivo que o feijão quando a emergência ocorre de forma antecipada, confirmando a última hipótese. Desta forma, verifica-se a importância da semeadura da cultura em solo livre de infestação de plantas daninhas de milho voluntário.

2.4 REFERÊNCIAS

Agostinetto D. et al. Habilidade competitiva relativa de milha em convivência com arroz irrigado e soja. **Pesqui. Agropec. Bras.** 2013;48:1315-22.

Agostinetto D. et al. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz-vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz-vermelho. **Planta Daninha.** 2004;22:175-83.

Alms J. et al. Yield loss and management of volunteer corn in soybean. **Weed Technol.** 2016;30:254-62.

Bastiani M.O et al. Competitividade relativa de cultivares de soja com capim-arroz. **Bragantia.** 2016; 75:435-45.

Bennett A. C., Shaw D. R. Effect of Glycine max cultivars and weed control on weed seed characteristics. **Weed Sci.** 2000;48:431-35.

Bianchi M. A., Fleck N. G., Lamego F. P. Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. **Ci Rural.** 2006;36:1380-87.

Carvalho F.P. et al. Alocação de Biomassa seca e capacidade competitiva de cultivares de milho com plantas daninhas. **Planta daninha.** 2011;29:373-82.

Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Décimo primeiro levantamento, agosto 2017 – safra 2016/2017.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS>. Acesso em: 06 dezembro. 2017.

Cousens R. Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. **Weed Technol.** 1991;5:664-73.

Deen W. et al. Control of volunteer glyphosateresistant corn (*Zea mays*) in glyphosate resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technol.** 2006;20:261-66.

Fleck N.G. et al. Interferência de *Raphanus sativus* sobre cultivares de soja durante a fase vegetativa de desenvolvimento da cultura. **Planta Daninha**. 2006;24:425-34.

Galon L. et al. Habilidade competitiva de cultivares de cevada convivendo com azevém. **Planta Daninha**. 2011;29:771-81.

Galon L. et al. Interação competitiva de genótipos de arroz e papuã. **Planta Daninha**. 2014; 32: 533-42.

Jensen P.J. et al. Auxin transport is required for hypocotyl elongation in light-growth but not dark-growth Arabidopsis. **Plant Physiol**. 1998;116:455-62.

Kissmann K.G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2. ed. São Paulo: BASF Brasileira S.A., 1997. 825p.

Kniss A.R., Sbatella G.M., Wilson R.G. Volunteer glyphosate resistant corn interference and control in glyphosate resistant sugar beet. **Weed Technol**. 2012;26:348–55.

Kwon S.L., Smith J.R., Talbert, R. E. Interference durations of red rice (*Oryza sativa*) in rice (*Oryza sativa*). **Weed Sci**. 1991;39:363-68.

Lamego F. P. et al. Tolerância a interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja – II respostas de variáveis de produtividade. **Planta Daninha**. 2004; 22: 491-98.

Marquardt P.T., Krupde C., Johnson W.G. Competition of transgenic volunteer corn with soybean and the effect on western corn rootworm emergence. **Weed Sci**. 2012;60:193-98.

Nordby D. E., Alderks D. L., Nafziger E. D. Competitiveness with weeds of soybean cultivars with different maturity and canopy width characteristics. **Weed Technol**. 2007;21:1082-88.

Page E.R. et al. Shade avoidance: an integral component of crop-weed competition. **Weed Res**. 2010;50:281-88.

Passini T., Christoffoleti P.J., Yada I.F.U. Competitivity of the common-bean plant relative to the weed alexandergrass [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.]. **Sci Agric.** 2003;60:259-68.

Radosevich S. R., Hold J. S., Ghera C. M. **Ecology of Weeds and Invasive Plants.** 3. Ed. New York: Wiley, 2007.

Radosevich S.R. Methods to study interactions among crops and weeds. **Weed Technol.** 1987;1:190-98.

Sbatella G.M et al. Volunteer Corn (*Zea mays*) Interference in Dry Edible Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technol.** 2016;30:937-42.

Thomas W.E. et al. Glyphosate-resistant corn interference in glyphosate-resistant cotton. **Weed Technol.** 2007;21:372-77.

Tironi S.T. et al. Época de emergência de azevém e nabo sobre a habilidade competitiva da cultura da cevada. **Ci Rural.** 2014;9:1527-33.

Vandevender K.W., Costello T.A., Smith R.J. Model of rice (*Oryza sativa*) yield reduction as a function of weed interference. **Weed Sci.** 1997;45:218-24.

Wandscheer A. C. D., Rizzardi M. A. Interference of soybean and corn with *Chloris distichophylla*. **Cienc e Agrotec.** 2013;37:306-12.

3 ARTIGO II - INTERFERÊNCIA DE MILHO VOLUNTÁRIO SOBRE OS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E FISIOLÓGICOS DO FEIJÃO.

Formatado para o periódico: Revista Planta Daninha

Interferência de milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento e fisiológicos do feijão

Voluntary corn interference on the growth and physiological parameters of the bean

RESUMO – O estudo tem por objetivo avaliar o efeito da interferência da época de emergência do milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento, pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz. O estudo foi conduzido em delineamento experimental inteiramente ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 + 2$ com quatro repetições, sendo duas cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) competindo com milho voluntário emergindo sete dias antes e simultaneamente à emergência do feijão, além do particionamento da competição por luz e solo+luz e duas testemunhas sem competição. Foram determinados os teores de clorofila *a*, *b*, *totais* (*a + b*) e de carotenóides totais, medições de fluorescência da clorofila e variáveis de crescimento do feijão. O milho voluntário afeta negativamente as plantas de feijão quando presente no mesmo ambiente, sendo mais competitivo quando emerge sete dias antes. Quando a competição se estabelece pelo recurso luz, pode-se notar uma redução dos pigmentos fotossintéticos e das variáveis morfológicas das plantas de feijão. Já quando a competição ocorre pelos recursos de solo+luz nota-se um efeito de redução não apenas dos pigmentos fotossintéticos e das características morfológicas, como alteração das variáveis de fluorescência da clorofila, indicando maior estresse causado pelo milho voluntário. Há uma correlação forte entre as variáveis de crescimento das plantas de feijão e a fluorescência da clorofila o que a torna uma importante ferramenta de análise usada para quantificar o estresse causado pelas plantas daninhas.

Palavras chave: Fluorescência da clorofila, pigmentos fotossintéticos, época de emergência, competição, radiação solar, solo.

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the effect of volunteer corn emergence on growth parameters, photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of bean cultivars in competition for light and soil+light resources. The study was conducted in a completely randomized experimental design, in a $2 \times 2 \times 2 + 2$ factorial scheme with four replicates, two bean cultivars (IPR Gralha and Fepagro Triunfo) competing with volunteer maize emerging seven days before and simultaneously with the emergence of the bean, besides partitioning of competition by light and soil+light and two witnesses without competition. Chlorophyll *a*, *b*, total (*a + b*) and total carotenoid contents, chlorophyll

fluorescence measurements and bean growth variables were determined. Voluntary corn adversely affects bean plants when present in the same environment, being more competitive when emerged seven days earlier. When the competition is established by the light resource, a reduction of the photosynthetic pigments and the morphological variables of the bean plants can be noticed. However, when competition occurs by soil+light resources, a reduction effect is observed not only on photosynthetic pigments and on morphological characteristics, but also on changes in chlorophyll fluorescence variables, indicating greater stress caused by volunteer corn. There is a strong correlation between bean plant growth variables and chlorophyll fluorescence, which makes it an important analytical tool used to quantify weed stress.

Key words: Chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, emergency season, competition, solar radiation, soil.

3.1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma das culturas mais difundidas no Brasil, por constituir, juntamente com o arroz, alimento básico para população (Cury et al., 2011). Para que o feijoeiro expresse o máximo do seu potencial produtivo, é necessário o controle de fatores limitantes, entre os quais se destaca a competição imposta pelas plantas daninhas (Cury et al., 2013).

Em um sistema de cultivo de segunda safra, o feijão-comum se tornou uma opção no sistema de sucessão após o milho na região Sul do Brasil. A partir disso, sementes de milho que permanecem no campo em pós-colheita germinam durante o cultivo do feijão, podendo se tornar uma planta voluntária problemática nessas condições (Alms et al., 2016; Sbatella et al., 2016).

Nestas condições, o milho voluntário possui uma capacidade de germinar de forma escalonada na lavoura de feijão, e a diferença na época de emergência em relação ao feijão pode modificar consideravelmente a capacidade competitiva das espécies envolvidas. Plantas daninhas com emergência antecipada apresentam maior crescimento por adquirirem vantagem de acesso prioritário aos recursos do meio, aumentando a habilidade competitiva (Agostinotto et al., 2004). No entanto, plantas daninhas que emergem após o estabelecimento das culturas, em geral, exercem menor impacto, pois grande parte da interferência ocorre após a definição dos componentes de rendimento (Vandevender et al., 1997).

Embora a competição seja integrada, estudos que isolam os fatores de competição favorecem a compreensão dos mecanismos de competição (McPhee e Aarssen, 2001). Um exemplo disso é a respostas das plantas ao estresse luminoso, em que as alterações são múltiplas, podendo provocar modificação no sistema radicular e redução da área de exploração, que afetam diretamente as taxas de absorção de água e nutrientes (Taiz e Zeiger, 2013).

Fatores abióticos, como déficit hídrico, esgotamento de nutrientes e efeito da qualidade e quantidade da radiação, são os principais influenciadores da capacidade fotossintética das plantas em convivência (Afifi e Swanton, 2012). O teor de pigmentos fotossintéticos é um indicador importante da capacidade fotoquímica das plantas (Dai et al., 2017), pois a clorofila *a* favorece a absorção de luz de onda longa, a clorofila *b* funciona para luz de onda curta, e os carotenóides absorvem luz de outros comprimentos de onda, além de serem antioxidantes endógenos e protegerem a clorofila de danos fotodinâmicos (Brody, 2002). Nesse sentido, alterações nos parâmetros relacionados à fotossíntese podem ser indicativos do dano competitivo às plantas (Dai et al., 2017; Ulguim et al., 2017).

Outro parâmetro usado em estudos de estresse é a fluorescência da clorofila *a*, por ser um método não destrutivo e que permite analisar de forma qualitativa e quantitativa a absorção, o aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II, e possíveis relações com a capacidade fotossintética (Netto et al., 2005). O uso dos parâmetros de fluorescência permite avaliar o efeito de vários tipos de estresses bióticos e abióticos como déficit hídrico (Silva et al., 2015), salinidade (Yan et al., 2012), luminosidade (Schock et al., 2014), temperatura (Perboni et al., 2015), danos por insetos (Huang et al., 2013), doenças (Costa et al., 2009) e metais pesados (Ferreira et al., 2015). No entanto, a utilização destes parâmetros de fluorescência para expressar danos causados pela competição de plantas daninhas não são encontrados na literatura.

Diante disso, o estudo tem por objetivo avaliar o efeito da interferência da época de emergência do milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento, pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agrônomicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Campus de

Frederico Westphalen, RS, nos meses de novembro e dezembro de 2016. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 + 2$, onde os fatores consistiram de duas cultivares de feijão IPR Gralha e Fepagro Triunfo em competição com milho voluntário emergindo sete dias antes (-7 DAE) e simultaneamente à emergência (0 DAE) do feijão, além do fator de partição da competição entre o feijão e milho voluntário por luz e solo+luz. Foram utilizadas ainda duas testemunhas sem competição pela suspeita de que os copos utilizados para separar a competição pelos recursos do solo pudessem interferir no desenvolvimento das plantas de feijão (Figura 1)

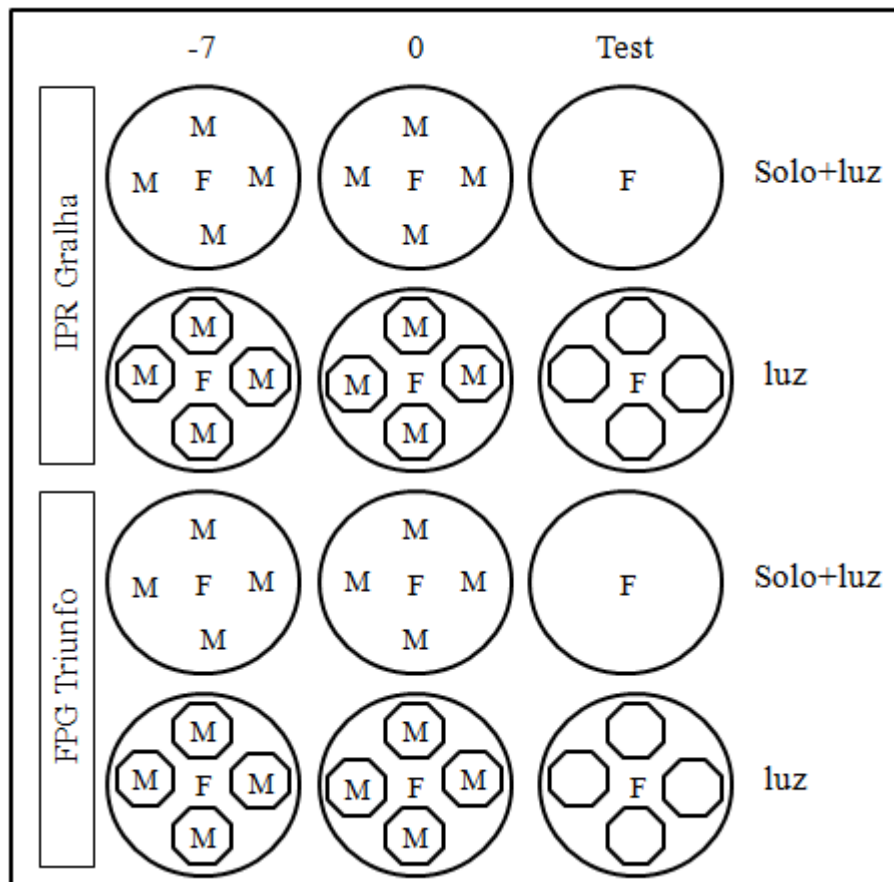


Figura 1 – Esquema representando os tratamentos, de acordo com os fatores de competição entre feijão e milho voluntário, Frederico Westphalen, RS, 2018

A cultivar IPR Gralha apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo II, porte ereto, ciclo médio de 93 dias, com tolerância à seca e alta temperatura durante a fase reprodutiva, destaca-se pela sua rusticidade, apresentando resistência às principais doenças. A cultivar Fepagro Triunfo apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo II, porte ereto, ciclo médio de 75 dias, resistentes ao acamamento, e bom nível de tolerância a moléstias.

As unidades experimentais foram constituídas de vasos de plástico de 5,5 L com 18,5 cm de diâmetro, preenchidos com substrato. A fim de separar as condições de competição

entre o feijão e o milho voluntário (luz e luz+solo) foram colocados dentro dos vasos quatro copos de 500 mL (12,6 x 9 cm – altura x diâmetro do copo), de forma equidistantes, com o intuito de separar a competição entre o sistema radicular do feijão e das plantas de milho (competição por luz). Nesses copos, foi estabelecida uma planta de milho voluntário por copo com origem de sementes F2 do híbrido DKB 240. No centro do vaso, foi estabelecida apenas uma planta de feijão. Com o intuito de estabelecer as épocas de emergência do milho voluntário foi realizada a semeadura do milho antecipadamente à semeadura do feijão para que aquele emergisse sete dias antes da emergência do feijão (-7 DAE), e a semeadura simultânea do milho voluntário e o feijão (0 DAE). O manejo da irrigação foi realizado diariamente de acordo com a necessidade da cultura (Figura 1).

Aos 28 dias após a emergência (DAE) do feijão, foram coletadas amostras (quatro discos foliares do folíolo lateral esquerdo do segundo trifólio do feijão) para em laboratório, determinar a quantidade de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, totais (*a+b*) e carotenóides) pelo método extraível. As amostras foram maceradas com 5mL de acetona 80% (v/v) e transferidas para provetas ajustando-se o volume para 8 mL e em seguida centrifugadas a 4000 rpm por 3 minutos. O sobrenadante transferido para tubos de ensaio e completando-se para o volume de 8 ml de acetona 80% (v/v). Os teores de clorofila *a*, *b*, totais (*a + b*) e de carotenóides totais foram calculados a partir da absorbância do sobrenadante da solução obtida por espectrofotometria a 645, 663 e 480 nm, (Lichtenthaler, 1987) sendo os resultados expressos em mg g⁻¹ de massa fresca.

Aos 30 DAE da emergência do feijão foram realizadas as medições dos parâmetros de fluorescência da clorofila, no folíolo central do segundo trifólio das plantas de feijão utilizando-se um fluorômetro modulado em amplitude de pulso (JUNIOR-PAM, Walz, Effeltrich, Alemanha). As plantas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos, usando folhas de papel alumínio. O nível de fluorescência mínimo no estado de adaptação escuro (F_0) foi medido usando um pulso modulado ($<0,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para 1,8 μs). A fluorescência máxima neste estado (F_m) foi medida após a aplicação de um pulso de luz actínica de saturação de $10.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 0,6 s.

Usando os parâmetros de fluorescência determinados em ambos os estados adaptados à luz e ao escuro, as seguintes variáveis foram calculadas: a eficiência quântica efetiva do PSII ($Y(\text{II})$) calculada pela equação $Y(\text{II}) = (F_m' - F')/F_m'$, onde F_m' e F' correspondem a F_m e F_0 após o segundo pulso de luz saturante (Genty et al., 1989), e a extinção não fotoquímica (NPQ) ($\text{NPQ} = F_m/F_m' - 1$), que está linearmente relacionada à dissipação de calor (Maxwell; Johnson, 2000).

A taxa máxima de transporte de elétrons (ETR) foi avaliada através de curvas de luz (ETR versus radiação fotossinteticamente ativa, PAR), onde cada amostra foi sujeita a nove níveis de radiação (0, 125, 190, 285, 420, 625, 820, 1.150 e 1.500 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por 10 segundos e os pontos da curva ajustados pela equação $\text{ETR} = \text{ETR} [1 - e^{-kQ}]$, onde k é uma constante de ajuste e Q é a intensidade da luz (Rascher et al., 2000).

A taxa de transporte de elétrons foi calculada de acordo com a equação: $\text{ETR} = \text{PAR} \times 0,84 \times 0,5 \times Y(\text{II})$, sendo PAR a radiação aplicada, o valor 0,84 correspondente à proporção de fótons absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos, o valor 0,5 correspondente à proporção de fótons absorvidos pelo PSII em relação ao total de fótons absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos e $Y(\text{II})$, o rendimento quântico efetivo do PSII (Edwards; Baker, 1993), uma estimativa para a densidade de fluxo de fótons absorvida pelo PSII.

Aos 32 DAE, foram determinadas a altura de planta (AP), medindo-se a distância da base do colo até o ápice da folha mais desenvolvida expressa em centímetros (cm); o diâmetro do caule (DC) medindo-se a espessura do caule do feijão próximo ao solo, com auxílio de um paquímetro digital, expresso em milímetros (mm) e o comprimento do sistema radicular (CR), medido do coleto da plântula até a coifa da raiz, expresso em cm.

Após essas aferições, os materiais foram acondicionados em sacos de papel, devidamente identificados e depositados em estufa com temperatura constante de 60°C, até que fosse atingida massa seca constante, e a partir disso as amostras foram pesadas em balança de precisão. Foi determinada, então, a Biomassa seca total das plantas de feijão (BST), sendo o resultado expresso em gramas (g).

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste Lilliefors, e não sendo necessária a transformação, realizou-se a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Havendo diferença significativa os fatores cultivares, épocas de emergência do milho voluntário e as condições de competição foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Foi elaborada ainda a matriz de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suspeita dos copos utilizados para separar a condição de competição por recursos do solo de interferir no desenvolvimento das plantas de feijão se confirmou. Dessa forma, o fator época de emergência do milho voluntário e cultivar foram comparados dentro de cada fator de condição de competição (solo+luz e luz).

Houve redução na altura das plantas de feijão (AP) quando em competição com o milho voluntário emergindo de forma antecipada, isso quando a competição se estabeleceu pelos recursos abaixo e acima do solo (Tabela 1). Em contrapartida, quando a competição se estabeleceu apenas pela luz, não houve alteração no desenvolvimento em altura do feijão.

O menor crescimento em altura do feijão sugere que a competição pelos recursos do solo ocorreu em maior intensidade, assim como na competição entre soja e *Raphanus sativus* relatado por Fleck et al. (2006). Resultados semelhantes de redução da altura foram verificados na cultura da soja em competição com o capim-arroz (Bastiani et al., 2016) e arroz com arroz-vermelho e papuã (Galon et al., 2014).

O fato do milho voluntário ser capaz de suprimir a altura do feijão somente quando emergiu sete dias antes da cultura, está relacionado ao maior crescimento do milho, uma vez que a Biomassa seca total foi 39% maior comparado com milho voluntário com emergência simultânea ao feijão, justificando a maior interferência sobre o feijão (dados não apresentados).

O diâmetro do caule (DC) do feijão foi reduzido quando em competição com o milho voluntário (Tabela 1). Quando em competição pelos recursos do solo e parte aérea, houve redução do DC em 18 e 34% quando a emergência do milho ocorreu de forma simultânea e antecipada ao feijão, respectivamente. No entanto, quando a competição se estabeleceu apenas pelo recurso luz, o DC do feijão foi reduzido apenas quando o milho voluntário emergiu sete dias antes.

O comprimento radicular (CR) do feijão foi reduzido em 26 e 41% quando a emergência do milho voluntário ocorreu de forma simultânea e antecipada, respectivamente, na competição de solo+luz (Tabela 1). Já quando a competição se estabeleceu pelo recurso luz, houve redução do CR independente da época de emergência do milho voluntário. Em relação às cultivares, pode-se observar um maior comprimento radicular da cultivar Gralha em comparação á Triunfo, quando a competição se estabeleceu pelo recurso luz.

Tabela 1 - Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), comprimento de raiz (CR) e relação altura/comprimento de raiz (AP/CR) de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz Frederico Westphalen, RS, 2018

Época/Cultivar	Competição solo+luz	Competição luz
	AP (cm)	
7 DAE ²	42,8 b ¹	48,6 a
0 DAE	49,8 a	50,5 a
Testemunha	49,7 a	48,2 a
CV(%) ³	7,3	6,2
Época	DC (mm)	
7 DAE	4,29 c	5,31 b
0 DAE	5,32 b	6,07 a
Testemunha	6,49 a	6,20 a
CV (%)	8,5	5,2
Época	CR (cm)	
7 DAE	29,9 c	43,5 b
0 DAE	37,7 b	45,3 b
Testemunha	50,9 a	56,3 a
CV (%)	15,1	14,3
Cultivar	CR (cm)	
Triunfo	39,6 a	43,3 b
Gralha	39,4 a	51,7 a
CV(%)	15,1	14,3
Época	AP/CR	
7 DAE	1,45 a	1,12 a
0 DAE	1,33 a	1,14 a
Testemunha	0,99 b	0,94 a
CV (%)	10,9	18,8

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário ou cultivares de feijão pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ²7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

A presença do competidor milho aumentou a relação entre altura/comprimento do sistema radicular do feijão em comparação com a testemunha, independente da época de emergência do milho voluntário (Tabela 1). Isso vale para competição pelos recursos do solo e da parte aérea, pois quando a competição se estabeleceu apenas por luz não houve alteração dessa relação em comparação com a testemunha. As plantas são capazes de perceber a

presença de plantas daninhas em sua fase inicial de desenvolvimento e redirecionar o fluxo de fotoassimilados em função da qualidade de radiação luminosa interceptada pelas plântulas (Vidal e Merotto Jr., 2010), nesse sentido, a maior alocação de recursos pode ter sido direcionada para a parte aérea do feijão quando em competição. Esta resposta pode ser vista em plantas de trigo na presença dos competidores azevém e nabo, também apresentaram aumento na relação altura/comprimento do sistema radicular (Lamego et al., 2015).

O percentual de redução da BST varia de acordo com a quantidade de recursos do ambiente disponíveis às plantas que estão crescendo em convivência (Rizzardi et al., 2004). Assim, quando o milho se estabeleceu antecipadamente em relação ao feijão, a MST foi reduzida em 75%, enquanto que na emergência simultânea, a redução foi de 51%, na concorrência por recursos do solo e parte aérea. (Tabela 2). Em contrapartida, quando a competição se estabeleceu apenas por luz, só houve redução da BST quando o milho emergiu sete dias antes do feijão. Já entre as cultivares, pode-se verificar uma maior produção de BST da cultivar Gralha em relação a Triunfo, mas apenas quando a competição se estabeleceu pelo recurso luz. A grande parte do dano à BST se deve à baixa habilidade competitiva do feijão, que é enquadrado no grupo de culturas agrícolas que menos sombreiam o solo, o que expõe a cultura à intensa interferência de plantas daninhas (Teixeira et al., 2009).

Tabela 2 - Biomassa seca total (BST) de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz, Frederico Westphalen, RS, 2018

Época/Cultivar	Competição solo+luz	Competição luz
	BST (g)	
7 DAE ²	3,73 c ¹	9,06 b
0 DAE	7,32 b	11,6 a
Testemunha	14,8 a	11,8 a
CV (%) ³	18,2	16,4
Cultivar	BST (g)	
Triunfo	8,41 a	9,98 b
Gralha	8,80 a	11,7 a
CV(%)	18,2	16,4

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário ou cultivares de feijão pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05). ² 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

Cultivares de feijão, quando em competição com as espécies *Bidens pilosa* e *Cenchrus echinatus*, obtiveram produções de aproximadamente 38 e 51% de Biomassa seca total da

testemunha livre de competição, respectivamente (Cury et al., 2011). No mesmo estudo os autores verificaram ainda que em competição com *Euphorbia heterophylla* e *Commelina benghalensis*, o feijoeiro obteve produções de aproximadamente 50 e 61% de Biomassa seca total, respectivamente, em relação às testemunhas ausentes de competição.

A competição com o milho voluntário reduziu os teores de clorofila *a*, *b* e *a+b* do feijão em média em 14, 5 e 11% respectivamente, na condição de competição total e na condição de competição por luz em média em 8, 6 e 7% (Tabela 3). Tanto para competição total quanto para competição apenas pelo recurso luz, pode-se notar redução nos teores de clorofila, no entanto não há diferença dos teores quanto à época de emergência do milho voluntário. Em relação às cultivares avaliadas neste estudo, pode-se verificar uma maior quantidade de clorofila *a*, *b* e *a+b* produzido nas folhas das cultivar Triunfo em relação à cultivar Gralha isso em competição pelos recursos presentes abaixo e acima da superfície do solo (Tabela 3). Quando a competição se estabeleceu apenas por luz, os resultados foram similares, não havendo diferença significativa entre as cultivares apenas para clorofila *b*.

A redução dos teores de clorofilas das folhas é um indicativo de estresses bióticos ou abióticos que modificam a absorção de luz e a eficiência fotoquímica, reduzindo o poder de assimilação de CO₂, com alterações fisiológicas na atividade fotossintética (Baker e Rosenqvist, 2004). Quando plantas concorrentes crescem em um mesmo ambiente e estabelecem algumas relações estressantes, como a competição por recursos essenciais ao desenvolvimento vegetal, a falta de algum desses recursos pode afetar o teor de clorofilas das plantas (Amaral et al., 2015).

Na competição de soja com diferentes densidades de plantas daninhas, a redução dos teores de clorofilas é mais acentuada quando a soja é exposta a altas densidades de competidores (Saberália e Mohammadi, 2015), sendo que essa redução pode estar relacionada à menor disponibilidade de nitrogênio no solo em função da competição.

Tabela 3 - Teor de clorofila *a*, *b* e *a+b* (mg g⁻¹ Biomassa fresca) das folhas de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz, Frederico Westphalen, RS, 2018

Época/Cultivar	Competição solo+luz	Competição luz
	Clorofila <i>a</i>	
7 DAE ²	1,29 b ¹	1,41 b
0 DAE	1,36 b	1,40 b
Testemunha	1,54 a	1,53 a
CV (%) ³	3,6	3,2
Cultivar	Clorofila <i>a</i>	
Triunfo	1,45 a	1,49 a
Gralha	1,35 b	1,41 b
CV(%)	3,6	3,2
Época	Clorofila <i>b</i>	
7 DAE	0,76 b	0,76 b
0 DAE	0,77 b	0,76 b
Testemunha	0,80 a	0,81 a
CV (%)	4,2	3,4
Cultivar	Clorofila <i>b</i>	
Triunfo	0,79 a	0,79 a
Gralha	0,75 b	0,77 a
CV(%)	3,6	3,4
Época	Clorofila <i>a+b</i>	
7 DAE	2,05 b	2,18 b
0 DAE	2,13 b	2,17 b
Testemunha	2,34 a	2,33 a
CV (%)	4,6	3,0
Cultivar	Clorofila <i>a+b</i>	
Triunfo	2,24 a	2,28 a
Gralha	2,11 b	2,18 b
CV(%)	4,6	3,0

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário ou cultivares de feijão pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

Quando a competição se estabeleceu por luz, não houve correlação entre os pigmentos fotossintéticos com nenhum dos parâmetros morfológicos das plantas de feijão (Tabela 5). Em contrapartida, quando a competição se estabeleceu por recursos de luz e solo houve uma correlação positiva entre clorofila *a* e *a+b* com DC, CR e BST (Tabela 6), mostrando assim que a redução dos pigmentos fotossintéticos na competição acompanha o alongamento do

caule das plantas de feijão, redução do comprimento do sistema radicular e reduz o acúmulo de Biomassa seca das plantas.

Para os teores de carotenoides das folhas do feijão, verificou-se interação entre cultivar e época de emergência do milho voluntário (Tabela 4). Em competição por recursos de solo+luz, apenas a cultivar Gralha apresentou redução no teor de carotenoides quando o milho voluntário emergiu antecipadamente ao feijão. Quando o milho emergiu sete dias antes do feijão, a cultivar Triunfo apresentou teores de carotenoides 25% maior que a cultivar Gralha, na competição total, já em competição por luz, Triunfo foi superior em 17% (Tabela 4). Os carotenoides são importantes antioxidantes que protegem a clorofila de danos fotodinâmicos (Brody, 2002), consistindo num fator importante relacionado com maior tolerância às plantas ao estresse. No entanto, os teores de carotenoides se correlacionaram positivamente apenas com o comprimento do sistema radicular das plantas de feijão quando considerados os parâmetros morfológicos na competição total (Tabela 6).

Tabela 4 - Teor de carotenoides (mg g^{-1} MF) das folhas de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de solo+luz e luz, Frederico Westphalen, RS, 2018

Época	Competição solo+luz		Competição luz	
	Triunfo	Gralha	Triunfo	Gralha
7 DAE ²	0,20 a ¹ A	0,15 bB	0,23 aA	0,19 aA
0 DAE	0,21 aA	0,21 aA	0,25 aA	0,19 aB
Testemunha	0,21 aA	0,22 aA	0,24 aA	0,23 aA
CV(%) ³	12,7		19	

¹Letras minúsculas comparam entre épocas de emergência do milho voluntário e letras maiúsculas comparam entre cultivares de feijão, ambos pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ²7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

A competição exercida pelo milho que emerge antecipadamente incrementou significativamente a fluorescência inicial F_0 em relação à emergência simultânea e a testemunha, na competição solo+luz (Figura 2). Os valores de F_0 representam a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas *a*, excitadas antes da energia ser dissipada para o centro de reação do PSII (Mathis e Paillotin, 1981). Desta forma, a F_0 aumenta em função dos estresses causados no ambiente que provocam alterações estruturais nos pigmentos fotossintéticos do PSII. Em contrapartida, quando o recurso envolvido na competição foi apenas a luz, a F_0 não sofre variação. Comparando as cultivares, a Triunfo apresentou menor valor de F_0 em

comparação com Gralha (Figura 2), indicando menor prejuízo da transferência da energia de excitação do complexo antena para os centros de reação quando em competição por recursos totais comparado com a cultivar Gralha.

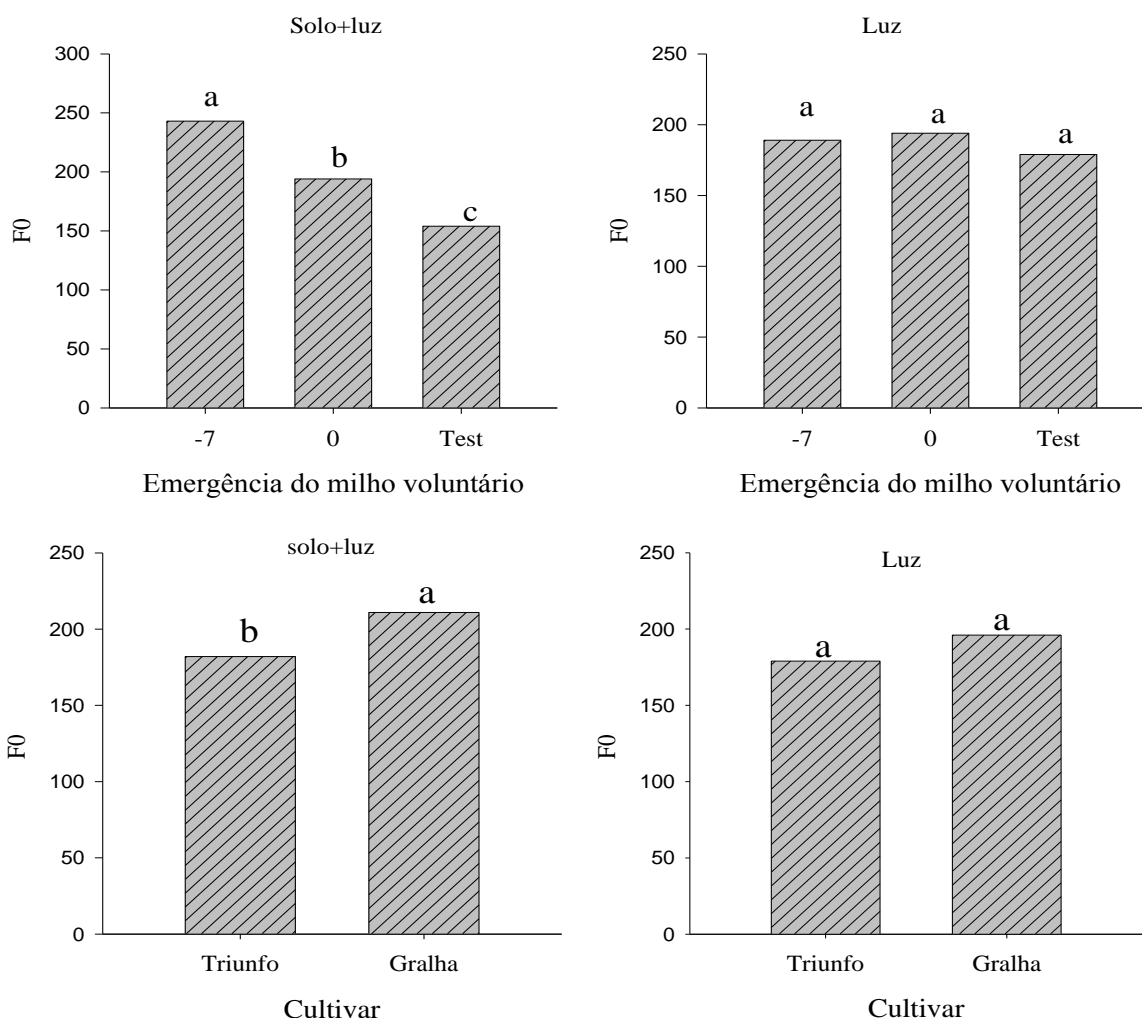


Figura 2 - Fluorescência inicial (F_0) de folhas de plantas de feijão em competição por recursos Solo+luz e Luz com milho voluntário, emergindo sete dias antes (7 DAE) e simultaneamente (0 DAE). Letras minúsculas comparam entre época de emergência do milho voluntário ou cultivar de feijão, pelo teste de teste Tukey ($p < 0,05$). Frederico Westphalen, RS, 2018.

Os valores de F_0 podem aumentar caso o centro de reação do PSII esteja comprometido, ou se a transferência da energia de excitação do complexo antena para os centros de reação esteja prejudicada (Bolh ar-Nordenkampf et al, 1989), como por exemplo baixos teores de pigmentos. Assim, verifica-se que F_0 correlaciona-se negativamente com os teores de clorofila a e $a+b$ e os parâmetros de crescimento DC, CR e MST na competi o total (Tabela 6). Este resultado   um indicativo de que as redu o es dos teores de clorofilas e parâmetros de crescimento de plantas estão ligados ao aumento de F_0 devido   danos

estruturais nos pigmentos fotossintéticos do PSII e em sua eficiência para transferir a energia absorvida.

A fluorescência máxima (Fm) em folhas de feijão aumentou quando em competição com plantas de milho voluntário emergindo de forma antecipada, pelos recursos abaixo e acima do solo, enquanto na competição somente por luz não houve variação (Figura 3). Os valores de Fm correlacionam-se positivamente com F_0 e negativamente com clorofilas *a*, *a+b* e carotenoides (Quadro 2). Em contrapartida, a correlação quando em competição apenas pelo recurso luz são menores, sem apresentar significância. A Fm ocorre quando todos os centros de reação do PSII estão fechados, ou seja, quando todos os aceptores QA (Quinona, receptora primária estável de elétrons do PSII) estão reduzidos (Baker, 2008).

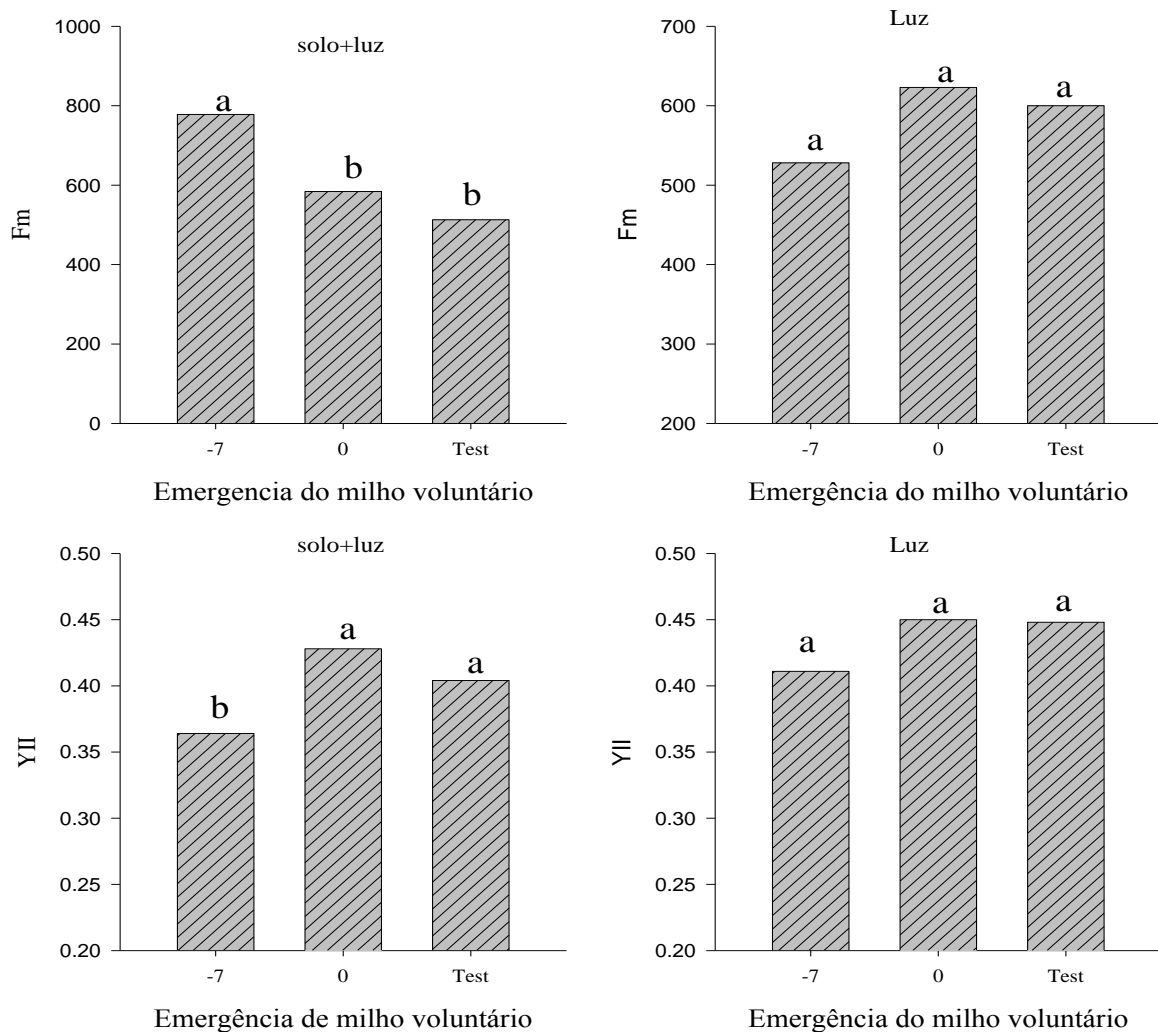


Figura 3 - Fluorescência máxima (Fm) e rendimento quântico efetivo do PSII (Y II) de folhas de plantas de feijão em competição por recursos solo+luz e luz com milho voluntário, emergindo sete dias antes (7 DAE) e simultaneamente (0 DAE). Letras minúsculas comparam entre época de emergência do milho voluntário, pelo teste de teste Tukey ($p < 0,05$). Frederico Westphalen, RS, 2018.

O estresse ocasionado pela competição pode levar a danos nos tecidos fotossintéticos, resultando em alteração nos processos de extinção não-fotoquímicos, que modificam a F_m . Em muitas situações de estresse, o aumento da extinção não-fotoquímica pode ser acompanhado de foto-inativação dos centros de reação do PSII, que então dissipam a energia de excitação como calor e não como fotoquímica (transferência de elétrons entre os fotossistemas) os quais são mostrados pelo aumento da F_m (Baker, 2008). A foto-inativação pode levar a oxidação promovendo danos e perda de centros de reação do PSII (Aro et al., 1994).

Como ocorreu com F_0 , a F_m se correlaciona negativamente com os parâmetros de crescimento de EP, DC, CR e BST ou seja o aumento dos estresse nos tecidos fotossintéticos causados pela competição pode ter interferido no crescimento e acúmulo de massa das plantas de feijão, na competição de solo+luz (Tabela 6).

A eficiência quântica efetiva do PSII (YII) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) apresentaram a mesma tendência, até porque apresentam correlação linear (0,99). Assim, ambos YII e ETR das folhas de feijão foram reduzidos quando o milho se estabeleceu antecipadamente, entretanto, não houve diferenças em relação à testemunha, quando as plantas emergiram simultaneamente na competição por recursos de solo+luz (Figura 3; Figura 4). No entanto, essas alterações não foram visíveis quando a competição se estabeleceu apenas por luz. Resultados semelhantes foram observados por Lassaouane e Lutts, (2016), os quais verificaram que sob baixa intensidade de luz, o aparelho fotossintético de *P. aculeata* não foi danificado pelo estresse hídrico.

Reduções na ETR observadas principalmente na competição por recursos de solo+luz quando o milho emergiu antecipadamente pode ocorrer devido à degradação das clorofilas, o que reduz a eficiência de coleta pelo complexo antena, como observado pelo valor de F_0 , e também a redução da eficiência do YII. São escassos na literatura, trabalhos que demonstrem a relação da fluorescência da clorofila com interferência das plantas daninhas sobre as culturas, no entanto, os estresses observados nessa relação podem ser similares aos encontrados por Korres et al. (2017), os quais encontraram que em plantas de *Amaranthus palmeri* sob estresse nutricional e luminoso, há redução de ETR, a qual pode ser atrelada a foto-inibição, ou provocado pela limitação do ciclo de Calvin para NADP ou ATP e / ou pela capacidade reduzida de carboxilação. Desta forma, percebe-se que os estresses da interferência das plantas daninhas podem ser preditos pela fluorescência da clorofila das plantas.

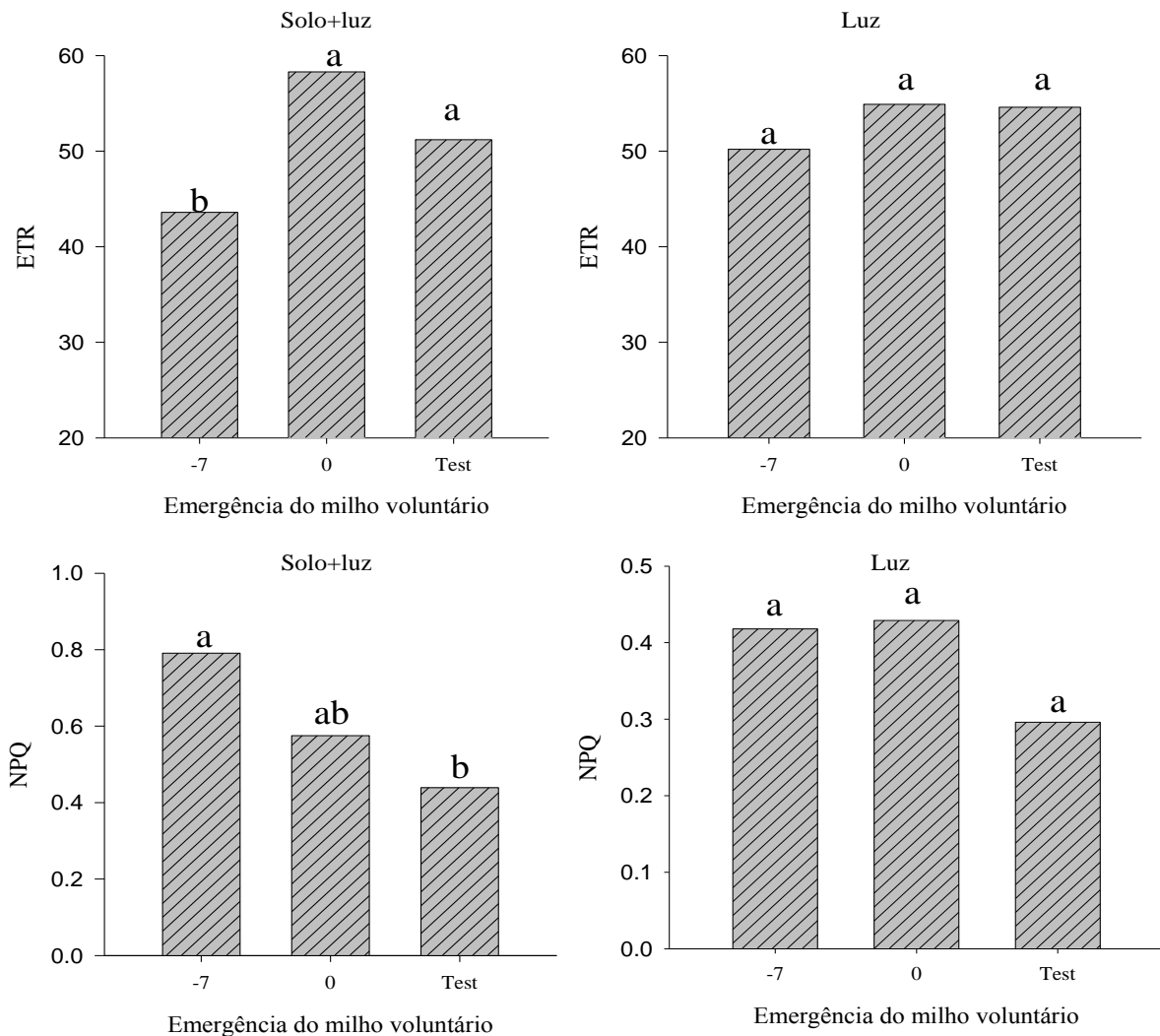


Figura 4 - Taxa de transporte de elétrons (ETR) e extinção não fotoquímica (NPQ) de folhas de plantas de feijão em competição por recursos Solo+luz e Luz com milho voluntário, emergindo sete dias antes (7 DAE) e simultaneamente (0 DAE). Letras minúsculas comparam entre época de emergência do milho voluntário, pelo teste de teste Tukey ($p < 0,05$). Frederico Westphalen, RS, 2018.

Pode-se verificar correlação positiva entre ETR e YII com os parâmetros de crescimento de EP, DC, CR e BST, quando ocorre competição por solo+luz entre feijão e milho voluntário (Tabela 6). Já quando a competição se estabeleceu apenas pelo recurso luz, pode se notar correlação positiva apenas do DC. Em contrapartida, em relação aos pigmentos fotossintéticos não foi verificado correlação em quaisquer condições de competição.

A extinção não foto-química (NPQ) em folhas de feijão sofreu elevação quando em competição por luz+solo com o milho voluntário apenas quando a emergência foi antecipada em relação à testemunha sem competição, no entanto quando a competição se estabeleceu apenas pelo recurso luz, a NPQ não foi alterada (Figura 4).

A NPQ está linearmente relacionada à dissipação de calor; o principal colaborador da NPQ é chamado de extinção do estado de alta energia e é considerado essencial para proteger a folha do dano induzido pela luz (Horton et al., 1996). A NPQ elevada nas plantas de feijão quando em competição, provavelmente indica que estas plantas apresentaram uma maior dissipação da energia luminosa absorvida na forma de energia térmica em detrimento ao aproveitamento desta energia para produção de energia química na forma de ATP e NADPH (Zanandrea et al., 2006), o que reduz o ciclo de Calvin e por consequência o crescimento da planta. Esse resultado corrobora com os encontrados para os parâmetros de crescimento, pode ser visto uma correlação negativa significativa dos parâmetros de crescimento de planta e a NPQ (Tabela 6).

A alteração da NPQ está relacionada aos estresses sofrido pela planta, assim, pode se verificar que o aumento do estresse salino, estresse hídrico e luminoso nas plantas, incrementam a NPQ, indicando que algum excesso de energia de excitação foi dissipado termicamente como resultado do estresse (Lassaouane e Lutts, 2016; Yan et al., 2012).

Para o fator de condição de competição pelo recurso luz, as correlações entre os parâmetros de crescimento, pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila são baixas e na maioria das vezes pouco significativas (Tabela 5). No entanto quando a competição se estabelece pelos recursos de solo+luz nota-se uma correlação positiva moderada entre os parâmetros de crescimento e os pigmentos fotossintéticos e uma correlação de moderada a forte entre os parâmetros de crescimento e a fluorescência da clorofila, sendo negativa para F_0 , F_m e NPQ e positiva para o YII e ETR (Tabela 6). Já entre os pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila as correlações vão de fraca a moderada, sendo elas negativas para F_0 e Chl a e Chl $a+b$, negativas entre F_m e Chl a , $a+b$ e carotenoides e negativa também para NPQ e carotenoides.

Por ser um parâmetro rápido e não destrutivo que se correlaciona diretamente com as variáveis de crescimento das plantas em competição, a fluorescência da clorofila torna-se uma importante ferramenta de análise que pode ser usada para verificar o estresse causado pela interferência das plantas daninhas.

Tabela 5 - Análise de correlação de Pearson para os parâmetros morfológicos, pigmentos fotossintéticos e fluorescência de clorofila de plantas de feijão em competição pelo recurso luz com milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 2018

	Parâmetros de Planta				Pigmentos fotossintéticos				Fluorescência da clorofila				
	EP	DC	CR	BST	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	Car	F ₀	F _m	YII	ETR	NPQ
EP	1,000												
DC	0,166	1,000											
CR	-0,203	0,453	1,000										
EP/CR	0,471*	-0,311	-0,940*										
MST	0,262	0,843*	0,329	1,000									
Chla	-0,402	0,091	-0,009	0,067	1,000								
Chlb	-0,338	-0,033	-0,339	-0,152	0,636*	1,000							
Chlt	-0,055	0,108	-0,263	0,242	0,398	0,297	1,000						
Car	-0,045	0,208	-0,163	0,262	0,346	0,191	0,567*	1,000					
F ₀	0,134	-0,053	-0,159	0,032	-0,409	-0,350	0,024	0,024	1,000				
F _m	-0,210	0,201	0,055	0,018	0,026	0,173	0,469*	0,469*	0,419*	1,000			
YII	0,212	0,497*	-0,025	0,418	0,244	0,047	-0,051	-0,051	-0,530*	-0,176	1,000		
ETR	0,212	0,497*	-0,025	0,418	0,244	0,047	-0,051	-0,051	-0,530*	-0,176	0,999*	1,000	
NPQ	-0,280	-0,375	-0,026	-0,239	-0,288	-0,281	0,134	0,134	0,588*	0,326	-0,736*	-0,736*	1,000

O * indica correlação significativa ($p < 0,05$) entre as variáveis.

Tabela 6 - Análise de correlação de Pearson entre os parâmetros de planta, pigmentos fotossintéticos e fluorescência de clorofila de plantas de feijão em competição pelos recursos solo+luz com milho voluntário. Frederico Westphalen, RS, 20018

	Parâmetros de Planta				Pigmentos fotossintéticos				Fluorescência da clorofila				
	EP	DC	CR	BST	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>a+b</i>	Car	F ₀	F _m	YII	ETR	NPQ
EP	1,000												
DC	0,575*	1,000											
CR	0,729*	0,743*	1,000										
EP/CR	-0,448	-0,689*	-0,898*										
MST	0,599*	0,879*	-0,809*	1,000									
Chl <i>a</i>	0,346	0,557*	0,633*	0,682*	1,000								
Chl <i>b</i>	0,210	0,282	0,399	0,411	0,696*	1,000							
Chl <i>a+b</i>	0,334	0,523*	0,614*	0,657*	0,984*	0,810*	1,000						
Car	0,397	0,282	0,555*	0,413	0,646*	0,677*	0,690*	1,000					
F ₀	0,313	-0,698*	-0,651*	-0,688*	-0,598*	-0,281	-0,556*	-0,377	1,000				
F _m	-0,479*	-0,719*	-0,706*	-0,722*	-0,521*	-0,289	-0,495*	-0,482*	0,925*	1,000			
YII	0,499*	0,863*	0,655*	0,769*	0,438	0,114	0,385	0,380	-0,693*	-0,695*	1,000		
ETR	0,499*	0,863*	0,655*	0,769*	0,438	0,114	0,385	0,380	-0,693*	-0,695*	0,999*	1,000	
NPQ	-0,288	-0,627*	-0,554*	-0,620*	-0,331	-0,099	-0,294	-0,509*	0,672*	0,748*	-0,798*	-0,798*	1,000

O * indica correlação significativa ($p < 0,05$) entre as variáveis.

O milho voluntário interfere negativamente as plantas de feijão quando presente no mesmo ambiente, sendo mais competitivo quando emerge antecipadamente ao feijão. A competição pelos recursos solo+luz com o milho voluntário causa maiores estresses no feijão, observados pela alteração dos pigmentos fotossintéticos, parâmetros de crescimento e fluorescência da clorofila. Já a condição de competição pelo recurso luz causa redução apenas dos pigmentos fotossintéticos e das variáveis de crescimento das plantas de feijão. Há uma correlação significativa entre as variáveis de crescimento das plantas de feijão e a fluorescência da clorofila o que a torna uma importante ferramenta de análise que pode ser usada para verificar o estresse causado pela interferência das plantas daninhas.

3.4 REFERÊNCIAS

Afifi M., Swanton C. Early physiological mechanisms of weed competition. **Weed Science**. 2012;60:542-51.

Agostinetto D. et al. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz-vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz-vermelho. **Planta Daninha**. 2004;22:175-83.

Alms J. et al. Yield loss and management of volunteer corn in soybean. **Weed Technology**. 2016;30:254-62.

Amaral C. L. et al. Relações de interferência entre plantas daninhas e a cultura do grão-de-bico. **Bioscience Journal**. 2015;31:37-46.

Aro E.M. et al. Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turnover. **Biochimica et Biophysica Acta**. 1994;1143:113-34.

Baker B. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**. 2008;59:89-113.

Baker N. R., Rosenqvist E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**. 2004;55:1607-21.

Bastiani M.O et al. Competitividade relativa de cultivares de soja com capim-arroz. **Bragantia**. 2016;75:435-45.

Bolhàr-Nordenkamp H. R et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrument. **Functional Ecology**. 1989;3:497-514.

Brody S.S. Fluorescence lifetime, yield, energy transfer and spectrum in photosynthesis. 1950–1960. **Photosynthesis Research**. 2002;73:127-32.

Costa A.C.T et al. Avaliação visual e do potencial fotossintético para quantificação da ferrugem do milheto pérola e correlações com a produção. **Tropical Plant Pathology**. 2009;34:313-21.

Cury J.P et al. Eficiência nutricional de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta daninha**. 2013;31:79-88.

Cury J.P. et al. Produção e partição de Biomassa seca de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**. 2011;29:149-58.

Dai L. et al. Enhanced photosynthesis endows seedling growth vigour contributing to the competitive dominance of weedy rice over cultivated rice. **Pest Management Science**. 2017;73:1410-20.

Edwards G. E., Baker N. R. Can CO₂ assimilation in maize leaves be predicted accurately from chlorophyll fluorescence analysis? **Photosynthesis Research**. 1993;37:89-102.

Ferreira P.A.A et al. *Rhizophagus clarus* and phosphate alter the physiological responses of *Crotalaria juncea* cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**. 2015;91:37-47.

Fleck N.G. et al. Interferência de *Raphanus sativus* sobre cultivares de soja durante a fase vegetativa de desenvolvimento da cultura. **Planta Daninha**. 2006;24:425-34.

Galon L. et al. Interação competitiva de genótipos de arroz e papuã. **Planta Daninha**. 2014;32:533-42.

Genty B., Briantais J. M., Baker N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochim Biophys Acta**. 1989;990:87-92.

Horton P., Ruban A.V., Walters R.G. Regulation of light harvesting in green plants. **Annual Review Plant Physiology, Plant Molecular Biology**. 1996;47:655-84.

Huang J. et al. Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in tomato leaves infested with an invasive Mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Environmental Entomology**. 2013;42:973-79.

Korres et al., Differential Response of *Palmer Amaranth* (*Amaranthus palmeri*) Gender to Abiotic Stress. **Weed Science**. 2017;65:213-27.

Lamego F.P et al. Alterações morfológicas de plântulas de trigo, azevém e nabo quando em competição nos estádios iniciais de crescimento. **Planta Daninha**. 2015;33:13-22.

Lassouane N., Lutts F.A.S. Drought inhibits early seedling establishment of *Parkinsonia aculeata* L. under low light intensity: a physiological approach. **Plant Growth Regulation**. 2016;80:115:26.

Lichtenthaler H. K. **Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes**. In: Packer L., Douce R. (Eds.). *Methods in enzymology*. London: Academic Press: 1987. p. 350-81.

Mathis P., Paillotin G. In: **The biochemistry of plants**. (eds.) Hatch M.D., Boardman, N.K. Academic Press, New York: 1981. 97p.

Maxwell K., Johnson, G.N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**. 2000;51:659-68.

Mcphee C.S., Aarssen L.W. The separation of above- and below-ground competition in plants. A review and critique of methodology. **Plant Ecology**. 2001;152:119-36.

Netto A. T., Campostrini E., Oliveira G. J. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**. 2005;104:199-209.

Perboni A.T. et al. Baixas temperaturas sobre a fluorescência da clorofila a em plantas de diferentes híbridos de canola. **Ciência Rural**. 2015;45:215-22.

Rascher U. et al. Evaluation of instant lightresponse curves of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant, Cell & Environment**. 2000;23:1397-405.

Rizzardi M. A. et al. Interferência de populações de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea ramosissima* isoladas ou em misturas sobre a cultura de soja. **Planta Daninha**. 2004;22:29-34.

Saberalia S. F., Mohammadi K. Organic amendments application downweight the negative effects of weed competition on the soybean yield. **Ecological Engineering, Amsterdam**. 2015;82:451-58.

Sbatella G.M et al. Volunteer Corn (*Zea mays*) Interference in Dry Edible Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technology**. 2016;30:937-42.

Schock A.A. et al. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-manso cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. 2014;18:3-9.

Silva F.G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2015;19:946-52.

Taiz L., Zeiger E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre:Artemed. 2013. 954p.

Teixeira I.R. et al. Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares. **Planta Daninha**. 2009;27:235-40.

Ulgum A. da R. et al. Does competition between soybeans and Wild Poinsettia with low-level resistance or susceptibility to glyphosate affect physiology and secondary metabolism? **Semina: Ciências Agrárias**. 2017;38:1133-44.

Vandevender K.W., Costello T.A., Smith R.J. Model of rice (*Oryza sativa*) yield reduction as a function of weed interference. **Weed Science**. 1997;45:218-24.

Vidal R. A., Merotto Jr., A. **Inicialismo**. In: Vidal R. (Ed). Interação negativa entre plantas: inicialismo, alelopatia e competição. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 33-49.

Yan H. et al. Leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence, ion content and free amino acids in *Caragana korshinskii* Kom exposed to NaCl stress. **Acta Physiologiae Plantarum**. 2012;34:2285-95.

Zanandrea L. et al. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**. 2006;12:157-61.

4 ARTIGO III - INTERFERÊNCIA DE MILHO VOLUNTÁRIO NO CRESCIMENTO E CARACTERÍSTICAS ESTOMÁTICAS DAS FOLHAS DO FEIJÃO

Formatado para o periódico: Revista Planta Daninha

Interferência de milho voluntário no crescimento e características estomáticas das folhas do feijão

Voluntary corn interference on growth and stomatal characteristics of bean leaves

RESUMO – O estudo tem por objetivo avaliar o efeito da interferência da época de emergência do milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento e características estomáticas de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz. O estudo foi conduzido em ambiente protegido usando delineamento experimental inteiramente ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 + 2$ com quatro repetições, sendo duas cultivares de feijão (IPR Galha e Fepagro Triunfo) competindo com milho voluntário emergindo sete dias antes e simultaneamente à emergência do feijão, além do particionamento da competição por luz e solo+luz e duas testemunhas sem competição. Foram determinados os parâmetros de crescimento: altura do primeiro nó, número de trifólios, área foliar e a Biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular, além da densidade estomática e o índice estomático. Observou-se que o milho voluntário afeta negativamente o crescimento das cultivares de feijão quando em competição. A competição pelo fator luz reduz a área foliar e a Biomassa seca das plantas de feijão apenas quando o milho emerge antes, enquanto que os efeitos da competição pelos recursos solo+luz sobre o feijão ocorrem em ambas épocas de emergência do milho. A densidade estomática do feijão aumenta quando em competição com o milho voluntário, mas apenas quando o milho emerge de forma antecipada competindo por ambos os recursos, luz e solo.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris*, milho tiguera, época de emergência, competição, radiação solar, solo.

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the effect of the emergence of volunteer corn on growth parameters and stomata characteristics of bean cultivars in competition for light and soil + light resources. The study was conducted in a protected environment using a completely randomized experimental design, in a $2 \times 2 \times 2 + 2$ factorial scheme with four replicates, two bean cultivars (IPR Galha and Fepagro Triunfo) competing with volunteer maize emerging seven days before and simultaneously with the emergence of the bean, besides the partitioning of the competition by light and soil+light and two witnesses without competition. Growth parameters were determined: height of the first node, number of

tripoli, leaf area and dry biomass of aerial part and root system, as well as stomatal density and stomatal index. It was observed that volunteer corn adversely affects the growth of bean cultivars when in competition. Competition for light factor reduces leaf area and dry biomass of bean plants only when maize emerges earlier, while the effects of competition for soil+light resources on beans occur in both seasons of maize emergence. The stomatal density of the beans increases when in competition with the volunteer corn, but only when the corn emerges in advance competing for both light and soil resources.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, tiguera corn, emergence season, competition, solar radiation, soil.

4.1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas agrícolas com menor capacidade competitiva com plantas daninhas, por apresentar crescimento inicial lento e por ser enquadrado no grupo de culturas agrícolas que menos sombreiam o solo (Manabe et al., 2015; Teixeira et al., 2009). A presença dessas plantas daninhas em lavouras altera o desenvolvimento das plantas cultivadas, por promover competição pelos recursos do meio, como água, luz e nutrientes, reduzindo a disponibilidade desses para a cultura (Silva et al., 2008).

Em um sistema de cultivo segunda safra, o feijão se tornou uma opção no sistema de sucessão após o milho na região Sul do Brasil, compondo uma área cultivada de 284 mil hectares (Conab, 2017). Nesse sentido, as sementes de milho que permanecem no campo na pós-colheita germinam durante o cultivo do feijão, podendo o milho voluntário se tornar uma planta daninha problemática nessas condições (Marquardt et al., 2012; Alms et al., 2016; Sbatella et al., 2016).

A época relativa de emergência das plantas daninhas em relação à cultura está entre as principais características que alteram a habilidade competitiva das plantas envolvidas no meio (Vandevender et al., 1997; Agostinetto et al., 2004). Como o milho voluntário possui uma capacidade de emergir de forma escalonada na lavoura de feijão, a habilidade dessas plantas em competir por recursos com o feijão pode ser alterada.

Estudos que isolam fatores favorecem a compreensão dos mecanismos de competição (McPhee e Aarssen, 2001). A competição por nutrientes é afetada pelo teor de água no solo, por aspectos específicos dos concorrentes, bem como pelas diferenças no hábito de

crescimento e demanda de nutrientes pelas espécies envolvidas (Pitelli, 1995). Já a competição imposta pelo estresse luminoso provoca uma alteração nos comprimentos de onda na faixa do vermelho e vermelho extremo, através de uma mudança na qualidade da luz, detectada principalmente pelo fitocromo, tendo um papel importante na indução de várias mudanças morfológicas na arquitetura das plantas, principalmente na redução do número de ramos e folhas (Ballaré, 2014).

Os estômatos das plantas compõem uma passagem vital entre a planta e a atmosfera, podendo desempenhar um papel central nas respostas vegetais às condições ambientais (Nilson e Assmann, 2007). Há relatos de alterações na densidade estomática e índice estomático a vários fatores ambientais, como estresse por calor (Beerling e Chaloner, 1993), seca (Galmés et al., 2007), concentração elevada de CO₂ (Woodward, 1987), estresse salino (Zhao et al., 2006), mudança de precipitação (Yang et al., 2007) e densidade de plantas (Zhang et al., 2003). No entanto, resposta de alteração na densidade estomática e índice estomático de culturas em competição com plantas daninhas são escassos na literatura.

Diante disso, o estudo tem por objetivo avaliar o efeito da interferência da época de emergência do milho voluntário sobre os parâmetros de crescimento e características estomáticas de cultivares de feijão em competição pelos recursos de luz e solo+luz.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Campus de Frederico Westphalen, RS, nos meses de novembro e dezembro de 2016. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 2x2x2+2, onde os fatores consistiram de duas cultivares de feijão IPR Gralha e Fepagro Triunfo em competição com milho voluntário emergindo sete dias antes (7 DAE) e simultaneamente à emergência (0 DAE) do feijão, além do fator de partição da competição entre o feijão e milho voluntário por luz e solo+luz. Foram utilizadas duas testemunhas sem competição pela suspeita de que os copos utilizados para separar a competição pelos recursos do solo pudessem interferir no desenvolvimento das plantas de feijão (Figura 1).

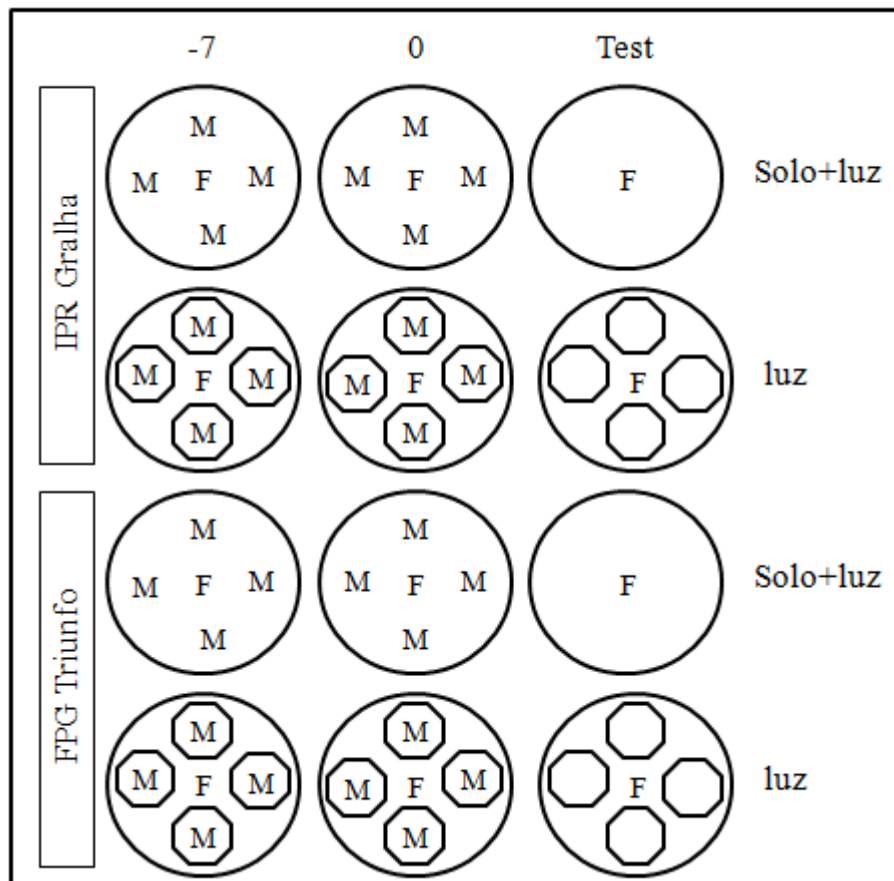


Figura 1 – Esquema representando os tratamentos, de acordo com os fatores de competição entre feijão e milho voluntário, Frederico Westphalen, RS, 2018

As unidades experimentais foram constituídas de vasos de plástico de 5,5 litros com 18,5 cm de diâmetro, preenchidos com substrato. A fim de separar as condições de competição entre o feijão e o milho voluntário (luz e solo+luz) foram colocados dentro dos vasos quatro copos de 500 ml (12,6 x 9 cm – altura x diâmetro do copo), de forma equidistantes, com o intuito de separar a competição entre o sistema radicular do feijão e das plantas de milho (competição por luz). Nesses copos, foi estabelecida uma planta de milho voluntário por copo com origem de sementes F2 do híbrido DKB 240. No centro do vaso, estabelecidas apenas uma planta de feijão no centro do vaso. Com o intuito de estabelecer as épocas de emergência do milho voluntário foi realizada a semeadura do milho antecipadamente à semeadura do feijão para que aquela emergisse sete dias antes da emergência do feijão (-7 DAE), e a semeadura simultânea do milho voluntário e o feijão (0 DAE). O manejo da irrigação foi realizado diariamente de acordo com a necessidade da cultura (Figura 1).

Aos 28 DAE foi determinado a densidade estomática (DE) (número de estômatos por mm^2 de área foliar), e o Índice Estomático ($\text{IE} = \text{NE}/(\text{CE} + \text{NE})$), em que NE é o número de

estômatos, CE é o número de células epidérmicas. Para isso foi realizada a impressão das epidermes adaxial e abaxial. Para tal, utilizaram-se folhas (folíolo central do segundo trifólio), no qual foram coladas com cola instantânea sobre lâminas de vidro, técnica conhecida por impressão de epiderme. Foi posto uma gota de cola sobre a lâmina de vidro, a qual era pressionada sobre o local pretendido da folha durante 8 a 10 segundos e retirando a impressão, sendo que a impressão foliar foi observada em ambas as faces da folha do feijão. Para análise da DE e IE, as faces das folhas foram observadas em um microscópio (Leica MDM 1000) equipado com câmera digital (Leica DMC 2900) com ampliação de 20 vezes e realizadas as aferições das imagens para posterior contagem.

Aos 32 DAE do feijão, foram determinadas a altura de inserção do primeiro nó (APN) medindo a distância da base do solo até a inserção do primeiro nó da planta de feijão expresso em cm; número de trifólios (NT), determinado através de contagem direta, sendo considerado um trifólio quando os folíolos deixam de se tocar e a área foliar (AF) aferida com auxílio de um Integrador de Área Foliar modelo LI3000, com valores expressos em centímetros quadrados (cm²).

Após essas aferições o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel, devidamente identificados e depositados em estufa com temperatura constante de 60°C, até que fosse atingida massa seca constante, a partir disso as amostras foram pesadas em balança de precisão. Foi determinado então a biomassa seca da parte aérea (BSPA) e a Biomassa seca do sistema radicular (BSR) sendo os resultados expressos em gramas (g).

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste Lilliefors, e não sendo necessária a transformação, realizou-se a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Havendo diferença significativa, os fatores cultivares, épocas de emergência do milho voluntário e as condições de competição foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suspeita dos copos utilizados para separar a competição pelos recursos do solo interferir no desenvolvimento das plantas de feijão se confirmou. Dessa forma, o fator época de emergência do milho voluntário e cultivar foram comparados dentro de cada fator de competição (solo+luz e luz).

Houve efeito de época de emergência do milho voluntário apenas para a competição imposta pelo fator luz, onde a interferência aumentou a altura de inserção do primeiro nó, isso quando a emergência do milho voluntário se estabeleceu sete dias antes que o feijão (Tabela

1). Em contrapartida, quando a competição se estabeleceu pelos recursos solo+luz, a APN não foi alterada.

Tabela 1 - Altura do primeiro nó (APN) e número de trifólios (NT) de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de luz+solo e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018

Época	Competição solo+luz	Competição luz
	APN (cm)	
7 DAE ²	6,85 a ¹	7,30 b
0 DAE	6,57 a	6,47 a
Testemunha	6,24 a	6,27 a
CV (%)	7,0	13,0
Cultivar	APN (cm)	
Triunfo	7,01 a	6,96 a
Gralha	6,36 b	6,15 b
CV ³ (%)	7,0	13,0
Época	NT	
7 DAE	5,0 c	11,2 a
0 DAE	9,5 b	12,8 a
Testemunha	15 a	12,7 a
CV (%)	18,0	15,3

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário ou cultivares de feijão pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

As plantas são capazes de perceber a presença de plantas vizinhas em sua fase inicial de desenvolvimento e redirecionar o fluxo de fotoassimilados em função da qualidade de radiação luminosa interceptada pelas plântulas. O estiolamento do caule das plantas é então atribuído como mecanismo de escape da cultura da condição de baixa qualidade luminosa (Merotto Jr. et al., 2002). O fato da competição por solo+luz não ter estimulado o estiolamento do caule das plantas de feijão pode estar atribuído a competição ocorrida no solo restringir recursos como água e nutrientes, que seriam utilizados pela planta para se desenvolver em altura. Fleck et al. (2006), relatam um menor crescimento de plantas de soja quando em convivência com *Raphanus sativus*, os autores sugerem que a competição pelos recursos do solo ocorreu em maior intensidade.

Em relação às cultivares, pode-se notar um maior desenvolvimento em APN da cultivar Triunfo para ambos os fatores de competição (luz e solo+luz). Isso pode estar

atribuído ao ciclo mais precoce da cultivar Triunfo, que apresenta um crescimento mais rápido quando comparado com a cultivar Gralha de ciclo mais longo.

A competição imposta apenas pelo fator luz não foi capaz de afetar o número de trifólios (NT) do feijão, em contrapartida quando o fator solo está presente na competição a emissão do NT é reduzido em função da interferência com milho voluntário (Tabela 1). Como a emissão de folhas está diretamente relacionada com a absorção de água e nutrientes pelas plantas quando em competição (Adelusi et al., 2006), isso pode ter sido a causa da interferência imposta sobre o feijão ser maior quando o milho emergiu sete dias antes que a cultura, com reduções de 67%, enquanto que em emergência simultânea com feijão, o milho voluntário causou reduções de 37% comparado com a testemunha.

O aumento na habilidade competitiva do milho voluntário que emerge sete dias antes que o feijão está atribuído ao maior crescimento, por adquirir vantagem de acesso prioritário aos recursos do meio (Agostinetto et al., 2004). Plantas daninhas de *E. heterophylla* quando em competição reduziram o NT da cultura da soja em função da densidade de plantas utilizada (Carvalho et al., 2010). No mesmo sentido, houve redução no número de folíolos das plantas de soja que cresceram em convivência com *E. heterophylla* verificado por Adelusi et al. (2006).

As plantas de feijão tiveram redução na AF quando em competição com o milho voluntário (Tabela 2). Quando a competição se estabeleceu pelos recursos luz+solo, as reduções foram de 45 e 73% quando o milho voluntário se estabeleceu simultaneamente e sete dias antes que o feijão, respectivamente, comparado com a testemunha na ausência do competidor. Já na competição por recurso luz, o milho voluntário não foi capaz de reduzir significativamente a AF do feijão quando emergiu concomitantemente com a cultura, no entanto a redução da AF do feijão chegou a 20%, quando o milho emergiu antecipadamente se comparado com a testemunha.

Tabela 2 - Área foliar (AF) de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do com milho voluntário competindo por recursos de luz+solo e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018

Época/Cultivar	Competição solo+luz	Competição luz
	AF (cm ²)	
-7 DAE ²	628 c ¹	1557 b
0 DAE	1270 b	1779 ab
Test	2314 a	1951 a
CV (%) ³	15,1	15,3
Cultivar	AF (cm ²)	
Triunfo	1251 b	1601 b
Gralha	1556 a	1923 a
CV(%)	15,1	15,3

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário ou cultivares de feijão pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ² 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

A proximidade de plantas da mesma espécie ou de espécies diferentes resulta em competição pela quantidade e qualidade da luz incidente, além dos recursos do solo, podendo ocorrer danos sobre o incremento de área de foliar, resultado da interferência no crescimento e desenvolvimento de folhas (Wu et al., 2012). Independentemente da condição de competição, o milho voluntário é capaz de reduzir a AF das plantas, assim como observado por Caratti et al. (2016) em diferentes cultivares de soja. Em relação às cultivares, a Gralha independente das condições de competição, apresentou maior AF em comparação com a cultivar Triunfo (Tabela 2).

A convivência do milho voluntário causou uma redução na BSR e BSPA do feijão, sendo que maiores danos foram observados na competição por recursos de solo+luz (Tabela 3). Quando o milho emergiu antecipadamente ao feijão, causou redução de 83 e 72%, respectivamente. Em contrapartida na emergência simultânea entre as plantas, a perda de BSR e BSPA foram menores, variando de 63 e 46% respectivamente (Tabela 3). Quando a competição se estabeleceu apenas por luz, a BSR e BSPA do feijão não foram reduzidas significativamente quando as plantas emergiram concomitantes, no entanto, quando houve emergência antecipada do milho voluntário, foram observadas reduções de 37 e 20%, respectivamente, em relação à testemunha.

Tabela 3 - Biomassa seca de raiz (BSR), Biomassa seca da parte aérea (BSPA) e relação BSR/BSPA de cultivares de feijão (IPR Gralha e Fepagro Triunfo) em função da época de emergência do milho voluntário competindo por recursos de luz+solo e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018

Época	Competição solo+luz	Competição luz
	BSR (g planta ⁻¹)	
7 DAE ²	0,69 c ¹	2,01 b
0 DAE	1,47 b	2,76 a
Test	3,99 a	3,20 a
CV (%) ³	25,5	20,2
Época	BSPA (g planta ⁻¹)	
7 DAE	3,03 c	7,04 b
0 DAE	5,84 b	8,62 a
Test	10,78 a	8,83 a
CV (%)	19,2	18,3
Época	Relação BSPA / BSR	
7 DAE	4,77 a	3,74 a
0 DAE	4,05 a	3,71 a
Test	2,77 b	2,79 b
CV (%)	29,0	30,4

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ²7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

A maior redução da BSR e BSPA deve-se à competição do milho voluntário com feijão principalmente por água e nutrientes, onde a porcentagem de redução varia de acordo com a quantidade de recursos do ambiente disponíveis às plantas que estão crescendo em convivência (Adelusi et al., 2006; Rizzardi et al., 2004). Como o feijoeiro apresenta baixa capacidade competitiva, por ser enquadrado no grupo de culturas agrícolas que menos sombreiam o solo e pelo crescimento inicial lento, isso o expõe a intensa interferência de plantas daninhas (Teixeira et al., 2009).

Cultivares de feijão quando em competição com as espécies de *Bidens pilosa* e *Cenchrus echinatus*, obtiveram produções de aproximadamente 38 e 51% de Biomassa seca total, respectivamente, dos valores observados na média das testemunhas ausentes de competição (Cury et al., 2011). No mesmo estudo os autores verificaram que em competição com *Euphorbia heterophylla* e *Commelina benghalensis*, o feijoeiro obteve produções de aproximadamente 50 e 61% de Biomassa seca total, respectivamente, em relação às testemunhas ausentes de competição. Desta forma, verifica-se que plantas de milho

voluntários possuem capacidade de redução o crescimento e desenvolvimento das plantas de feijão semelhante ou até mesmo superiores em relação às plantas daninhas.

A relação BSPA/BSR aumentou quando o feijão cresceu na presença do milho voluntário, isso ocorreu em ambas condições de competição e épocas de emergência do milho voluntário (Tabela 3). Quando as plantas são expostas às condições que predizem a competição por radiação luminosa, o padrão da distribuição de fotoassimilados é alterado antes mesmo que a taxa de fotossíntese seja reduzida efetivamente pelo sombreamento (Ballaré e Casal, 2000; Caratti et al., 2016). Nesse caso, a maior produção de BSPA do feijão quando em competição comparado com a BSR, indica que as plantas foram capazes de perceber a presença de plantas vizinhas competidoras nos estádios iniciais de desenvolvimento, alterando características morfológicas, como o aumento da altura de planta em detrimento do comprimento radicular.

As folhas de feijão são consideradas anfiestomática, ou seja, os estômatos são encontrados em ambos os lados das superfícies das folhas, onde a epiderme inferior (abaxial) tende a apresentar maior densidade estomática do que a epiderme superior (adaxial) (Tabela 4 e 5).

Tabela 4 - Densidade estomática (DE) e índice estomático (IE) da parte adaxial das folhas de feijão em função da época de emergência do com milho voluntário competindo pelo recurso de luz+solo e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018

Época/Cultivar	Competição solo+luz	Competição luz
	DE (mm ²)	
7 DAE ²	1,84 a ¹	1,49 a
0 DAE	1,49 b	1,53 a
Testemunha	1,48 b	1,55 a
CV (%) ³	8,8	17,9
Época	IE (%)	
7 DAE	12,9 a	13,6 a
0 DAE	13,2 a	14,8 a
Testemunha	14,7 a	14,4 a
CV (%)	12,7	11,0

¹Letras comparam entre épocas de emergência do milho voluntário ou cultivares de feijão pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05). ² 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. ³CV(%), indica coeficiente de variação.

Na condição de competição por recursos de solo+luz, quando o milho voluntário se estabeleceu antecipadamente ao feijão, houve um incremento de 23,5 e 24,3% na densidade

estomática (DE) da parte adaxial das folhas em relação à emergência concomitante e testemunha, respectivamente (Tabela 4). Já quando o recurso envolvido foi apenas a luz, a densidade estomática não foi alterada, independente da época emergência do milho voluntário. Em comparação entre as cultivares, não houve alteração na DE.

Para o índice estomático (IE) da parte adaxial das folhas de feijão não foi verificado alteração quanto à época de emergência do milho voluntário e para cultivar, em ambas as condições de competição (Tabela 4).

Já na parte abaxial das folhas de feijão houve interação entre época de emergência do milho voluntário e as cultivares de feijão para a DE (Tabela 5). Para cultivar gralha competindo pelo fator luz+solo, houve um incremento na DE, mas apenas quando o milho emergiu sete dias antes que o feijão, o que não foi visualizado na cultivar triunfo. Comparando as cultivares, pode-se perceber uma maior DE para cultivar Gralha em relação a Triunfo. Já quando a competição se estabeleceu apenas pelo fator luz, não houve efeito de época de emergência do milho voluntário e cultivar na DE das plantas de feijão. Em relação ao índice estomático da parte abaxial não foi verificado efeito da competição imposta pelo milho voluntário, para ambas as condições de competição (Tabela 6).

O estômato da folha é composto por uma fenda central que controla a troca de CO₂ e vapor de água, podendo ser afetados por muitas variáveis ambientais, como luz, condições hídricas, temperatura e concentração de CO₂ resultando em aumento da densidade estomática (Buckley, 2005). Sob o estresse de falta de água, a limitação da fotossíntese pode resultar do efeito estomático, que pode estar relacionado com a diminuição da emissão da emissão de folhas e produção de massa das folhas de feijão.

Alguns relatos mostraram um aumento na densidade estomática e uma diminuição do tamanho das células sob déficit hídrico, indicando que uma adaptação à competição entre plantas poderia ocorrer (Xu e Zhou, 2008; Martinez et al., 2007), como observado na competição do milho voluntário com o feijão recursos presentes no solo como água e nutrientes. Outros autores relatam também que com a diminuição da precipitação, a densidade estomática também aumenta, enquanto a altura da planta, a Biomassa seca e a área foliar são reduzidas o que também foi observado nesse estudo (Wang e Gao, 2003; Yang et al., 2007; Gazanchian et al., 2007).

Tabela 5 - Densidade estomática (DE) (mm²) da parte abaxial das folhas de feijão em função da época de emergência do com milho voluntário competindo pelo recurso luz+solo e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018

	Competição solo+luz/Cultivar	
Época	Gralha	Triunfo
7 DAE ³	6,13 a ¹ A ²	4,85 aB
0 DAE	4,78 bA	4,99 aA
Testemunha	5,03 bA	4,23 aB
CV (%) ⁴	7,2	
	Competição luz/Cultivar	
Época	Gralha	Triunfo
7 DAE	4,63 aA	4,04 aA
0 DAE	4,63 aA	5,35 aA
Testemunha	4,48 aA	3,77 aA
CV (%)	17,2	

¹Letras minúsculas comparam entre épocas de emergência do milho voluntário na coluna e ²letra maiúscula comparam entre cultivar, na linha, ambos pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ³O 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição.

⁴CV(%), indica coeficiente de variação.

Tabela 6 - Índice estomático (IE) (%) da parte abaxial das folhas de feijão em função da época de emergência do com milho voluntário competindo pelo recurso luz+solo e luz. Frederico Westphalen, RS, 2018

	Competição total/Cultivar	
Época	Gralha	Triunfo
7 DAE ³	22,6 a ¹ A ²	22,9 aA
0 DAE	25,7 aA	24,9 aA
Testemunha	25,8 aA	23,3 aA
CV (%) ⁴	7,8	
	Competição luz/Cultivar	
Época	Gralha	Triunfo
7 DAE	23,3 aA	23,2 aA
0 DAE	23,5 aA	29,0 aA
Testemunha	24,5 aA	22,5 aA
CV (%)	11,7	

¹Letras minúsculas comparam entre épocas de emergência do milho voluntário na coluna e ²letra maiúscula comparam entre cultivar, na linha, ambos pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ³O 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição.

⁴CV(%), indica coeficiente de variação.

Há uma correlação positiva da densidade estomática com a condutância e a fotossíntese líquida em condições de estresse por falta de água, fatores que podem estar envolvidos na redução dos parâmetros de planta de feijão quando em competição com o milho voluntário (Zhang et al., 2006; Xu e Zhou, 2008 e Galmés et al., 2007).

Pode-se concluir que o milho voluntário interfere negativamente as plantas de feijão quando presente no mesmo ambiente, sendo mais competitivo quando emerge sete dias antes. A competição pelo fator luz reduz a área foliar e a Biomassa seca das plantas de feijão apenas quando o milho emerge de forma antecipada, no entanto, quando a competição se estabelece pelos recursos solo+luz as alterações nas plantas de feijão são visíveis já na emergência momentânea. A densidade estomática das plantas de feijão aumenta quando em competição com o milho voluntário, no entanto, essa alteração só foi visível quando o milho emerge de forma antecipada e competindo por ambos os recursos solo e luz.

4.4 REFERÊNCIAS

- Adelusi A. A. et al. Interference of *Euphorbia heterophylla* Linn. on the growth and reproductive yield of soybean (*Glycine max* Linn). **Research Journal of Botany**. 2006;1: 85-94.
- Agostinetto D. et al. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz-vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz-vermelho. **Planta Daninha**. 2004;22:175-83.
- Alms J. et al. Yield loss and management of volunteer corn in soybean. **Weed Technol**. 2016;30:254-62.
- Ballaré C.L. Regulação da luz da defesa da planta. **Annual Review of Plant Biology**. 2014;65: 335-63.
- Ballaré C. L., Casal J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Res**. 2000;67:149-60.
- Beerling D.J., Chaloner W.G. The impact of atmospheric CO₂ and temperature change on stomatal density: observations from *Quercus robur* Lammad leaves. **Annals of Botany**. 1993;71:231-35.
- Buckley T.N. The control of stomata by water balance. **New Phytologist**. 2005;168:275-92.
- Caratti F.C. et al. Partitioning of Competition for Resources Between Soybean and Corn as Competitor Plant. **Planta daninha**. 2016;34:657-65.
- Carvalho L. B. et al. Interferência de *Euphorbia heterophylla* no crescimento e acúmulo de macronutrientes da soja. **Planta Daninha**. 2010;28:33-39.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Décimo primeiro levantamento, agosto 2017 – safra 2016/2017. : Brasília:

Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS>. Acesso em: 09 janeiro. 2017.

Cury J.P. et al. Produção e partição de Biomassa seca de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**. 2011;29:149-58.

Fleck N.G. et al. Interferência de *Raphanus sativus* sobre cultivares de soja durante a fase vegetativa de desenvolvimento da cultura. **Planta Daninha**. 2006;24:425-34.

Galmés J. et al. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. **Plant and Soil**. 2007;290:139-55.

Gazanchian A. et al. Proteome response of *Elymus elongatum* to severe water stress and recovery. **Journal of Experimental Botany**. 2007;58:291-00.

Manabe P.M.S. et al. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. **Bioscience. Journal**. 2015;31:333-43.

Martinez J.P. et al. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **European Journal of Agronomy**. 2007;26:30-38.

Marquardt P.T., Krupde C., Johnson W.G. Competition of transgenic volunteer corn with soybean and the effect on western corn rootworm emergence. **Weed Science**. 2012;60:193-98.

Mcphee C.S., Aarssen L.W. The separation of above- and below-ground competition in plants. A review and critique of methodology. **Plant Ecology**. 2001;152:119-36.

Merotto Jr., A. et al. Interferência das plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de soja e arroz através da qualidade da luz. **Planta Daninha**. 2002;20:9-16.

- Nilson S.E., Assmann S.M. The control of transpiration Insights from Arabidopsis. **Plant Physiology**. 2007;143:19–27.
- Pitelli R.A Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Inf Agropec**. 1985;11:16-27.
- Rizzardi M. A. et al. Interferência de populações de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea ramosissima* isoladas ou em misturas sobre a cultura de soja. **Planta Daninha**. 2004;22:29-34.
- Sbatella G.M et al. Volunteer Corn (*Zea mays*) Interference in Dry Edible Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technology**. 2016;30:937-42.
- Silva A. F. et al. Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. **Planta Daninha**. 2008;26:65-71.
- Teixeira I. R. et al. Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares. **Planta Daninha**. 2009;27:235-40.
- Vandevender K.W., Costello T.A., Smith R.J. Model of rice (*Oryza sativa*) yield reduction as a function of weed interference. **Weed Science**. 1997;45:218-24.
- Wang R.Z., Gao Q. Climate-driven changes in shoot density and shoot biomass in *Leymus chinensis* (Poaceae) on the North-east China Transect (NECT). **Global Ecology and Biogeography**. 2003;12:249-59.
- Woodward F.I. Stomatal numbers are sensitive to increases in CO₂ from pre-industrial levels. **Nature**. 1987;327:617-18.
- Wu W. et al. Sensitivity analysis of crop growth models to multi-temporal scale solar radiation. **Trans Chinese Soc Agric Eng**. 2012;28:123-28.
- Xu Z., Zhou, G. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. **Journal of Experimental Botany**. 2008;59:3317-25.

Yang L. et al. The changes of water-use efficiency and stoma density of *Leymus chinensis* along Northeast China Transect. **Acta Ecologica Sinica**. 2007;27:16-24.

Zhang X.Y. et al. Stomatal density and distributions of spring wheat leaves under different planting densities and soil moisture levels. **Acta Phytoecologica Sinica**. 2003;27:133-36.

Zhang Y.P. Stomatal characteristics of different green organs in wheat under different irrigation regimes. **Acta Agronomica Sinica**. 2006;32:70-75.

Zhao S. et al. Influence of different salt level on stomatal character in rice leaves. **Reclaiming and Rice Cultivation**. 2006;6:26-29.

**5 ARTIGO IV – PERDA DE RENDIMENTO E NÍVEL DE DANO ECONÔMICO
PARA O MILHO VOLUNTÁRIO EM FEIJÃO**

Formatado para o periódico: Revista Planta Daninha

Perda de rendimento e nível de dano econômico para o milho voluntário em feijão

Yield loss and economic damage level for volunteer corn in beans

RESUMO – O milho voluntário pode se tornar uma planta daninha em regiões onde o feijão é cultivado em secessão. Diante disso, o estudo tem por objetivo avaliar o efeito da época de emergência e densidade de milho voluntário sobre a perda de rendimento de grãos e o nível de dano econômico em feijão. Para isso, foram instalados três experimentos nos anos de 2015 a 2017, em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições em arranjo fatorial 2x7, onde o fator A constou de duas épocas de emergência do milho voluntário em relação à emergência do feijão (0 dias e aos 7 dias após a emergência do feijão), e o fator B de sete densidades de milho voluntário (0, 0,5, 1, 2, 4, 8, 12 plantas m⁻²). As perdas de rendimento do feijão aumentaram com a elevação na densidade de plantas de milho voluntário. A germinação do milho voluntário concomitante ao feijão provocou redução nos níveis de dano econômico, comparado com a emergência tardia, onde o incremento na produtividade de grãos, no preço do feijão, na eficiência do herbicida e redução no custo de controle diminuem os valores do nível de dano econômico. O nível de dano econômico do milho voluntário independente da simulação realizada não passou de 14.553 plantas ha⁻¹, podendo chegar à população mínima de necessidade de controle 902 plantas ha⁻¹, valores que indicam a necessidade de manejo dessa espécie voluntária mesmo em baixas densidades.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris*, interferência, milho tiguera, rendimento de grãos, nível crítico de dano.

ABSTRACT - Volunteer corn can become a weed in regions where beans are grown in secession. The objective of this study was to evaluate the effect of the emergence season and volunteer corn density on the loss of grain yield and the level of economic damage in the beans. For that, three experiments were installed in the years 2015 to 2017, in a randomized block design with four replications in a 2x7 factorial arrangement, where factor A consisted of two emergence times of volunteer corn in relation to the emergence of the bean (0 days and at 7 days after emergence of the bean), and factor B of seven volunteer corn densities (0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12 plants m⁻²). Bean yield losses increased with the increase in density of volunteer corn plants. The germination of volunteer corn concomitant to the beans caused a reduction in the levels of economic damage, compared to the late emergence, where the increase in grain

yield, bean price, herbicide efficiency and reduction in control costs decreased the level values of economic damage. The level of economic damage of volunteer maize independent of the simulation performed did not exceed 14,553 plants ha⁻¹, and 902 plants ha⁻¹ can reach the minimum population of control, indicating values of the need to manage this volunteer species even at low densities.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, interference, corn tiguera, grain yield, critical damage level.

5.1 INTRODUÇÃO

Dentre os fatores negativos que afetam o rendimento do feijão (*Phaseolus vulgaris*), destaca-se a interferência imposta pelas plantas daninhas. A comunidade infestante pode mobilizar grande quantidade de nutrientes e água do solo, além de promover sombreamento, reduzindo, portanto, os recursos disponíveis às plantas cultivadas (Salgado et al., 2006; Silva et al., 2008). No Brasil, estimam-se perdas médias em torno de 25% do rendimento de grãos de feijão provocado pelas plantas daninhas, o que equivale a R\$ 1 bilhão de reais anualmente (Vidal et al., 2010).

O feijão-comum é uma opção de cultivo safrinha a ser utilizado em sistemas de sucessão após o milho na região Sul do Brasil, compondo uma área cultivada de 284 mil hectares (Conab, 2017). Em função dessa sucessão, as sementes de milho que permanecem no campo em pós-colheita podem germinar durante o cultivo do feijão, tornando-se uma planta voluntária problemática nessas condições (Sbatella et al., 2016; Marquardt et al., 2012; Alms et al., 2016).

A competição imposta pelo milho provoca redução no rendimento em várias culturas, como a soja, o próprio milho cultivado, beterraba e o algodão (Alms et al., 2016; Kniss et al., 2012; Marquardt et al., 2012; Thomas et al., 2007), além de afetar a qualidade do produto colhido (Deen et al. 2006) e ser usado como hospedeiro de insetos praga e agentes patogênicos (Summers et al., 2004). As infestações podem ocorrer em altas densidades, devido as perdas excessivas de grãos e pedaços de espigas durante a colheita (Beckett e Stoller, 1988), onde na semeadura da cultura sucessora o milho fica em contato com o solo ou envolvido na palha, no qual a germinação e emergência bem sucedida pode variar com o tempo.

O controle de plantas daninhas que infestam a cultura do feijão é feito geralmente pelo uso de herbicidas, em virtude da alta viabilidade, eficiência e menor custo, em comparação

com outros métodos de controle (Galon et al., 2016). O uso de modelos de produção mais sustentáveis que diminuam o risco de resíduos nos alimentos e que reduzam o impacto ambiental sobre os agroecossistemas pode-se tornar uma importante ferramenta de manejo. Nesse sentido, o controle de plantas daninhas baseado no nível de dano econômico (NDE) torna-se uma importante ferramenta a nível econômico e ambiental que ajuda os agricultores a tomar decisões sobre o controle de plantas daninhas (Kalsing e Vidal, 2013; Westendorff et al., 2014).

O NDE se caracteriza pela utilização de métodos de controle sobre uma população de plantas quando o prejuízo causado no rendimento de grãos é superior ao custo das medidas de controle a serem adotadas (Pester et al., 2000), podendo agrupar relações existentes entre o rendimento esperado da cultura, preço da cultura, eficiência de controle e custo do controle, sendo necessário levar em consideração variáveis que são dependentes de características ambientais, práticas culturais, preço dos produtos agrícolas e outros fatores externos (Berti et al., 1997).

Há relatos de plantas daninhas que causam perdas de rendimento em feijão como *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa*, onde é determinado o NDE dessas plantas para viabilizar o controle (Machado et al., 2015; Galon et al., 2016), no entanto informações de perdas de rendimento e NDE ocasionado por plantas daninhas voluntárias como é o caso do milho são escassas na literatura.

Diante disso, o estudo tem por objetivo avaliar o efeito da época de emergência e densidade de milho voluntário sobre a perda de rendimento de grãos e o nível de dano econômico em feijão.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três estudos a campo durante os anos de 2015, 2016 e 2017, em lavouras comerciais no município de Dois Irmãos das Missões– RS, situado a 27°39'49,46" S 53°26'42" W e área experimental da Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen – RS com coordenadas geográficas 27°23'20" S e 53°25'41" W (Tabela 1).

O solo de Dois Irmãos das Missões apresentava composição de: M.O.: 2,6%, argila 60%, pH 5,6, os teores de fósforo e potássio foram de 3,8 mg/dm³ e 176 mg/dm³ respectivamente, de Frederico Westphalen: M.O.: 3,2%, argila 60%, pH 6,2, e os teores de fósforo e potássio de 4,5 mg/dm³ e 120,5 mg/dm³, respectivamente.

Tabela 1 - Dados e informações dos locais e operações de instalação dos experimentos. Frederico Westphalen, RS, 2018

	Dois Irmãos das Missões/RS		Frederico Westphalen/RS
Operações	2015	2016	2017
Cultivar	IPR Gralha	IPR Gralha	IPR Uirapuru
Data semeadura	03/02	29/02	21/09
Data de emergência	10/02	05/03	28/09
População de plantas	288,000	288,000	288,000
Dias até colheita (DAE) ¹	88	83	90
Soma térmica ²	987	772	1010
Regime de Chuva (mm)	316	501	718

¹ dias após a emergência. ² Graus dias (°C dia).

Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos casualizados, sendo que em 2015 foram utilizadas três repetições e nos demais quatro repetições. Os experimentos foram organizados em esquema fatorial 2x7, onde o fator A constou de duas épocas de emergência do milho voluntário em relação a emergência do feijão (0 dia e aos 7 dias após a emergência do feijão), e o fator B de sete densidades de milho voluntário (0, 0,5, 1, 2, 4, 8, 12 plantas m⁻²). Para simular o milho voluntário, foram utilizados grãos de milho F2 do híbrido DK 240, sendo realizada a semeadura na entre linha da cultura do feijão. Em 2015 e 2016 as parcelas mediam 6 linhas de 45 cm por 6 metros, já em 2017 foram 5 linhas de 4,5 metros espaçadas a 45 cm.

Nos cultivos de 2015 e 2016, a semeadura do feijão foi realizada um dia após a colheita do milho, sendo que antes da semeadura foi realizada a dessecação com glyphosate (1080 g e.a. ha⁻¹). Não foi realizada a adubação de base na semeadura do feijão, pois o manejo de adubação havia sido feito na cultura de cobertura (aveia-preta) e milho, sendo aplicados 252 kg ha⁻¹ de N, 184 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ K₂O. Em cobertura do feijão foi realizado adubação nitrogenada com 67,5 kg de N ha⁻¹ no estágio de V3. Para manejo de insetos praga foi utilizado tiametoxam e lambdacialotrina (17,62+13,25 g ha⁻¹) e Triflumurom (7,4 g ha⁻¹), e o manejo de doenças com fungicidas com azoxystrobina (100g i.a ha⁻¹).

No cultivo de 2017, o feijão foi semeado em área de pousio e dessecação das plantas infestante com paraquat (400 g i.a. ha⁻¹) e a adubação de base de 12,5 kg de N, 62,5 kg de P₂O₅ e 37,5 kg de K₂O ha⁻¹, e 45 kg de N em cobertura em estágio V3. Para manejo de insetos praga foi utilizado o inseticida zeta-cipermetrina (52,5 g i.a. ha⁻¹) e o manejo de doenças com fungicidas com trifloxistrobina + protioconazol (70,0 + 60,0 g i.a. ha⁻¹).

O rendimento do feijão foi determinado colhendo manualmente três linhas centrais das parcelas em 3 metros de comprimento e após a pesagem dos grãos foi determinado a umidade e corrigido para 13%, e o rendimento expresso em kg ha⁻¹. O rendimento do feijão na ausência do milho voluntário para cada ano foi usado para calcular a percentagem de perda de rendimento em função das densidades do milho voluntário.

Os dados de perda de rendimento foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p > 0,05$), sendo a interação entre épocas de emergência e densidade do milho voluntário apresentadas por anos. Os dados de perda de rendimentos de grãos para cada ano foram ajustados o modelo de hipérbole retangular, que descreve o comportamento da perda de rendimento pelo aumento da densidade do milho voluntário: $Pr = [i.D]/[1+(i/a) . D]$, em que Pr = perda de rendimento, expressa em percentagem, em relação ao rendimento da testemunha sem infestação; D = densidade de infestação do milho voluntário; i = Pr por unidade de milho voluntário quando a densidade tende a zero; e, a = PR por unidade de milho voluntário quando a densidade tende ao infinito. O ajuste dos dados ao modelo foi realizado pelo procedimento Proc Nlin do programa computacional SAS[®] e os gráficos foram construídos pelo SigmaPlot10[®]. Foram calculados o D_{50} que indica a densidade em que ocorre redução de 50% do rendimento de grãos.

Para calcular o nível de dano econômico (NDE) foram utilizadas as estimativas do parâmetro i obtidas a partir da equação acima e a equação: $NDE = C/(R * P * (i/100) * (E/100))$, em que C = custo de controle (US\$ ha⁻¹); R = rendimento de grãos da cultura (kg ha⁻¹); P = preço do produto colhido (US\$ kg⁻¹ de grão); i = Perda de rendimento por unidade de milho voluntário quando a densidade tende a zero; e E = eficiência do controle (%). Para fins de cálculo do NDE, os valores das variáveis C , P e R foram estimados com os respectivos valores: 36, 54 e 72 US\$ ha⁻¹ para o custo de controle considerando o valor médio controle (herbicida+aplicação) na propriedade onde foi realizado o estudo; 0,5; 0,75 e 1 US\$ kg⁻¹ o preço recebido de grãos de feijão, valor pago aos agricultores na região Sul na média dos últimos 5 anos (Conab, 2017); e 500, 1500 e 2500 kg ha⁻¹ o rendimento esperado, onde os valores extrapolados a partir da produtividade média do feijão nos últimos 5 anos na região

Sul (Conab, 2017). Para a variável eficiência do herbicida no controle de plantas de milho a faixa de valores selecionada consistiu de 80, 90 e 100%.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificados efeitos isolados entre anos de cultivo, épocas de emergência e densidades de milho voluntário sobre a perda de rendimento de grãos de feijão (Tabela 2). Houve interação também entre anos x épocas de emergência, anos x densidades e épocas de emergência x densidade, no entanto não foi verificada interação tripla entre os fatores. Nesse sentido os dados foram apresentados sob efeito de épocas e densidades de milho voluntário para cada ano de cultivo.

Tabela 2 - Tabela da *Anova* de rendimento do feijão, para os anos de cultivo, época de emergência e densidade do milho voluntário. Frederico Westphalen, 2018.

Fonte de variação	Pr < F
Ano	<0,001
Época	<0,001
Densidade	<0,001
Ano x Época	<0,001
Ano x Densidade	<0,001
Época x Densidade	0,0338
Ano x Época x Densidade	0,4028

O rendimento de grãos de feijão sem competição com milho voluntário foi de 2.702; 503 e 1.220 kg ha⁻¹ nos anos de 2015, 2016 e 2017, respectivamente. O menor rendimento do feijão, em 2016, pode ter ocorrido pela época de semeadura tardia e baixa temperatura durante o desenvolvimento da cultura, além de ocorrência de geada no período de reprodutivo do feijão (Tabela 1).

Os resultados de perda de rendimento mostram que o modelo de hipérbole retangular teve um bom ajuste aos dados, apresentando valores de R² acima de 0,86 (Figura 1; Tabela 3). O milho voluntário crescendo durante o crescimento do feijão pode ser altamente competitivo, dependendo da época em que emerge ocorre durante o cultivo. Sendo que a medida que a densidade do milho voluntário é aumentada ocorrem maiores perdas no rendimento da cultura, e quando as plantas emergem concomitantemente, os danos são maiores comparado com os efeitos da emergência atrasada do milho voluntário em relação ao feijão (Figura 1).

Esses danos na produtividade também são observados em outras culturas como soja, beterraba e algodão. Na cultura da soja, a interferência do milho voluntário sobre a perda de rendimento foi de 41% com a emergência simultânea entre as plantas, chegando próximo a 1000 kg ha^{-1} no entanto, quando o milho voluntário emergiu 21 dias após a soja, não se registrou perda de rendimento (Marquardt et al., 2012).

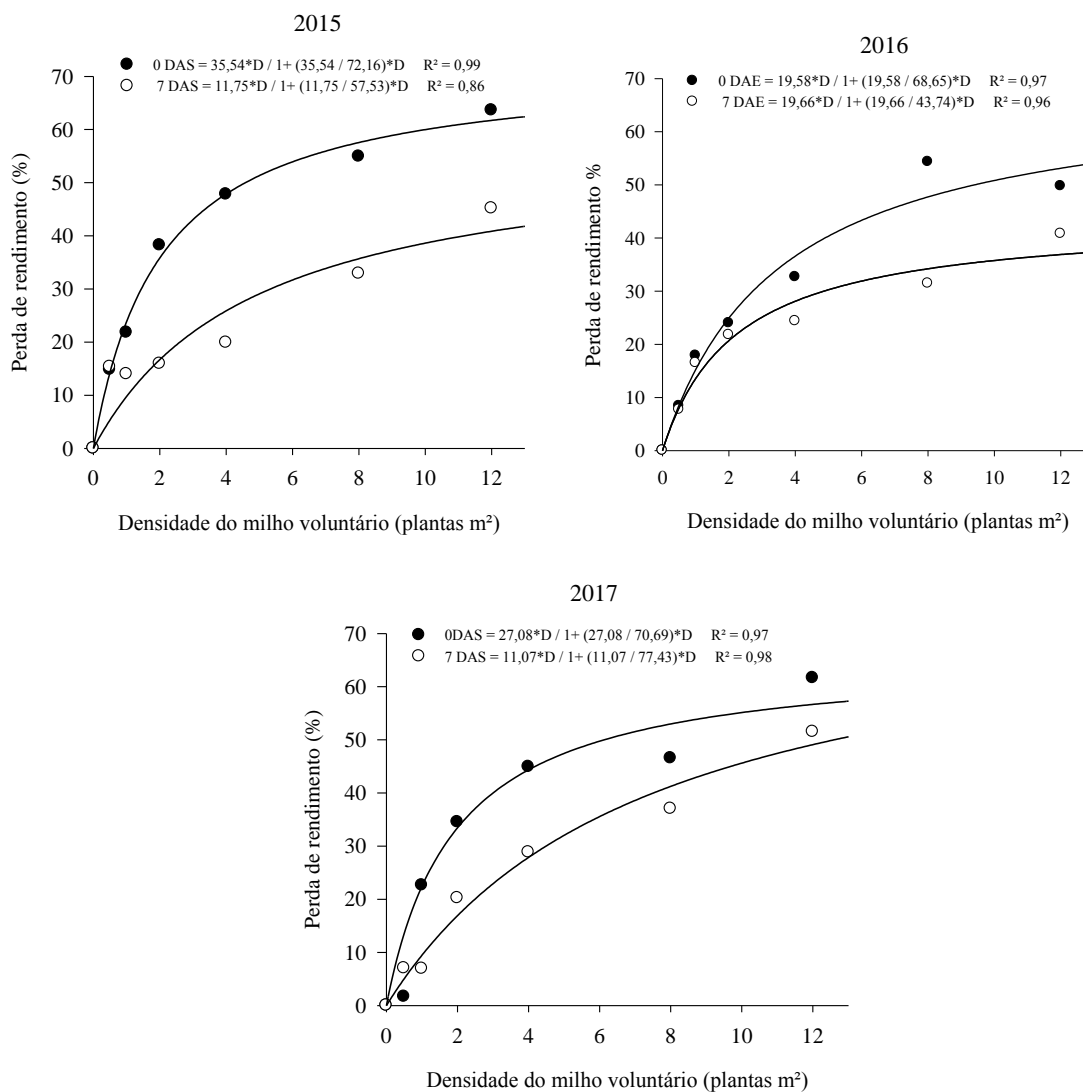


Figura 1 - Perda de rendimento (%) de grãos de feijão em convivência com milho voluntário com emergência simultaneamente (0 DAE) e sete dias após emergência (7 DAE) do feijão. Frederico Westphalen, 2018.

Tabela 3 - Parâmetros do modelo da hipérbole retangular da perda de rendimento de feijão preto, com base na época de emergência e populações do milho voluntário nos diferentes anos de cultivo. Frederico Westphalen, RS, 2018

Ano	Emergência do milho voluntário ¹	Parâmetros da equação ²			
		<i>i</i>	D ₅₀	<i>a</i>	R ²
2015	0 DAE	35,5 (3,1)	4,59	72,1(2,7)	0,99
	7 DAE	11,7 (4,6)	>12 ³	57,5 (16,0)	0,86
2016	0 DAE	19,6 (3,8)	9,39	68,6 (7,8)	0,97
	7 DAE	19,7 (4,3)	>12	43,7 (4,3)	0,96
2017	0 DAE	27,1 (7,4)	6,16	70,2 (9,5)	0,97
	7 DAE	11,1 (1,8)	>12	77,4 (11,8)	0,98

¹ Dias após a emergência do feijão. ² $Pr = [i.D]/[1+(i/a) . D]$, *i* = perda percentual de rendimento pela adição de cada planta; *a*= perda de rendimento máximo; D₅₀ = densidade de milho voluntário em que ocorre a redução de 50% do rendimento do feijão; R² coeficiente de determinação. ³ não foi possível calcular. Os valores entre parênteses indicam o erro padrão.

O milho voluntário também causou redução do rendimento de sacarose em beterraba, chegando a redução de 19% para cada planta daninha de milho voluntário por m⁻² (Kniss et al., 2012). Da mesma forma, a convivência do milho voluntário na cultura do algodão reduziu 34% do rendimento para uma população de apenas 5,25 plantas por m⁻² (Thomas et al., 2007). Já em feijão, Sbatella et al. (2016) encontraram redução do rendimento de feijão em torno de 13 % para cada planta daninha de milho voluntário.

Nos anos de 2015 e 2017 os valores do parâmetro *i* do modelo de estimativa para a perda de rendimento foram de 35,5 e 27,1 quando o milho voluntário emergiu junto com o feijão, respectivamente. Já para emergência do milho voluntário sete dias após a emergência do feijão, os valores referentes a *i* foram de 11 para ambos anos (Tabela 3 e Figura1). No entanto, no ano de 2016 pode se verificar os valores de foram *i* muito próximos em relação a época de emergência do milho voluntário, se comportando diferente aos outros dois anos de cultivo. O resultado observado para o cultivo em 2016 pode ser devido principalmente pela época de semeadura tardia e baixa temperatura durante o desenvolvimento da cultura, além de ocorrência de geada no período de reprodutivo do feijão (Tabela 1).

Os parâmetros de *i* encontrados para a interferência do milho no feijão são próximos aos observados na cultura da soja, sendo que Alms et al. (2016) encontram um valor de *i*=39,7, e Marquardt et al. (2012) observaram *i*=25, sendo esses valores obtidos para a emergência simultânea entre as plantas. Já quando o milho emergiu duas semanas após a soja, não houve danos significativos à produtividade da soja. Quando comparado o efeito do milho voluntário em feijão com plantas daninhas, a estimativa do parâmetro *i* são relativamente menores, como observado para *E. heterophylla* em competição com feijão (Machado et al.,

2015). Segundo os autores, os valores de i foram de 5,5 e 2,4 para *E. heterophylla* quando a planta daninha emergiu sete dias antes e simultaneamente o feijão (Alms et al., 2016; Marquardt et al., 2012).

O milho mostra vantagens por possuir uma arquitetura de dossel diferente do feijão, conferindo-lhe uma maior capacidade competitiva, reduzindo a qualidade da luz nas plantas vizinhas. Além disso, o milho é uma planta C_4 , e possui um sistema radicular bastante desenvolvido causando alta interferência quando em competição, característica que confere uma alta habilidade competitiva em comparação com as plantas daninhas (Marquardt et al., 2012; Caratti et al., 2016). É provável que o impacto causado pelo milho voluntário na soja esteja relacionado à competição direta pela luz devido à sua maior altura, causando uma alta supressão no crescimento da cultura (Caratti et al., 2016) visto que o feijão se enquadra nas culturas agrícolas com menor capacidade competitiva com plantas daninhas, por apresentar crescimento inicial lento e por ser enquadrado no grupo de culturas agrícolas que menos sombreiam o solo (Manabe et al., 2015).

A maior interferência provocada pelo milho voluntário que emergiu junto ao feijão é bem representada pela D_{50} , ou seja, a população necessária para causar redução de 50% do rendimento da cultura (Tabela 3). Para emergência simultânea entre as plantas, a D_{50} foi estimado variar entre 4,6 a 9,4 plantas m^{-2} , para todos os anos de cultivo. Já quando o milho voluntário emergiu com as plantas de feijão estabelecidas, não verificou-se perdas de rendimento maiores que 50% nas densidades máximas testadas.

Os valores de a (assíntota máxima) do modelo da hipérbole retangular representa uma estimativa perda de rendimento quando a população de milho voluntário tende ao infinito. Este parâmetro permite a comparação das perdas máximas de rendimento entre as épocas relativas de emergência do milho voluntário. Pode-se verificar perda de rendimento máximo variando de 72,1 a 68,6%, para a emergência simultânea entre as plantas, entretanto quando emergência do milho voluntário ocorre sete dias depois, a perda de rendimento variou de 77,4 a 43,7% (Tabela 2).

As altas perdas de rendimento do feijão em função do aumento da competição com milho voluntário, corroboram com os dados encontrados por Alms et al. (2016), os quais verificaram perda de rendimento máxima na soja de 71% em função da competição com a densidade de 3 plantas m^{-2} de milho voluntário. Em relação às plantas daninhas e feijão, as perdas são menores, sendo observadas assíntota máxima de 54% para *E. heterophylla* (Machado et al., 2015) e perdas máxima para os diferentes cultivares de feijão variando de 15,4 a 43,6% em competição com *Bidens pilosa* (Galon et al., 2016).

O aumento do potencial de rendimento da cultura do feijão resulta em redução nos valores de NDE, independente da época de emergência do milho voluntário e para ambos os anos de cultivo (Figura 2). Nos anos agrícolas de 2015 e 2017 houve um comportamento similar do NDE, pode se notar uma redução quando milho voluntário emerge junto com a cultura comparando com a emergência mais tardia. Em 2015 considerando a variação do rendimento da cultura de 500 para 2500 kg ha⁻¹ o NDE reduziu de 13.713 para 2.723 plantas de milho ha⁻¹ isso quando o milho voluntário emergiu sete dias após o feijão, já quando a emergência do milho foi junto à cultura, os valores de NDE foram ainda menores, passando de 4.515 para apenas 920 plantas de milho ha⁻¹. Em contrapartida, em 2016 o NDE foi similar entre as épocas de emergência do milho voluntário, explicado pela proximidade dos valores de *i* encontrado no modelo da hipérbole retangular (Tabela 3).

Com isso, pode-se afirmar que, em situações com alto potencial produtivo, torna-se mais econômico o controle sob baixa população de plantas de milho voluntário. Alternativamente, em situações com expectativa de baixo potencial produtivo, podem-se tolerar maiores densidades de plantas de milho voluntário para o seu controle seja economicamente viável.

O aumento no preço a ser recebido pelo produto colhido também resulta em redução nos valores de NDE (Figura 2). No ano de 2015 e 2017 houve uma redução mais acentuada do NDE quando o milho voluntário emergiu junto com o feijão. Com um aumento na expectativa de preço recebido pelo produto colhido passando de 0,5 para 1,0 US\$ o kg⁻¹ do feijão os valores de NDE reduziram de 6.808 para 3.404 planta ha⁻¹ e 7.226 para 3.613 nos anos de 2015 e 2017, respectivamente, quando o milho emergiu sete dias depois. Já quando o milho voluntário emergiu junto com o feijão a redução no número de planta viável para o controle foi menor, passando de 2.257 para 1.128 e de 2.954 para 1.477 plantas ha⁻¹ quando elevado o preço recebido pelo feijão de US\$ 0,5 para US\$ 1,0 kg⁻¹, nos anos de 2015 e 2017, respectivamente.

Em contrapartida, no ano de 2016, como salientados acima para os valores de expectativa de rendimento da cultura, os valores de época de emergência do milho voluntário não diferiram, no entanto, a redução dos valores de NDE em função do aumento da expectativa de preço recebido pelo produto colhido se comportou de forma similar aos outros anos de cultivo.

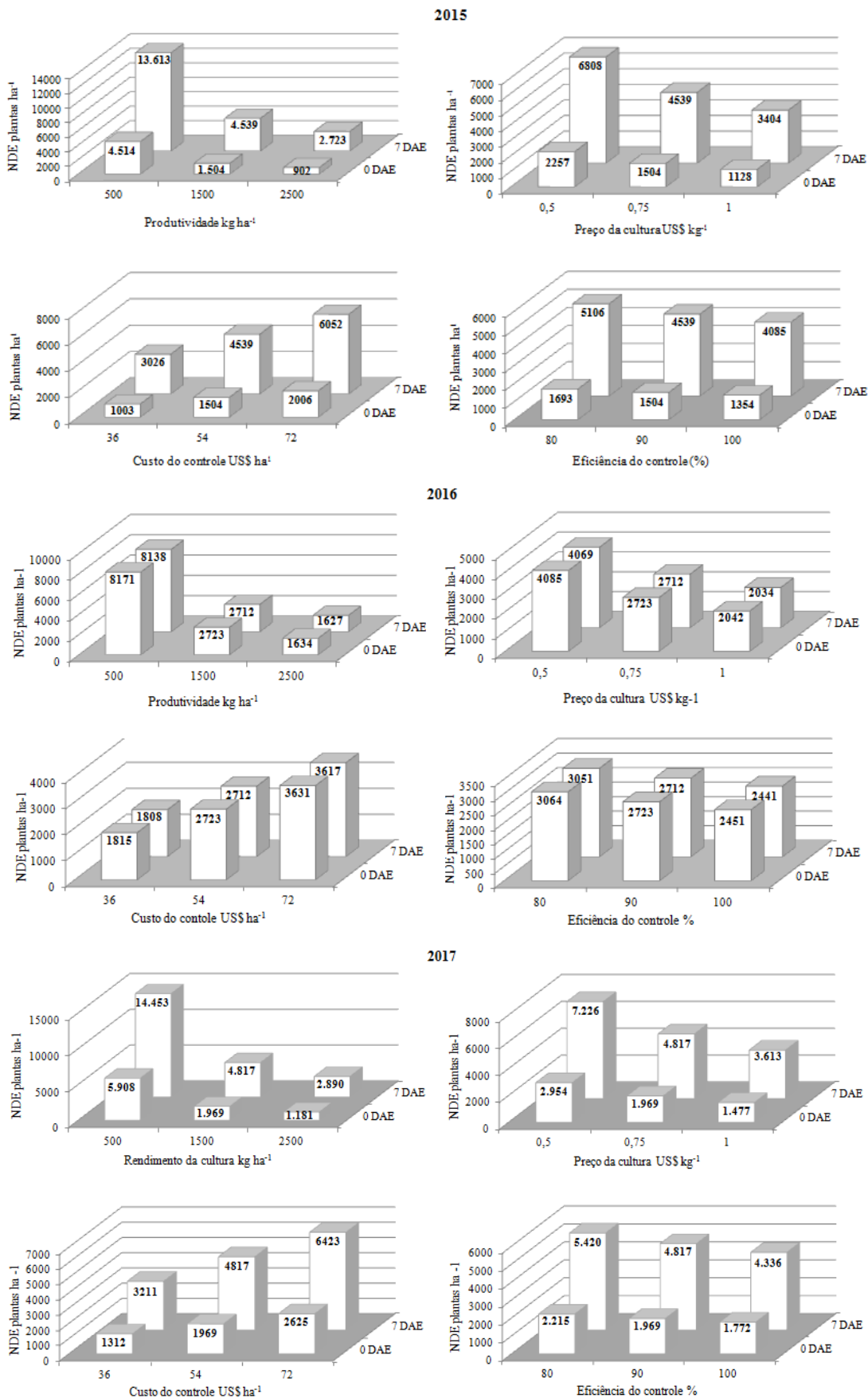


Figura 2 - Nível de dano econômico (NDE) do milho voluntário no feijão em função da época de emergência em relação a cultura, do rendimento de grãos, preço pago á cultura,

eficiência do controle e custo do controle. O 7 DAE indica emergência do milho sete dias antes do feijão, 0 DAE indica emergência simultânea do milho e feijão, e testemunha sem competição. Frederico Westphalen, RS, 2018

Vale ressaltar que tanto o rendimento da cultura como preço recebido pelo produto está parcialmente fora do controle do técnico e do agricultor, pois o rendimento da cultura do feijão pode variar de acordo com as condições climáticas, como observado para o ano de 2016 devido ao excesso de chuva, a semeadura foi tardia, o que culminou com a baixa temperatura no período vegetativo do feijão reduzindo a soma térmica e como consequência o rendimento do feijão (Tabela 1). Outros fatores que refletem sobre o rendimento do feijão é fertilidade do solo e o manejo adotado durante a cultura, enquanto os preços praticados na região variam de acordo com o mercado interno, a quantidade em estoque de produto, a relação oferta/demanda e a qualidade do produto final (Machado et al., 2015).

Com o aumento da eficiência do herbicida no controle de plantas daninhas, mantendo-se os demais fatores fixos, diminui-se o NDE (Figura 2). A redução do NDE também foi verificada quando o milho emergiu junto com a cultura em comparação a emergência mais tardia. Com a elevação da eficiência de controle de 80 para 100% o NDE reduziu de 5.106 para 4.085 e 5.420 para 4.336 nos anos de 2015 e 2017, respectivamente, isso quando o milho emergiu 7 dias depois do feijão, já quando a cultura e a planta daninha emergiram juntos a reduções passaram de 1.693 para 1.345 em 2015 e de 2.215 para 1.772 em 2017. No entanto o fator época de emergência do milho voluntário não diferiu em 2016.

Com comportamento diferente dos outros parâmetros, com o aumento do custo do controle elevou a população do milho voluntário para atingir NDE. Em relação a época de emergência do milho, em 2015 com custo médio de controle US\$ 54 ha⁻¹ o NDE reduziu de 4.539 para 1.504 planta ha⁻¹ quando o milho voluntário emergiu sete dias depois e junto com o feijão, respectivamente. Em 2016 a época de emergência não alterou os dados de NDE, fato explicado pela ocorrência de geada no final do ciclo da cultura. Em 2017 os resultados se comportaram semelhantes a 2015, onde considerando um custo médio de controle nas lavouras da região sul de 54 US\$ ha⁻¹ o NDE reduziu de 4.817 para 1.969 plantas ha⁻¹ quando o milho voluntário emergiu sete dias depois e junto com o feijão, respectivamente.

Entre as simulações realizadas apenas 3,3% dos cenários simulados o NDE foi superior a 1 planta m⁻² de milho voluntário, e em somente 15% dos cenários simulados os valores de NDE foram maiores que a menor densidade usada no estudo (0,5 plantas m⁻²) viabilizando o controle mesmo em baixas densidades. Resultados semelhantes foram

encontrados por Sbatella et al. (2016), onde o nível de dano de milho em feijão variou de 1000 a 6000 plantas ha⁻¹ quando em competição com milho voluntário. Alms et al. (2016) ressalta que o custo do controle com herbicida seria economicamente viável mesmo em densidade de milho voluntário menores que 1 planta m⁻². O NDE do milho voluntário em feijão é extremamente baixo quando comparado com outras plantas daninhas, como *Bidens pilosa* e *E. heterophylla* em feijão (Machado et al., 2015; Galon et al., 2016).

Os resultados indicam a necessidade de adoção de práticas de manejo eficazes para evitar o estabelecimento das culturas voluntárias com a cultura de interesse. Operações de controle químico (dessecação em pré-semeadura) e uso de herbicidas pré-emergentes são capazes de proporcionar condições adequadas para implantação da cultura livre de espécies infestantes. Devido à elevada perda de rendimento provocada pela competição imposta pelo milho voluntário, vale destacar a necessidade de trabalhos que investiguem o controle de herbicidas com características que permitam o manejo eficaz do milho voluntário em feijão. Na soja, a produtividade é assegurada por meio do controle eficaz das plantas voluntárias de milho, com aplicação única de cletodim (108 g ha⁻¹) no estágio de seis trifólios da soja; ou por meio de duas aplicações sequenciais do graminicida com a soja com três e seis trifólios (López-Ovejero, et al., 2016), no entanto em feijão não há registros nesse contexto.

Conclui-se que as perdas de rendimento do feijão aumentaram com a elevação na densidade de plantas de milho voluntário. A emergência do milho voluntário concomitante a cultura provoca maiores reduções no rendimento de grãos de feijão, onde o incremento na produtividade de grãos, no preço do feijão, na eficiência do herbicida e a redução no custo de controle diminuem os valores do NDE. Independentemente das simulações realizadas o NDE do milho voluntário não passou de 14.553 plantas ha⁻¹ (1,45 plantas m⁻²) podendo chegar à população mínima que necessite controle de 902 plantas ha⁻¹ (0,09 plantas m⁻²). Esses valores indicam a necessidade de manejo dessa espécie voluntária mesmo em baixas densidades ou até mesmo antes da semeadura do feijão, sob-riscos de perdas econômicas.

5.4 REFERÊNCIAS

- Alms J. et al. Yield loss and management of volunteer corn in soybean. **Weed Technology**. 2016;30:254-62.
- Balbino JR. A. A. et al. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. **Ciência Rural**. 2009;39:2340-46.
- Beckett T.H., Stoller E.W. Volunteer corn (*Zea mays*) interference in soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**. 1988;36:159-66.
- Berti A. et al. A decision model for post-emergence weed management in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Crop Protection**. 1997;16:109-16.
- Caratti F.C. et al. Partitioning of competition for resources between soybean and corn as competitor plant. **Planta Daninha**. 2016;34:657-65.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Décimo primeiro levantamento, agosto 2017 – safra 2016/2017. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS>. Acesso em: 15 janeiro. 2017.
- Deen W. et al. Control of volunteer glyphosate-resistant corn (*Zea mays*) in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**. 2006;20:261-66.
- Galon L. et al. Interference and economic threshold level for control of beggartick on bean cultivars. **Planta Daninha**. 2016;34:411-22.
- Kalsing A., Vidal R.A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**. 2013;31:843-50.
- Kniss A.R., Sbatella G.M., Wilson R.G. Volunteer glyphosate resistant corn interference and control in glyphosate resistant sugar beet. **Weed Technology**. 2012;26:348-55.

López-Ovejero R.F. et al. Interferência e controle de milho voluntário tolerante ao glifosato na cultura da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**. 2016;51:350-57.

Machado A.B. et al. Rendimento de grãos de feijão e nível de dano econômico sob dois períodos de competição com *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**. 2015;33:41-8.

Manabe P.M.S. et al. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. **Bioscience. Journal**. 2015;31:333-43.

Marquardt P.T., Krupde C., Johnson W.G. Competition of transgenic volunteer corn with soybean and the effect on western corn rootworm emergence. **Weed Science**. 2012;60:193-98.

Pester T.A. et al. *Secale cereal* interference and economic thresholds in winter *Triticum aestivum*. **Weed Science**. 2000;48:720-27.

Salgado T. P. et al. Efeitos da adubação fosfatada nas relações de interferência inicial entre plantas de milho (*Zea mays*) e de tiririca (*Cyperus rotundus*). **Planta Daninha**. 2006; 24:37-44.

Sbatella G.M et al. Volunteer Corn (*Zea mays*) Interference in Dry Edible Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technology**. 2016;30:937-42.

Silva A. F. et al. Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. **Planta Daninha**. 2008;26:65-71.

Summers C.G., Newton A.S JR., Ogenorth D.C. Overwintering of corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae), and *Spiroplasma kunkelii* (Mycoplasmatales: Spiroplasmataceae) in California's San Joaquin Valley. **Environmental Entomology**. 2004;33:1644-51.

Thomas W.E. et al. Glyphosate-resistant corn interference in glyphosate-resistant cotton. **Weed Technology**. 2007;21:372-77.

Vidal R. A. et al. Nível crítico de dano (NCD) de infestantes na cultura de feijão. In: Vidal R. A., Portugal J., Skora Neto F. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 32-38.

Westendorff N.R. et al. Perda de rendimento e limiares econômicos de castanha amarela em arroz irrigado em função do início da irrigação por inundação. **Bragantia**. 2014;73: 32-38.6

6 DISCUSSÃO GERAL

No trabalho desenvolvido em modelo de série de substituição (artigo I), pode-se considerar que, de modo geral, para emergência simultânea entre milho voluntário e feijão, os efeitos de uma espécie sobre a outra na competição pelos recursos do ambiente foram pouco visíveis pelas variáveis avaliadas, sendo que a habilidade de uma planta interferir sobre a outra quanto à altura, foi equivalente. Em contrapartida, em emergência antecipada do milho voluntário, as plantas de feijão foram mais altas em relação a testemunha na ausência do milho voluntário.

Esse aumento, possivelmente, está em resposta à fuga da sombra, ou seja, resposta à mudança na qualidade de luz. Nessas condições, ocorre um aumento da biossíntese de auxina que é transportado para a epiderme, responsável pelo controle do alongamento das células. As auxinas interagem também com brassinosteróides, um potente estimulador do crescimento, ainda nessas condições ocorre também à produção de etileno. Hormônios pelos quais são responsáveis pelo alongamento vegetal para a resposta da fuga da sombra (RUBERTI et al., 2012).

Os resultados de redução da área foliar são maiores quando o milho voluntário emerge sete dias antes que o feijão, isso está relacionado à morfologia das plantas de milho nessas condições, que atingem maior altura e se estabelecem acima da copa das plantas de feijão. A competição ocorre, nesse caso, principalmente por luz, acarretando redução na área foliar das plantas de feijão.

Ainda no modelo de série de substituição, há alteração na biomassa seca do feijão e do milho voluntário que emergem simultaneamente, entre as proporções testadas, confirmando a ausência de superioridade competitiva entre as plantas para ambos os cultivares de feijão. Na emergência antecipada, o milho voluntário mostrou-se mais competitivo que as cultivares de feijão, uma vez que a biomassa seca do milho voluntário não foi afetada mesmo em competição com proporções mais altas de plantas de feijão, já o feijão teve a biomassa seca reduzida em competição com o milho emergindo sete dias antes.

Nos trabalhos de interferência de milho voluntário sobre o feijão, relativo ao artigo II, houve redução na altura das plantas de feijão quando em competição com o milho voluntário emergindo de forma antecipada, isso quando a competição se estabeleceu pelos recursos abaixo e acima do solo, já quando a competição se estabeleceu apenas pela luz, não houve alteração no desenvolvimento em altura do feijão. Neste caso, o menor crescimento em altura do feijão sugere que a competição pelos recursos do solo ocorreu em maior intensidade. Já o

diâmetro do caule, o comprimento de raiz e a massa seca total do feijão foram/são reduzidos quando em competição com o milho voluntário. No entanto, pode-se perceber um maior efeito quando a competição se estabelece pelos recursos luz e solo+luz e quando o milho emerge sete dias antes, mostrando uma alta suscetibilidade do feijão quando em competição com o milho voluntário. A baixa capacidade de competir com plantas daninhas do feijão deve-se à baixa habilidade competitiva, sendo enquadrado no grupo de culturas agrícolas que menos sombreiam o solo, o que expõe a cultura à intensa interferência de plantas daninhas (MANABE et al., 2015).

Ainda relativo à competição com o milho voluntário, pode-se notar redução dos teores de clorofila *a*, *b* e *a+b* do feijão, tanto para competição total como para competição envolvida apenas pelo recurso luz, no entanto não foi observada diferença dos teores de clorofila quanto à época de emergência do milho voluntário. A redução dos teores de clorofila das folhas é um indicativo de estresses bióticos ou abióticos que modificam o poder de assimilação do CO₂, com alterações fisiológicas na atividade fotossintética (BAKER; ROSENQVIST, 2004). Quando plantas concorrentes crescem em um mesmo ambiente e estabelecem algumas relações estressantes, como a competição por recursos essenciais ao desenvolvimento vegetal, e a falta de algum desses recursos pode afetar o teor de clorofila das plantas (AMARAL et al., 2015).

As variáveis de fluorescência da clorofila, F₀, F_m, YII, ETR e NPQ foram alteradas quando em competição com o milho voluntário, no entanto essa modificação na maioria das vezes só é visualizada quando o milho voluntário emerge sete dias antes que o feijão e quando a competição se estabelece pelos recursos abaixo e acima do solo. Por ser um parâmetro rápido e não destrutivo que se correlaciona diretamente com as variáveis de crescimento das plantas em competição verificado no estudo, a fluorescência da clorofila torna-se uma importante ferramenta de análise que pode ser usada para verificar o estresse causado pela interferência das plantas daninhas.

Relacionado ao artigo III, também de avaliação da interferência do milho voluntário sobre o feijão, a competição imposta pelo fator luz aumentou o desenvolvimento de inserção do primeiro nó do feijão, isso quando a emergência do milho voluntário se estabeleceu sete dias antes que o feijão. As plantas são capazes de perceber a presença de plantas vizinhas em sua fase inicial de desenvolvimento e redirecionar o fluxo de fotoassimilados em função da qualidade de radiação luminosa interceptada pelas plântulas (VIDAL e MEROTTO Jr., 2010). O estiolamento do caule das plantas é então atribuído como mecanismo de escape da cultura da condição de baixa qualidade luminosa. O fato da competição por ambos os recursos não ter

estimulado o estiolamento do caule das plantas de feijão pode estar atribuído à competição ocorrida no solo restringir recursos como água e nutrientes, que seriam utilizados pela planta para se desenvolver em altura (LAMEGO et al., 2015).

A competição imposta apenas pelo fator luz não foi capaz de alterar a emissão do número de trifólios do feijão, em contrapartida, quando o fator solo está presente na competição a emissão do número de trifólios é reduzido em função da interferência com milho voluntário. Como a emissão de folhas está diretamente relacionada com a absorção de água e nutrientes pelas plantas, quando em competição, isso pode ter sido fundamental para interferência imposta sobre o feijão ser maior quando o milho emergiu sete dias antes.

As plantas de feijão tiveram redução da área foliar, biomassa seca da raiz e biomassa seca da parte aérea quando em competição com o milho voluntário. Quando houve competição por ambos os recursos, as reduções ocorreram tanto quando o milho voluntário se estabeleceu simultaneamente como sete dias antes que o feijão. Já na competição apenas pelo recurso luz, o milho voluntário não foi capaz de reduzir a área foliar, biomassa seca da raiz e biomassa seca significativamente ao emergir concomitantemente com a cultura, no entanto, as variáveis são alteradas quando o milho emergiu sete dias antes.

A proximidade de plantas da mesma espécie ou de espécies diferentes resulta em competição pela quantidade e qualidade da luz incidente, além dos recursos do solo, podendo ocorrer danos sobre o incremento de área de foliar, resultado da interferência no crescimento e desenvolvimento de folhas. A maior redução da biomassa seca da parte aérea e da biomassa seca de raiz deve-se à competição do milho voluntário com feijão principalmente por água e nutrientes, em que a porcentagem de redução varia de acordo com a quantidade de recursos do ambiente disponíveis às plantas que estão crescendo em convivência.

Com relação as características estomática, as folhas de feijão são consideradas anfiestomáticas, ou seja, os estômatos são encontrados em ambos os lados das superfícies das folhas, onde a epiderme inferior (abaxial) tende a apresentar maior densidade estomática do que a epiderme superior (adaxial). A densidade estomática das plantas de feijão aumenta quando em competição com o milho voluntário, no entanto, essa alteração só foi visível quando o milho emergiu de forma antecipada e competindo por ambos os recursos luz e solo. Já o índice estomático não foi alterado em nenhuma condição de competição e época de emergência do milho voluntário.

Quando avaliada a perda de rendimento do feijão em convivência com o milho voluntário (artigo IV), o milho voluntário crescendo junto ao feijão pode ser altamente competitivo, dependendo da época em que emerge ocorre durante o cultivo. Sendo que a

medida que a densidade do milho voluntário é aumentada, ocorrem maiores perdas no rendimento da cultura, e quando as plantas emergem concomitantemente, causam maiores danos comparado com a emergência atrasada do milho voluntário em relação ao feijão.

O milho mostra vantagens por possuir uma arquitetura de dossel diferente do feijão, conferindo-lhe uma maior capacidade competitiva, reduzindo a qualidade da luz nas plantas vizinhas. Além disso, o milho é uma planta C_4 , e possui um sistema radicular bastante desenvolvido causando alta interferência quando em competição característica que confere uma alta habilidade competitiva em comparação com outras plantas daninhas (MARQUARDT et al., 2012).

Os valores de i , a e D_{50} são maiores quando a emergência do milho ocorre simultaneamente o feijão em comparação com a emergência tardia, mostra a superioridade competitiva quando emerge mais próximo a cultura. O aumento do potencial de rendimento da cultura do feijão, no preço a ser recebido pelo produto colhido, e na eficiência do herbicida no controle de plantas daninhas reduzem os valores de nível de dano econômico do milho voluntário em contrapartida a elevação do custo do controle aumenta o nível de dano.

Com isso, pode-se afirmar que, em situações com alto potencial produtivo torna-se mais econômico o controle sob baixa população de plantas de milho voluntário. Alternativamente, em situações com expectativa de baixo potencial produtivo, podem-se tolerar maiores densidades de plantas de milho voluntário para o seu controle ser economicamente viável. Tanto o rendimento da cultura como preço recebido pelo produto está parcialmente fora do controle do técnico e do agricultor, pois o rendimento da cultura do feijão pode variar de acordo com as condições climáticas, fertilidade do solo e o manejo utilizado durante a cultura, enquanto os preços praticados na região variam de acordo com o mercado interno, a quantidade em estoque de produto, a relação oferta/demanda e a qualidade do produto final (MACHADO et al., 2015).

Os resultados indicam a necessidade de adoção de práticas de manejo eficazes para evitar o estabelecimento das espécies daninhas ou culturas voluntárias próximas, ou antes, da espécie cultivada. Operações de controle químico (dessecação em pré-semeadura) e uso de herbicidas pré-emergentes são capazes de proporcionar condições adequadas para implantação da cultura livre de plantas daninhas. Outras práticas de contraste como a utilização de plantas de cobertura do solo, podem ser empregadas para redução das infestações no período que antecede a implantação da cultura do feijão. No entanto, quando se fala em milho voluntário competindo com a cultura do feijão a janela de semeadura é curta, esperar as plantas de milho emergir para fazer o controle pode acarretar prejuízos ainda

maiores, e ainda a aplicação de pré-emergentes além de retardar a semeadura poderia não atingir de forma eficaz as plantas de milho.

Devido à elevada perda de rendimento provocada pela competição imposta pelo milho voluntário, vale destacar a necessidade de trabalhos que investiguem herbicidas com características que permitam uma gestão eficaz do milho voluntário em feijão. Em soja, a produtividade é assegurada por meio do controle eficaz das plantas voluntárias de milho, com aplicação única de cletodim (108 g ha^{-1}) no estágio de seis trifólios da soja; ou por meio de duas aplicações sequenciais do graminicida com a soja com três e seis trifólios, no entanto em feijão não há relatos nesse contexto (LÓPEZ-OVEJERO, et al., 2016).

7 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos permitem concluir que, de maneira geral, as cultivares de feijão IPR Gralha e Fepagro Triunfo não se distinguem entre si quando em competição com o milho voluntário, sendo esse mais competitivo que o feijão quando a emergência ocorre de forma antecipada.

Quando a competição se estabelece pelo recurso luz, a interferência do milho voluntário reduz os pigmentos fotossintéticos, crescimento e desenvolvimento das plantas de feijão, sendo que a competição por recursos de solo+luz também altera a fluorescência da clorofila da cultura, indicando maior estresse a nível fisiológico.

Há correlação forte entre as variáveis de crescimento das plantas de feijão e a fluorescência da clorofila o que a torna uma importante ferramenta de análise que pode ser usada para verificar o estresse causado pela interferência das plantas daninhas.

A competição pelo fator luz reduz a área foliar e a Biomassa seca das plantas de feijão apenas quando o milho emerge de forma antecipada, no entanto, quando a competição se estabelece pelos recursos solo+luz as alterações nas plantas de feijão são visíveis já na emergência simultânea.

A densidade estomática das plantas de feijão aumenta quando em competição com o milho voluntário, no entanto, essa alteração só foi visível quando o milho emerge de forma antecipada e competindo por ambos os recursos luz e solo.

As perdas de rendimento de grãos de feijão aumentam com a elevação na densidade de plantas de milho voluntário, tendo maior redução no rendimento quando o milho emerge de forma simultânea ao feijão comparado com a emergência tardia.

A emergência do milho voluntário concomitante com feijão reduz dos valores de NDE comparado com a emergência tardia, onde o incremento na produtividade de grãos, no preço do feijão, na eficiência do herbicida e a redução no custo de controle também diminuem os valores do nível de dano econômico.

Independentemente das simulações realizadas, o NDE do milho voluntário foi baixo, os quais indicam a necessidade da gestão eficiente do milho voluntário no feijão mesmo em baixas densidades, sob riscos de perdas econômicas devido a interferência imposta pelo milho.

O NDE do milho voluntário na cultura do feijão é baixo (0,09 a 1,45 pl/m²), indicando a necessidade da gestão eficiente sob risco de perdas drásticas na produtividade de grãos.

8 REFERÊNCIAS

AFIFI M.; SWANTON C. Early physiological mechanisms of weed competition. **Weed Science**. v. 60, n. 4, p. 542-551, 2012. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1614/WS-D-12-00013.1>. Acesso em: Jan. 2018.

AGOSTINETTO, D. et al. Perdas de rendimento de grãos na cultura de arroz irrigado em função da população de plantas e da época relativa de emergência de arroz-vermelho ou de seu genótipo simulador de infestação de arroz-vermelho. **Planta Daninha**. v. 22, n. 2, p. 175-183, 2004 Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582004000200002. Acesso em: Jan. 2018.

ALMS, J. et al. Yield loss and management of volunteer corn in soybean. **Weed Technology**. v. 31, n. 6, p. 254-262, 2016. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WT-D-15-00096.1>. Acesso em: Jan. 2018.

AMARAL, C. L. et al. Relações de interferência entre plantas daninhas e a cultura do grão-de-bico. **Bioscience Journal**, v. 31, p. 37-46, 2015. Disponível em <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17971>. Acesso em: Jan. 2018.

BAKER N. R., ROSENQVIST E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany** v. 55, p. 1607-1621, 2004. Disponível em <https://academic.oup.com/jxb/article/55/403/1607/531424>. Acesso em: Jan. 2018.

BALLARÉ, C.L. Light Regulation of Plant Defense. **Annual Review of Plant Biology**. v. 65, p. 335-363, 2014. Disponível em: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-arplant-050213-040145>. Acesso em: Jan. 2018.

BECKETT, T.H; STOLLER, E.W. Volunteer corn (*Zea mays*) interference in soybeans (*Glycine max*). **Weed Science** v. 36, n. 2, p. 159–166, 1988. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/volunteer-corn-zeamays-interference-in-soybeans-glycinemax/>. Acesso em: Jan. 2018.

BEERLING, D.J., CHALONER, W.G. The impact of atmospheric CO₂ and temperature change on stomatal density: observations from *Quercus robur* Lammad leaves. **Annals of Botany**. v. 71, n. 3, p. 231-235, 1993. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/articleabstract/71/3/231/203377?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: Jan. 2018.

BERTI, A. et al. A decision model for post-emergence weed management in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Crop Protection**. v. 16. P. 109-116, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219496000889>. Acesso em: Jan. 2018.

BRODY, S.S. Fluorescence lifetime, yield, energy transfer and spectrum in photosynthesis. 1950–1960. **Photosynthesis Research**. v. 73, p. 127-132, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020405921105>. Acesso em: Jan. 2018.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Décimo primeiro levantamento, agosto 2017 – safra 2016/2017. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS>. Acesso em: Jan. 2018.

COSTA, A.C.T et al. Avaliação visual e do potencial fotossintético para quantificação da ferrugem do milho pérola e correlações com a produção. **Tropical Plant Pathology**, vol. 34, n. 5, p. 313-321, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/tpp/v34n5/v34n5a04.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

CURY, J.P. et al. Produção e partição de Biomassa seca de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta daninha**. v.29, n.1, p. 149-158, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-83582011000100017&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: Jan. 2018.

DAI, L. et al. Enhanced photosynthesis endows seedling growth vigour contributing to the competitive dominance of weedy rice over cultivated rice. **Pest Management Science**. v. 73, n. 7, p. 1410-1420, 2017. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.4471/full>. Acesso em: Jan. 2018.

DEEN W, et al. Control of volunteer glyphosate-resistant corn (*Zea mays*) in glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**. v. 20, n. 1, p. 261–266, 2006. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1614/WT-02-128.1>. Acesso em: Jan. 2018.

FERREIRA, P.A.A et al. *Rhizophagus clarus* and phosphate alter the physiological responses of *Crotalaria juncea* cultivated in soil with a high Cu level. **Applied Soil Ecology**, v. 91, p. 37-47, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139315000517>. acesso em: Jan. 2018.

FREITAS, F.C.L. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. **Planta Daninha**. v. 27, n. 2, p. 241-247, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582009000200005. Acesso em: Jan. 2018.

GALMÉS, J, et al. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. **Plant and Soil**. v. 290, n. 1-2, p. 139-155, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-006-9148-6>. Acesso em: Jan. 2018.

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. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582016000300411. Acesso em: Jan. 2018.

HUANG, J. et al. Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in tomato leaves infested with an invasive Mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Environmental Entomology**. v. 42, n. 5, p. 973-979, 2013. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1603/EN12342?journalCode=enve>. Acesso em: Jan. 2018.

KALSING, A.; VIDAL, R.A. Nível crítico de dano de papuã em feijão-comum. **Planta Daninha**, v. 31, n. 4, p. 843-850, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010083582013000400010&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: Jan. 2018.

KNISS, A.R.; SBATELLA G.M.; WILSON R.G. Volunteer glyphosate resistant corn interference and control in glyphosate resistant sugar beet. **Weed Technology**, v. 26, n. 2, p. 348-355, 2012. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/volunteer-glyphosateresistant-corn-interference-and-control-in-glyphosateresistant-sugarbeet/B1B95F08A421774BC445F3609A0BFBCF>. Acesso em: Jan. 2018.

LAMEGO, F.P et al. Alterações morfológicas de plântulas de trigo, azevém e nabo quando em competição nos estádios iniciais de crescimento. **Planta Daninha**, v. 33, p. 13-22, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pd/v33n1/0100-8358-pd-33-01-00013.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

LÓPEZ-OVEJERO, R.F. et al. Interferência e controle de milho voluntário tolerante ao glifosato na cultura da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, 350-357, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v51n4/1678-3921-pab-51-04-00340.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

MACHADO, A.B. et al. Rendimento de grãos de feijão e nível de dano econômico sob dois períodos de competição com *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 33, p. 41-48, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pd/v33n1/0100-8358-pd-33-01-00041.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

MANABE, P.M.S. et al. Efeito da competição de plantas daninhas na cultura do feijoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 333-343, 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22271/16107>. Acesso em: Jan. 2018.

MARQUARDT, P.T.; KRUPDE, C.; JOHNSON, W.G. Competition of transgenic volunteer corn with soybean and the effect on western corn rootworm emergence. **Weed Science**, v. 60, n. 2, p. 193-198, 2012. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1614/WS-D-11-00133.1>. Acesso em: Jan. 2018.

MCPHEE, C.S.; AARSSSEN, L.W. The separation of above- and below-ground competition in plants. A review and critique of methodology. **Plant Ecology**, v. 152, n. 2, p. 119-136, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1011471719799>. Acesso em: Jan. 2018.

MORAES, E.S; MENELAU, A.S. Análise do mercado de feijão comum. **Revista Brasileira de Política Agrícola**, V.26, n.1, p. 81-92. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1245/pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, G. J. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442380400189X>. Acesso em: Jan. 2018.

NILSON, S.E.; ASSMANN, S.M. The control of transpiration. Insights from *Arabidopsis*. **Plant Physiology**. v. 143, n. 1, p. 19-27. Disponível em: <http://www.plantphysiol.org/content/143/1/19>. Acesso em: Jan. 2018.

PERBONI, A.T. et al. Baixas temperaturas sobre a fluorescência da clorofila a em plantas de diferentes híbridos de canola. **Ciência Rural**. v. 45, n. , p. 215-222, 2015. Disponível em: <http://revistas.bvs-vet.org.br/crural/article/view/24693/25520>. Acesso em: Jan. 2018.

PESTER, T.A. et al. *Secale cereal* interference and economic thresholds in winter *Triticum aestivu*. **Weed Science**. v. 48, n. 6, p. 720-727, 2000. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/secale-cereale-interference-and-economic-thresholds-in-winter-triticum-aestivum>. Acesso em: Jan. 2018.

PITELLI, R.A Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informativo Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 11, n. 129, p. 16-27, 1985.

RADOSEVICH, S.R. Methods to study interactions among crops and weeds. **Weed Technology**. v. 1, n. 3, p. 190-198, 1987. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3987468?seq=1#page_scan_tab_contents. Acesso em: Jan. 2018.

SBATELLA, G.M et al. Volunteer Corn (*Zea mays*) Interference in Dry Edible Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Technology**. v. 30, n. 4, p. 937-942, 2016. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-technology/article/volunteer-corn-zea-mays-interference-in-dry-edible-bean-phaseolus-vulgaris>. Acesso em: Jan. 2018.

SCHOCK, A.A. et al. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-manso cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 1, p. 3-9, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n1/v18n1a01.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

SILVA, F.G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v19n10/1807-1929-rbeaa-19-10-0946.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

SUMMERS. C.G.; NEWTON, A.S JR.; OPGENORTH, D.C. Overwintering of corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae), and *Spiroplasma kunkelii* (Mycoplasmatales: Spiroplasmataceae) in California's San Joaquin Valley. **Environmental Entomology**. v. 33, n. 6, p. 1644-1651, 2004. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article/33/6/1644/353636>. Acesso em: Jan. 2018.

TAVARES C.J. et al. Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.8, n1, p. 27-32, 2013. Disponível em http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i1a1849&path%5B%5D=1322. Acesso em: Jan. 2018.

TEIXEIRA, I. R. et al. Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 235-240, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582009000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: Jan. 2018.

THOMAS, W.E. et al. Glyphosate-resistant corn interference in glyphosate-resistant cotton. **Weed Technology**. v. 21, n. 2, p. 372-377, 2007. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1614/WT-06-007.1>. Acesso em: Jan. 2018.

ULGUIM, A. da R. et al. Does competition between soybeans and Wild Poinsettia with low-level resistance or susceptibility to glyphosate affect physiology and secondary metabolism? **Semina: Ciências Agrárias**. v. 38, n. 3, p. 1133-1144, 2017. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/25314/20986>. Acesso em: v. 65, p. 335-363, 2014 Disponível em: <http://www.biologia.ucr.ac.cr/profesores/Garcia%20Elmer/Light%20Regulation%20of%20plant%20defense.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

VANDEVENDER, K.W.; COSTELLO, T.A.; SMITH, R.J. Model of rice (*Oryza sativa*) yield reduction as a function of weed interference. **Weed Science**. v. 45, n. 2, p. 218-224, 1997 Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/model-of-rice-oryza-sativa-yield-reduction-as-a-function-of-weed-interference/D1673A0CAC035CA96971C19EC56EC8B3>. Acesso em: Jan. 2018.

VIDAL, R. A. et al. Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais. In: Vidal R. A., Portugal J., Skora Neto F. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 32-38.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR. A. **Inicialismo**. In: Vidal R. (Ed). Interação negativa entre plantas: inicialismo, alelopatia e competição. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 33-49.

WESTENDORFF, N.R et al. Perda de rendimento e limiares econômicos de castanha amarela em arroz irrigado em função do início da irrigação por inundação. **Bragantia**. v. 73, n. 1, p. 32-38, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052014000100005. Acesso em: Jan. 2018.

WOODWARD, F.I. Stomatal numbers are sensitive to increases in CO₂ from pre-industrial levels. **Nature**. 327, p. 617-618, 1987. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/32043395_Stomatal_Numbers_Are_Sensitive_to_Increases_in_CO2_from_Pre-Industrial_Levels. Acesso em: Jan. 2018.

YAN, H. et al. Leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence, ion content and free amino acids in *Caragana korshinskii* Kom exposed to NaCl stress. **Acta Physiologiae Plantarum**. v. 34, n. 5, p. 2285-2295, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257724072_Leaf_photosynthesis_chlorophyll_fluorescence_ion_content_and_free_amino_acids_in_Caragana_korshinskii_Kom_exposed_to_NaCl_stress. Acesso em: Jan. 2018.

YANG, L. et al. The changes of water-use efficiency and stoma density of *Leymus chinensis* along Northeast China Transect. **Acta Ecologica Sinica**. v. 27, n.1, p. 16-24, 2007.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203207600067>. Acesso em: Jan. 2018.

ZHANG, X.Y. et al. Stomatal density and distributions of spring wheat leaves under different planting densities and soil moisture levels. **Acta Phytoecologica Sinica**. v. 27, n. 1, p. 133-136. Disponível em: <http://europemc.org/abstract/cba/359677>, Acesso em: Jan. 2018.

ZHAO, S. et al. Influence of different salt level on stomatal character in rice leaves. **Reclaiming and Rice Cultivation**. v.6 p. 26-29, 2006. Disponível em: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-KZDZ200606012.htm. Acesso em: Jan. 2018.