

VALDEVINO PEREIRA SILVA

**EFICIÊNCIA E RESIDUAL NO SOLO DE HERBICIDAS APLICADOS EM
PÓS EMERGÊNCIA NA CULTURA DO FEIJÃO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586e
2012

Silva, Valdevino Pereira, 1971-

 Eficiência e residual no solo de herbicidas aplicados em
 pós-emergência na cultura de feijão / Valdevino Pereira Silva.
 – Viçosa, MG, 2012.
 xv, 49f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

 Orientador: Lino Roberto Ferreira.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

 Referências bibliográficas: f. 45-49

 1. Feijão - Ervas daninhas - Controle. 2. Herbicidas -
 Toxicologia. 3. Feijão - Efeito dos herbicidas. I. Universidade
 Federal de Viçosa. II. Título.

 CDD 22. ed. 635.6529954

VALDEVINO PEREIRA SILVA

**EFICIÊNCIA E RESIDUAL NO SOLO DE HERBICIDAS APLICADOS EM
PÓS EMERGÊNCIA NA CULTURA DO FEIJÃO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 6 de junho de 2012.

Francisco Claudio Lopes de Freitas

Leonardo D'Antonino

José Eustáquio de Souza Carneiro
(Coorientador)

Lino Roberto Ferreira
(Orientador)

À minha esposa Ivane,

À minha linda filhinha Anna Clara,

Aos meus amados pais Waldemar Felipe e Maria Neuza,

Aos meus queridos irmãos Edilson, Valdeci, Viviane e Veridiana.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante na minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, pela liberação para a conclusão das disciplinas.

Ao Professor Lino Roberto Ferreira, pela orientação, cooperação e amizade.

Aos Professores José Eustáquio Carneiro, Paulo Roberto Cecon, Leonardo d'Antonino e Antônio Alberto da Silva, pelo apoio e pelas sugestões para a realização deste trabalho.

Aos técnicos e funcionários da UFV Sebastião Pelúzio e Luis Henrique Lopes de Freitas, pelo apoio durante a realização dos experimentos.

À minha amiga Paula, por importantes ajudas.

À minha esposa Ivane Oliveira Martins e à minha filha Anna Clara Oliveira da Silva, pelo apoio e pela compreensão.

Aos meus pais, aos meus irmãos, aos meus amigos e aos demais familiares.

BIOGRAFIA

VALDEVINO PEREIRA SILVA, filho de Waldemar Felipe da Silva e Maria Neuza Pereira Felipe e pai de Anna Clara Oliveira da Silva, nasceu na cidade de São João Evangelista, Minas Gerais, em 30 de abril de 1971.

Em fevereiro de 2010, graduou-se em Tecnologia em Silvicultura pelo Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, Minas Gerais, Brasil.

Em fevereiro de 2011, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em nível de Mestrado, da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em junho de 2012.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1. Experimentos a campo.....	11
4.1.1. Plantio do feijão.....	12
4.1.2. Plantio do milho.....	17
4.1.3. Análise estatística.....	18
4.2. Experimentos em casa de vegetação.....	18
4.2.1. Experimento com sorgo.....	18
4.2.2. Experimento com milho.....	19
4.2.3. Características avaliadas.....	19
4.2.4. Análise estatística.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1. Experimentos de campo.....	21

5.1.1. Efeito dos tratamentos sobre o controle das plantas daninhas na cultura do feijão	21
5.1.2. Efeito dos tratamentos sobre a cultura do feijão.....	26
5.1.4. Efeito de herbicidas aplicados na cultura do feijão sobre a cultura do milho em sucessão	30
5.2. Experimentos em casa de vegetação.....	32
5.2.1. Ação residual dos herbicidas sobre plantas de sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>).....	32
5.2.2. Ação residual do herbicida Flex sobre plantas de milho	41
6. CONCLUSÕES	44
7. REFERÊNCIAS.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas e classificação textural da amostra de solo da área experimental. Viçosa, 2012.....	12
Tabela 2 - Tratamentos avaliados no campo com o feijão cultivar Ouro Vermelho.....	13
Tabela 3 - Densidade de plantas daninhas no dia da aplicação dos herbicidas.....	14
Tabela 4 - Conceitos atribuídos à eficiência de controle de plantas daninhas, segundo a escala da Asociación Latinoamericana de Malezas por meio de avaliação visual.....	15
Tabela 5 - Conceitos atribuídos à porcentagem de intoxicação de plantas pelos herbicidas avaliados.....	16
Tabela 6 - Porcentagem de controle de plantas daninhas 14 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na cultura do feijão e respectiva classificação, segundo a escala da ALAM (1974).....	22
Tabela 7 - Médias de densidade relativa e matéria seca relativa de plantas daninhas encontradas na testemunha sem capina 14 dias após a aplicação dos herbicidas.....	22
Tabela 8 - Notas atribuídas à facilidade ou dificuldade de colheita da cultura do feijão em função da infestação de plantas daninhas..	26
Tabela 9 - Porcentagem de intoxicação nas plantas de feijão causada pelo uso dos herbicidas Amplo e Flex, aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA).....	27

Tabela 10 - Resumo das análises de variância referente às características: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G) e produtividade de grãos (PROD)	28
Tabela 11 - Média do número de vagens por planta (NVPL) e produtividade de grão em kg ha^{-1} (PROD) em função dos tratamentos avaliados.....	29
Tabela 12 - Produtividade (kg ha^{-1}) de feijão em diferentes doses de Amplo e Flex, aplicados isoladamente.....	30
Tabela 13 - Média de produtividade (PROD) de grãos de milho semeados 64 dias após a colheita de feijão [150 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)] em função de diferentes tratamentos aplicados no feijão.....	32
Tabela 14 - Equações ajustadas da porcentagem de intoxicação de plantas de sorgo, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução da intoxicação dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à testemunha (I-50)	35
Tabela 15 - Equações ajustadas da porcentagem de intoxicação de plantas de sorgo em relação à testemunha, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução da intoxicação dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à testemunha (I-50).....	37
Tabela 16 - Equações ajustadas da porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo em relação à testemunha, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução do acúmulo da matéria seca das plantas dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à da testemunha (I-50).....	38

Tabela 17 - Equações ajustadas da porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, em relação à testemunha, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução do acúmulo da matéria seca dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à da testemunha (I-50).....	40
Tabela 18 - Média de intoxicação de plantas de milho aos sete e 21 DAE e % em relação à testemunha, cultivado em vaso com solos coletados aos 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na cultura do feijão	42
Tabela 19 - Média de matéria seca (MS), em grama/vaso da parte aérea de plantas de milho aos 21 dias após o plantio em solo coletado aos 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na cultura do feijão.....	43

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, distribuição de precipitação (chuva) e umidade relativa no período de 13 de junho a 13 de dezembro de 2011 15
- Figura 2 - Representação da escala de dificuldade de colheita do feijão “Ouro Vermelho”: (A) fácil, (B) regular e (C) difícil (fotos 15 dias antes da colheita)..... 17
- Figura 3 - Porcentagem da densidade de plantas (A) e da matéria seca de parte aérea de plantas daninhas (B), em relação à testemunha sem capina, aos 14 dias após a aplicação de herbicida Amplo e Flex. T1 – Amplo 0,25 L ha⁻¹; T2 – Amplo 0,50 L ha⁻¹; T3 – Amplo 0,75 L ha⁻¹; T4 – Amplo 1,0 L ha⁻¹; T5 – Flex 0,25 L ha⁻¹; T6 – Flex 0,50 L ha⁻¹; T7 – Flex 0,75 L ha⁻¹; T8 – Flex 1,0 L ha⁻¹; T9 – Amplo+Flex (0,75+0,25) L ha⁻¹; T10 – Amplo+Flex (0,5+0, 5) L ha⁻¹; e T11 – Amplo+Flex (0,25+0,75) L ha⁻¹..... 24
- Figura 4 - Sintomas de intoxicação em plantas de milho aos 30 dias após a emergência, semeadas aos 64 dias após a colheita de plantas de feijão tratadas com fomesafen (Flex 1 L ha⁻¹)..... 31
- Figura 5 - Sintomas de intoxicação de plantas de sorgo cultivadas em solos contaminados com diferentes doses de Flex, em relação à testemunha, coletados a campo aos 123 DAA..... 33

- Figura 6 - Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com fomesafen (Flex): (A) 0,25; (B) 0,50; (C) 0,75; e (D) 1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta do solo [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)]...... 34
- Figura 7 - Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com bentazon+imazamox (Ampló) em mistura com fomesafen (Flex): (A) 0,75+0,25; (B) 0,50+0,50; (C) 0,25+0,75; e (D) 0,0+1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta de solo [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)]...... 36
- Figura 8 - Porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com fomesafen (Flex) isolado, nas doses (A) 0,25; (B) 0,50; (C) 0,75; e (D) 1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta do solo, [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)]. 38
- Figura 9 - Porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com bentazon + imazamox (Ampló) em mistura ao fomesafen (Flex), nas doses (A) 0,75+0,25; (B) 0,50+0,50; (C) 0,25+0,75; e (D) 0,0+1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta do solo [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)]...... 40
- Figura 10 - Sintomas de intoxicação em plantas de milho aos 7 dias após a emergência (DAE), cultivadas em solos tratados com fomesafen (Flex a 1 L ha⁻¹) 153 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA). 42

RESUMO

SILVA, Valdevino Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012. **Eficiência e residual no solo de herbicidas aplicados em pós emergência na cultura do feijão.** Orientador: Lino Roberto Ferreira. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Paulo Roberto Cecon.

Avaliou-se a eficiência e ação residual no solo dos herbicidas fomesafen (Flex) e imazamox + bentazon (Ampló) isolados ou em mistura, no tanque, na cultura do feijão, no sistema de plantio convencional e milho em sucessão, em plantio direto. O experimento foi realizado em condições de campo e casa de vegetação, avaliando-se os seguintes tratamentos: Ampló e Flex, nas doses de 0,25; 0,50; 0,75; e 1,0 L ha⁻¹, a mistura dos dois nas proporções de 0,75 + 0,25; 0,50 + 0,50; e 0,25 + 0,75 L ha⁻¹ e duas testemunhas: uma capinada e outra sem capina. No campo, com a cultura do feijão, cada parcela foi composta de seis linhas com 5 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m, onde foram avaliados controle das plantas daninhas, toxicidade dos herbicidas às plantas de feijão, número de vagens por planta, peso de 100 grãos e produtividade de grãos. Com a cultura do milho em sucessão à cultura do feijão, cada parcela foi composta por três linhas com 5 m de comprimento, espaçadas em 0,90 m, onde foram avaliadas a toxicidade dos herbicidas às plantas de milho e à produtividade de grãos. Em casa de vegetação, estudou-se a ação residual dos herbicidas no solo a partir de amostras de solo coletadas nas parcelas a campo, em diferentes períodos após a aplicação dos herbicidas (3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias). Cada amostra de 300 g de solo foi colocada em vasos, no qual foram

cultivadas, por 21 dias, três plantas de *Sorghum vulgare* (plantas-teste). Nas coletas de solo aos 153 e 183 dias, avaliou-se, além do sorgo, a intoxicação dos herbicidas sobre o milho. A ação residual dos herbicidas foi determinada avaliando-se a porcentagem de intoxicação e o acúmulo de matéria seca da parte aérea das plantas-teste de sorgo e milho. A dose de 1,0 L ha⁻¹ do herbicida Flex proporcionou boa produtividade de feijão, todavia prejudicou o crescimento do sorgo nas amostras de solo coletadas aos 183 dias após a aplicação, indicando persistência do herbicida até essa data. Com essa mesma dose de Flex, no caso do milho aos 150 DAA, observou-se a intoxicação das plantas aos sete e 21 dias após a sua emergência, porém a matéria seca da parte aérea não foi afetada. Nenhum efeito foi observado aos 180 DAA. Amplo, aplicado isoladamente, não foi eficiente no controle de plantas daninhas até a colheita. A mistura de Amplo ao Flex permitiu diminuir a dose do Flex para 0,25 L ha⁻¹ sem redução da produtividade, com ótimo controle de plantas daninhas e fácil condição de colheita, além de reduzir o risco de carryover. A persistência do Flex no solo não foi alterada pela presença do Amplo na mistura.

ABSTRACT

SILVA, Valdevino Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2012. **Residual soil and efficiency of herbicides in emergency after culture of beans.** Adviser: Roberto Lino Ferreira. Co-Advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Paulo Roberto Cecon.

We evaluated the efficiency and residual effect on soil of herbicides fomesafen (Flex) and imazamox + bentazon (Ampló) isolated or in mixture, in the tank, the bean crop in system conventional and corn in succession, in no-till. The experiment was conducted under field and greenhouse, to evaluate the following treatments: Ampló and Flex at doses of 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 L ha⁻¹, the mixture of two in proportions of 0.75 + 0.25, 0.50 and 0.25 + 0.50 + 0.75 L ha⁻¹, and two witnesses: one weeded and another without weeding. In the field, with the bean crop, each plot consisted of six rows with five meters in length, spaced at 0.45 m were evaluated weed control, herbicide toxicity to the bean plants, number of pods per plant, 100 grain weight and grain yield. With the corn crop in succession to the bean crop, each plot consisted of three rows with five meters in length, spaced at 0.90 m where they were evaluated the toxicity of herbicides to plant corn and grain yield. In the greenhouse we studied the residual effect of herbicides in soil from soil samples collected in the field plots, at different times after herbicide application (3, 33, 63, 93, 123, 153 and 183 days). Each sample of 300 g of soil was placed in vessels, which were cultured for 21 days *Sorghum vulgare* three plants (plants tests). In samples of ground at 153 and 183 days, and

sorghum was also evaluated the toxicity of the herbicide on corn. The residual effect of herbicides was determined by evaluating the percentage of poisoning and dry matter accumulation in the shoots of sorghum and maize testing. The dose of 1.0 L ha⁻¹ Flex herbicide provided good bean yield, however hindered the growth of sorghum in soil samples collected at 183 days after application, indicating the persistence of the herbicide by that date. With the same dose of Flex, for maize to 150 DAA, there was a poisoning of the plants at seven and 21 days after their emergence, but the dry matter of shoots was not affected, no effect was observed at 180 DAA. Amplo, applied alone was not effective in controlling weeds until harvest. The mixture Wide Flex allowed to reduce the dose of Flex to 0.25 L ha⁻¹ without reducing productivity, with excellent weed control and crop condition easier and reduces the risk of carryover. The persistence of Flex in the soil was not altered by the presence of Amplo in the mixture.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a abertura de novos mercados consumidores direcionaram o agronegócio brasileiro a patamares de produção mais elevados e à maior tecnificação da produção agrícola. Com isso, houve abertura de novas fronteiras agrícolas, intensificação do uso do solo, aumento no uso de fertilizantes e agroquímicos com cultivares melhoradas, além de outras tecnologias, visando à maior produção de alimentos (MANCUSO et al., 2011).

Entre as culturas que crescem em área e produtividade com o uso das novas tecnologias, destaca-se o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Além do papel relevante na alimentação do brasileiro, o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social. Isso se deve à mão de obra empregada durante o ciclo da cultura (VIEIRA et al., 2005), principalmente na agricultura familiar.

A cultura do feijão, antes tida como cultura de subsistência, hoje é também explorada por agricultores que adotam alta tecnologia, sendo os plantios realizados sob a irrigação nos campos de produção do Brasil central, onde se têm observado altas produtividades.

O Estado do Paraná é o maior produtor nacional de feijão com área plantada de 533.400 ha anuais, sendo Minas Gerais o segundo maior produtor, com 414.000 ha anuais. Na região Central e Zona da Mata, é bastante expressivo o cultivo do feijão-vermelho e do feijão-preto. A área plantada de feijão em Minas Gerais reduziu 27,37% nos últimos anos.

Mesmo com essa queda na área plantada, a produtividade tem aumentado, devido às novas tecnologias implementadas (CONAB, 2011).

Assim como em outras culturas de ciclo anual, as plantas daninhas podem interferir negativamente na cultura do feijão. A queda na produtividade de 15 a 97% (WILLIAM, 1973; ZOLLINGER; KELLS, 1993; KOZLOWSKI et al., 2002; FONTES et al., 2006) é consequência da competição pelos fatores de crescimento disponíveis e da liberação de substâncias alelopáticas. Além disso, as plantas daninhas podem atuar como hospedeiras intermediárias de pragas e doenças, assim como dificultar ou até mesmo inviabilizar a colheita (PITELLI, 1985).

No controle das plantas daninhas podem ser adotados vários métodos para reduzir a competição entre as plantas cultivadas. Porém, em áreas comerciais é difícil utilizar apenas um método de controle; dessa forma, é utilizada a integração dos métodos mecânico, preventivo, cultural e químico.

Embora os herbicidas tenham facilitado o manejo das plantas daninhas em culturas como soja, milho e feijão e contribuído de maneira substancial para a expansão e desenvolvimento da agricultura brasileira, o efeito carryover e o surgimento de biótipos resistentes têm tornado o controle químico das plantas daninhas técnica cada vez mais complexa (ARTUZI; CONTIERO, 2006).

Entre os herbicidas recomendados para a cultura de feijão, destacam-se fomesafen, imazamox e bentazon para o controle de dicotiledôneas, além do fluazifop-p-btil e sethoxydim para gramíneas. Misturas prontas como fluazifop-p-butil + fomesafen (Robust) e imazamox + bentazon (Ampló) têm sido utilizadas para aumentar o espectro de controle de plantas daninhas na cultura do feijão e reduzir o efeito carryover sobre as culturas sucessoras, como o sorgo e o milho (FERREIRA et al., 1998).

2. OBJETIVOS

Avaliar o controle de plantas daninhas e a seletividade da cultura do feijão a diferentes doses de fomesafen (Flex) e imazamox + bentazon (Ampló), isolados ou em mistura em tanque; e avaliar o efeito residual desses herbicidas através da sua persistência no solo, utilizando-se o sorgo como planta indicadora e milho em cultivo em sucessão.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O feijão tem aptidão para ser cultivado em diversas condições edafoclimáticas, o que permite o plantio em todo o território brasileiro, tanto em monocultivo quanto em plantio consorciado. Seu cultivo ocorre em três safras distintas, sendo as épocas de plantio e colheita dependentes da região onde são cultivadas (SEAB, 2011).

Como os demais cultivos, a interferência das plantas daninhas no feijoeiro tem efeito direto sobre a cultura. Por ser de ciclo relativamente curto, o feijoeiro é bastante sensível à competição, sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento, o que provoca redução de produtividade, além de dificultar a colheita e prejudicar a qualidade do grão, pela mistura de suas sementes. Essa redução pode ser de até 97% (AREVALO; ROZANSKI, 1991; ZOLLINGER; KELLS, 1993; LUNKES, 1997; KOZLOWSKI et al., 2002; FONTES et al., 2006).

O período em que as plantas daninhas causam maiores danos compreende os primeiros 30 dias após a emergência (DAE), podendo se estender até 40 DAE, nos cultivares de ciclo mais tardio. O que determina essa variação são as condições ambientais, diferenças de região, espaçamento da cultura e comunidade infestante (VIEIRA, 1985).

Como estratégia de diminuir a interferência das plantas daninhas, devem-se associar métodos de controle com momento oportuno de ação. A escolha do método de controle depende da mão de obra e equipamentos disponíveis, além das condições financeiras e ambientais (SILVA et al., 2007).

Para a adoção de qualquer medida de controle, o meio no qual as plantas daninhas se encontram deve ser tratado como um ecossistema capaz de responder a qualquer mudança imposta, não se limitando à aplicação de herbicidas ou uso de métodos isolados. Os métodos de controle abrangem desde o arranque das plantas com as mãos até o uso de produtos e, ou, equipamentos que exterminam sementes no solo (DEUBER, 1992).

Segundo Silva et al. (2007), destacam-se, assim, os métodos preventivo, cultural, mecânico, físico e químico.

Preventivo consiste no uso de práticas que visam prevenir a introdução, o estabelecimento e, ou, a disseminação de determinadas espécies-problema em áreas ainda por elas não infestadas.

O cultural consiste no uso de práticas como bom manejo de adubação, irrigação, controle de pragas e doenças, rotação de cultura, variação do espaçamento e coberturas verdes, entre outras.

Os métodos mecânicos mais utilizados referem-se a capina manual, roçada e uso de cultivadores mecanizados.

O método físico é caracterizado, principalmente, pelas técnicas de cobertura do solo com restos vegetais em camada espessa, como no caso de plantio direto.

O método químico consiste no uso de herbicidas, cuja eficiência depende de fatores técnicos, econômicos e climáticos. É um aliado indispensável para o produtor, pois apresenta grande eficiência, desde que aplicado de forma correta. Reduz, principalmente, o custo de produção da lavoura e apresenta facilidade no manejo.

Os herbicidas podem ser classificados de diferentes maneiras de acordo com suas próprias características, permitindo, assim, estabelecer grupos afins: com base na seletividade, época de aplicação, translocação, estrutura química e mecanismo de ação (WELLER, 2003a). Entre esses se destacam, para a cultura do feijão: bentazon, imazamox, fomesafen e efluazifop-p-butil, que podem ser aplicados isoladamente ou em mistura (COBUCCI; MACHADO, 1999).

O bentazon é um herbicida inibidor do fotossistema II, recomendado para culturas de amendoim, arroz, feijão, milho, soja e trigo. É adsorvido

pelos coloides orgânicos e minerais do solo, mostrando potencial de lixiviação muito reduzido, não sendo encontrado em profundidades superiores a 20 cm. Apresenta curta persistência no solo (inferior a 20 dias), não exercendo efeito residual em culturas sucessoras (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). É utilizado exclusivamente em pós-emergência, devido à reduzida absorção radicular. É recomendado para aplicações sobre plantas daninhas dicotiledôneas anuais com duas a quatro folhas, com bom vigor vegetativo, evitando períodos de estiagem e umidade relativa do ar inferior a 60%. É eficiente no controle de *Acanthospermum australe*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea grandifolia*, *Raphanus raphanistrum* e *Commelina benghalensis*. Contudo, é ineficiente no controle de *Euphorbia heterophylla* e *Amaranthus* sp (SILVA et al., 2007). É comum ser utilizado em mistura, em tanque, com herbicidas latifolicidas para aumentar o espectro de controle. Não atua sobre gramíneas, sendo, por isso, comuns as combinações com graminicidas pós-emergentes. Nessas condições, aplicam-se, preferencialmente, o graminicida e, em intervalo de três dias, o bentazon. A aplicação simultânea pode induzir efeito antagônico (SILVA et al., 2007).

Outro herbicida utilizado na cultura do feijão é o imazamox, derivado das sulfonilureias. Inibe a síntese dos aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina e valina), através da inibição da enzima aceto-lactato-sintase (ALS). É pouco adsorvido pelos coloides do solo e, também, pouco lixiviado. Apresenta rápida degradação no solo, essencialmente microbiana (meia-vida de 15 dias). No Brasil é recomendado para as culturas de soja e do feijão. É aplicado em pós-emergência sobre plantas daninhas dicotiledôneas com até quatro folhas e monocotiledôneas com um a três perfilhos, o que geralmente acontece entre 15 e 20 dias após a semeadura do feijão. Controla com eficiência diversas espécies de plantas daninhas, como *Euphorbia heterophylla*, se aplicado em pós-emergência precoce (SILVA et al., 2007).

O fomesafen pertence ao grupo dos difeniléteres, que inibe a ação da enzima protoporfirinogênio oxidase (protox) na presença de luz. Como consequência final da ação do herbicida na planta, ocorre ruptura da membrana plasmática devido à peroxidação dos lipídeos, ocorrendo o vazando de compostos celulares para os espaços intercelulares (HESS;

WELLER, 2000). Sua absorção ocorre em folhas, caules e raízes, devendo ser aplicados em plantas daninhas jovens com bom estado de vigor vegetativo. Para que o controle seja eficiente, é necessária boa cobertura das plantas com a calda aplicada, uma vez que esse herbicida não se movimenta na planta, por ser um produto de contato (SILVA et al., 2007). Mesmo sendo seletivo para a cultura do feijão, o fomesafen causa toxidez às plantas, porém sem afetar seu rendimento (ROZANSKI, 1997). A dose recomendada para o controle de plantas daninhas na cultura do feijão varia de 225 a 250 g ha⁻¹, de acordo com o estágio de desenvolvimento das plantas daninhas a serem controladas (FERREIRA et al., 1998; ANDREI, 1999). É recomendado, principalmente, para o controle do botão-de-ouro (*Galinsoga parviflora*), corda-de-viola (*Ipomoea prupurea*), picão-preto (*Bidens pilosa*), nabiça (*Raphanus raphanistrum*) e caruru (*Amaranthus* ssp.) (SILVA; SILVA, 1984; SOARES; VIDAL, 1984).

Assim como outros herbicidas aplicados em pós-emergência, o fomesafen apresenta algumas limitações quanto ao estágio de desenvolvimento das plantas daninhas que se deseja controlar, devendo ter cuidado com plantas daninhas mais tolerantes, como leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) e carrapicho-rasteiro (*Acanthospermum australe*) (SILVA, 1988).

A degradação do fomesafen em solos anaeróbicos ocorre em menos de três semanas, enquanto em condições aeróbicas ele requer de seis a 12 meses (JOHNSON; TALBERT, 1993). No caso dos solos brasileiros, o fomesafen apresenta-se na forma aniônica, em razão do pH, o que resulta em menor movimentação vertical devido à adsorção do produto aos colóides do solo, à matéria orgânica e às cargas positivas dos óxidos de ferro e alumínio (WEBER, 1993; COBUCCI, 1996).

O fluazifop-p-butil é um inibidor da biossíntese de lipídios que atua na enzima Acetil Coenzima A Carboxilase (ACCCase), impedindo a conversão da molécula Acetil Coenzima A (Acetil-CoA) em Malonil Coenzima A (Malonil-CoA) pela adição de uma molécula de CO₂ (SILVA et al., 2007). É rapidamente absorvido pelas folhas e translocado via xilema e floema até atingir os meristemas da planta, paralisando o crescimento das raízes e da parte aérea, levando à morte dos pontos de crescimento aproximadamente

14 dias após a aplicação (FERREIRA et al., 1998). Proporciona controle eficiente de gramíneas como capim-colchão (*Digitaria horizontales*), capim-marmelada (*Bachiaria plantaginea*), capim-arroz (*Echinochloa cruzgalli*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*) (COELHO et al., 2001), podendo ser usado em mistura com fomesafen para ampliar o espectro de ação, controlando, além das gramíneas, plantas como caruru (*Amaranthus viridis*), campainha (*Ipomoea aristolochiaefolia*) e beldroega (*Portulaca oleracea*) (ROZANSKI, 1997). A dose recomendada varia de 94 a 250 g ha⁻¹, conforme o estágio de desenvolvimento das plantas (ANDREI, 1999).

Considerando a especificidade de controle de plantas daninhas pelos herbicidas, é comum a mistura de princípios ativos de diferentes mecanismos de ação visando ao controle de maior número de espécies de plantas daninhas em uma única aplicação, reduzindo também o risco de manifestação de biótipos resistentes a determinado mecanismo de ação (SOUZA, 1997; ROCHA; MARTINS, 2002).

A mistura comercial bentazon + imazamox controla plantas daninhas dicotiledôneas no estágio de pós-emergência inicial. A aplicação dessa mistura parece ser a mais indicada para o controle simultâneo de *Euphorbia heterophylla* e *Bidens pilosa*, e também potencializa o controle do *Amaranthus* ssp, além de não apresentar problemas de seletividade à cultura do feijoeiro (COBUCCI et al., 1999).

Entre os herbicidas atualmente utilizados na cultura do feijoeiro, a mistura comercial de fluazifop-p-butil + fomesafen (Robust) proporciona controle eficiente para a maioria das plantas daninhas mono e dicotiledôneas. Contudo, devido ao seu longo efeito residual no solo, o plantio posterior de culturas sensíveis, como o milho e o sorgo, necessita de intervalo mínimo de 150 dias após a aplicação, podendo esse intervalo variar conforme o clima e a textura do solo (COBUCCI et al., 1998; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

É prática comum, entre os agricultores, a mistura de herbicidas no tanque de pulverização, apesar dos riscos em razão do desconhecimento dos seus efeitos antagônicos sobre as plantas daninhas e sinérgicos sobre as cultivadas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2005). Segundo Colby (1967), o

antagonismo é caracterizado pela ação conjunta de dois herbicidas apresentando resposta de um organismo-teste na sua combinação, menor do que a resposta esperada. Sinergismo é a ação cooperada dos dois herbicidas apresentando resposta no organismo-teste, na aplicação conjunta, superior à resposta esperada. O efeito aditivo ocorre quando dois herbicidas reagem apresentando resposta no organismo-teste, na aplicação conjunta, igual à resposta esperada (HATZIOS; PENNER, 1985).

Visando minimizar esses efeitos é que surgiram as misturas formuladas como Amplo (bentazon + imazamox) e Robust (fomesafen + fluazifop-p-butil), com as quais é possível aumentar o número de espécies controladas com menor dose utilizada de cada componente da mistura, o que irá reduzir o risco de carryover em culturas sequenciais, além de diminuir o impacto ambiental.

Do ponto de vista agrônomo, um herbicida deve permanecer no ambiente tempo suficiente para controlar as plantas daninhas e depois se dissipar por completo, evitando possíveis danos à cultura seguinte. No Brasil, as condições climáticas favorecem a dissipação dos herbicidas, mas propiciam o cultivo intensivo da terra, reduzindo o intervalo de tempo entre o plantio das culturas e as aplicações dos herbicidas (COBUCCI, 1996).

A preocupação com uso crescente de herbicidas nos cultivos agrícolas brasileiros tem levado os pesquisadores a buscar informações para minimizar a contaminação do ambiente e a utilização racional dos recursos hídricos e do solo. Entre os efeitos diretos percebidos pelos produtores estão os sintomas de intoxicação e a redução de produtividade das culturas, ocasionados por herbicidas de ação residual. Sua permanência e degradação no solo são processos-chave na determinação do seu efeito residual, sendo fundamentais para avaliar a eficiência de controle das plantas daninhas (HINZ, 2001).

Os herbicidas residuais são aqueles que apresentam maior período de atividade. Entretanto, esses herbicidas podem apresentar efeito residual (carryover), que pode acarretar impacto ambiental negativo. Segundo Oliveira (2001), efeito residual é a habilidade que um herbicida tem para reter a integridade de sua molécula e, conseqüentemente, suas características físicas, químicas e funcionais no ambiente.

A degradação e movimentação dos herbicidas no solo podem ser influenciadas pela textura, pH, teor de matéria orgânica, umidade e temperatura do solo, pelas características físicas e químicas dos herbicidas; e pelas doses utilizadas (FERRI; VIDAL, 2002). O manejo do solo pode alterar a persistência dos herbicidas, o que influencia a eficiência de controle, o potencial de injúria às culturas em sucessão e o risco de contaminação ambiental (CLAY, 1993; NIEKAMP; JOHNSON, 2001; FERRI; VIDAL, 2002).

Entre os herbicidas utilizados na cultura do feijão, o fomesafen é o que tem mais relatos de carryover (SANTOS, 1991; COBUCCI et al., 1998; JAKELAITIS et al., 2006).

O período entre a aplicação de um herbicida e o plantio da cultura seguinte é definido de acordo com a sua persistência no solo e a suscetibilidade da cultura em relação ao produto (COBUCCI et al., 1998). Alguns estudos comprovam o efeito residual de herbicidas como o fomesafen, aplicados nas culturas de soja e do feijão, sobre as culturas do milho e do sorgo plantados em sucessão (SANTOS, 1991; COBUCCI, 1996; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

O uso de doses reduzidas dos herbicidas aplicados em pós-emergência diminui significativamente o risco de intoxicação da cultura sucedânea (carryover) e proporciona menor impacto ambiental, além de diminuir o custo de produção da lavoura (STECKEL et al., 1990; PROSTKO; MEADE, 1993).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos quatro experimentos, sendo dois, sequenciais, em campo, com a cultura do feijão e do milho e outros dois em casa de vegetação, utilizando sorgo e milho como plantas-teste, no período de 25 de maio de 2011 a 25 de maio de 2012.

4.1. Experimentos a campo

Esses experimentos foram conduzidos no Município de Viçosa, Horta Nova, pertencente ao campo experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). A área onde foi realizada a pesquisa e que apresentava topografia levemente ondulada e solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo - cujas características químicas e físicas se encontram na Tabela 1 - foi anteriormente cultivada com milho para grãos. Os restos culturais do milho foram incorporados ao solo, no momento da aração e gradagem, durante o preparo para o plantio de feijão. No plantio do milho em sucessão foi utilizado o sistema de plantio direto.

Tabela 1 - Características químicas e classificação textural da amostra de solo da área experimental. Viçosa, 2012

pH	P	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)
H ₂ O	mg/dm ³		Cmolc/dm ³						
5,8	44,7	165	4,3	0,6	0,0	1,98	5,32	5,32	7,30
V	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B		
%	Dag/Kg	MG/L	Cmolc/dm ³						
73	2,9	44,7	11,91	45,24	56,25	1,61	0,2		
Fração mineral (%)									
Areia		Silte		Argila		Textura do solo			
38		13		49		Argiloarenosa			

4.1.1. Plantio do feijão

Após o preparo do solo foi efetuado o plantio do feijão, cultivar Ouro Vermelho, no espaçamento de 0,45 cm entre fileiras e 12 sementes por metro, visando a um estande aproximado de 267.000 plantas por ha.

A adubação de plantio foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16. A adubação de cobertura foi realizada no 28º dia após a emergência da cultura do feijão, apenas por via foliar, com 70 g ha⁻¹ de molibdato de amônio.

Foram avaliados 13 tratamentos (Tabela 2) dispostos em arranjo fatorial (2 X 4) e cinco tratamentos adicionais, no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. O fatorial foi composto por dois herbicidas: bentazon + imazamox (Ampló) e fomesafen (Flex), aplicados em quatro doses (0,25; 0,50; 0,75; e 1,0 L ha⁻¹). Os tratamentos adicionais foram testemunha capinada, testemunha sem capina e três misturas dos herbicidas Ampló + Flex nas seguintes proporções: (0,75 + 0,25), (0,50 + 0,50) e (0,25 + 0,75 L ha⁻¹).

Cada parcela foi composta de seis linhas de feijão, com 5 m de comprimento, espaçadas de 0,45 m e área total de 13,5 m². Dessa forma, a área útil foi representada pelas três fileiras centrais, descontando-se 1,0 m nas extremidades, totalizando 4,05 m².

Tabela 2 - Tratamentos avaliados no campo com o feijão cultivar Ouro Vermelho

Tratamentos	Ingrediente ativo (g ha⁻¹)	Dose comercial (L ha⁻¹)
Testemunha capinada	-	-
Testemunha sem capina	-	-
Amplo	Bentazon + imazamox- (150 + 7)	0,25
Amplo	Bentazon + imazamox - (300 + 14)	0,50
Amplo	Bentazon + imazamox - (450 + 21)	0,75
Amplo	Bentazon + imazamox - (600 + 28)	1,0
Flex	Fomesafen - (62,5)	0,25
Flex	Fomesafen - (125)	0,50
Flex	Fomesafen - (187,5)	0,75
Flex	Fomesafen - (250)	1,0
Amplo + Flex	(bentazon + imazamox) + fomesafen - (450 + 21) + (62,5)	0,75 + 0,25
Amplo + Flex	(bentazon + imazamox) + fomesafen - (300 + 14) + (125)	0,50 + 0,50
Amplo + Flex	(bentazon + imazamox) + fomesafen - (150 + 7) + (187,5)	0,25 + 0,75

Antes da aplicação dos herbicidas, procedeu-se à avaliação das plantas daninhas presentes na área, utilizando para amostragem um quadro de 0,25 x 0,25 m, lançado 16 vezes ao acaso em toda a área experimental. As plantas dentro de quadrado foram contadas para determinação da densidade de plantas por espécie (pl m⁻²) e da densidade relativa que foi obtida pelo número de plantas de cada espécie em relação ao total, em porcentagem (Tabela 3).

Tabela 3 - Densidade de plantas daninhas no dia da aplicação dos herbicidas

Espécie	Densidade relativa (pl m⁻²)	%
Mastruz (<i>Lepidium virginicum</i>)	564	70,85
Mostarda (<i>Brassica rapa</i>)	28	3,52
Serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>)	28	3,52
Corda-de-viola (<i>Ipomoea sp</i>)	24	3,02
Botão-de-ouro (<i>Galinsoga parviflora</i>)	24	3,02
Orelha-de-urso (<i>Stachys arvensis</i>)	24	3,02
Maria-pretinha (<i>Solanum americanum</i>)	12	1,51
Caruru (<i>Amaranthus sp</i>)	12	1,51
Leiteiro (<i>Euphorbia heterophylla</i>)	12	1,51
Mentrasto (<i>Ageratum conyzoides</i>)	12	1,51
Tiririca (<i>Cyperus rotundus</i>)	12	1,51
Trapoeraba (<i>Commelina benghalensis</i>) (<i>Commelina difusa</i>)	12	1,51
Trevo (<i>Oxalis latifolia</i>)	12	1,51
Picão-preto (<i>Bidens pilosa</i>)	8	1,01
Carrapicho-de-carneiro (<i>Aconthospermum hispidum</i>)	8	1,01
Joá-de-capote (<i>Physallis angulata</i>)	4	0,50
Total	796	100,0

Os herbicidas foram aplicados aos 15 dias após a emergência da cultura, quando as plantas de feijão apresentavam o terceiro trifólio formado e as plantas daninhas dicotiledôneas com três a cinco pares de folhas.

Utilizou-se um pulverizador costal pressurizado a CO₂ com pressão de 2,5 bar, acoplado a uma barra com três pontas TT11002, calibrado para um consumo de 150 L de calda por ha.

A capina da testemunha foi realizada com enxada, uma única vez, na mesma data da aplicação dos herbicidas.

Com o intuito de controlar as espécies gramíneas presentes na área, foi aplicado o fluazifop-p-butil (Fusilade 1 L ha⁻¹) em toda a área experimental, uma semana após a aplicação dos outros herbicidas.

A irrigação foi realizada durante o ciclo do feijão, por meio de aspersão, com turno de rega de sete dias com aplicação de lâmina de 15 mm a cada irrigação, exceto quando a precipitação pluviométrica atingiu a marca de 5 mm. Na Figura 1 são representados os dados climatológicos de precipitação pluviométrica (PPT), temperatura máxima (Tmax) e temperatura

mínima (Tmin) e umidade relativa (UR%) durante a condução dos experimentos.

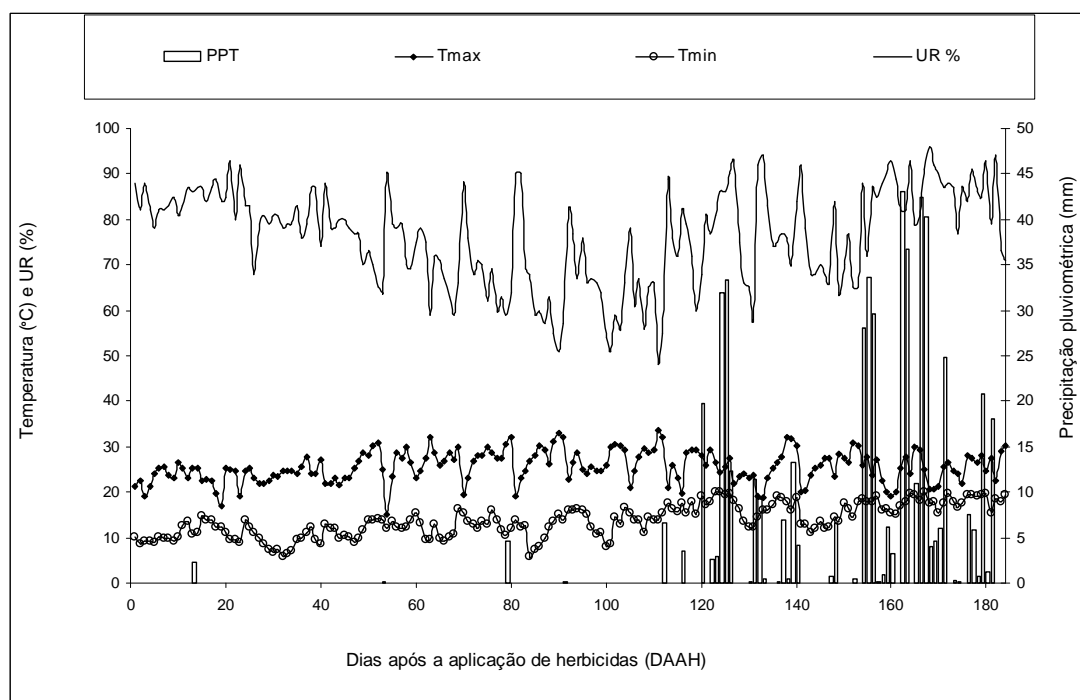


Figura 1 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, distribuição de precipitação (chuva) e umidade relativa no período de 13 de junho a 13 de dezembro de 2011

Aos 14 dias após a aplicação dos herbicidas, fez-se avaliação do controle das plantas daninhas, conforme método proposto pela Asociación Latinoamericana de Malezas (1974) (Tabela 4).

Tabela 4 - Conceitos atribuídos à eficiência de controle de plantas daninhas, segundo a escala da Asociación Latinoamericana de Malezas por meio de avaliação visual

Controle (%)	Eficiência de controle
0 – 40	Muito ruim
41 – 60	Ruim
61 – 70	Regular
71 – 80	Bom
81 – 90	Muito bom
91 – 100	Ótimo

Fonte: ASOCIACIÓN...(1974).

Nessa mesma data, avaliaram-se a densidade e matéria seca por espécie de plantas daninhas. Para isso, utilizou-se um quadro de 0,25 x 0,25 m, lançado duas vezes ao acaso, por parcela. As plantas foram coletadas ao nível do solo, separadas por espécie, contadas e, em seguida, colocadas em estufa de circulação de ar forçada, a 70 °C por 72 h, para a determinação de matéria seca.

Aos 14 e 28 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas, foram avaliados os sintomas de intoxicação das plantas de feijão pelos herbicidas, utilizando como base a escala European Weed Research Council (EWRC), descrita na Tabela 5.

Tabela 5 - Conceitos atribuídos à porcentagem de intoxicação de plantas pelos herbicidas avaliados

Toxicidade (%)	Interpretação
0 – 10	Nulo
11 – 20	Muito leve
21 – 30	Leve
31 – 60	Moderado
61 – 70	Forte
71 – 90	Muito forte
91 – 100	Morte

Fonte: Adaptado de EWRC, 1964.

Duas semanas antes da colheita foram atribuídas notas para avaliar se as plantas daninhas interferiram ou não na colheita do feijão. Para isso foi proposta uma escala de notas (1, 2 e 3). A nota 1 foi atribuída às parcelas que apresentaram fácil condição de colheita, 2 às parcelas em condição regular e 3 às de difícil colheita (Figura 2).



Figura 2 - Representação da escala de dificuldade de colheita do feijão “Ouro Vermelho”: (A) fácil, (B) regular e (C) difícil (fotos 15 dias antes da colheita).

As plantas de feijão foram colhidas quando atingiram a maturação fisiológica, aos 108 dias após o plantio. Depois da colheita, foram deixadas ao sol para que os grãos reduzissem o teor de umidade para facilitar a debulha e posterior armazenamento.

Determinaram-se o peso de 100 grãos (P100G), o número de vagens por planta (NVP), o número de grãos por vagem (NGV) e a produtividade de grãos em kg ha^{-1} .

4.1.2. Plantio do milho

Aos 50 dias após a colheita do feijão, realizou-se a dessecação da vegetação com a mistura glyphosate + 2,4-D ($1.080 + 670 \text{ g ha}^{-1}$) e, duas semanas depois, efetuou-se o plantio de três fileiras de milho (DKB 390

PRO2) no espaçamento de 0,90 cm entre fileiras e seis sementes por metro em todas as parcelas anteriormente cultivadas com feijão.

A adubação de plantio foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16. A cobertura foi realizada aos 30 dias após a emergência da cultura, com ureia, 60 kg ha⁻¹. Para o controle das plantas daninhas foi utilizado ghyphosate (Roundup). A irrigação suplementar foi feita por aspersão.

Foram avaliados os possíveis sintomas de intoxicação nas plantas de milho, provocados pelos herbicidas aplicados na cultura do feijão e, aos 180 DAE, avaliou-se a produtividade de grãos do milho em cada parcela.

4.1.3. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, para comparar a média da testemunha com os demais tratamentos, utilizou-se o teste de Dunnett, sendo adotado o nível de 5% de probabilidade.

4.2. Experimentos em casa de vegetação

Para determinação da presença dos herbicidas no solo foram conduzidos dois experimentos, um com sorgo e outro com milho, em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da UFV, no período de 13 de junho de 2011 a 10 de janeiro de 2012.

4.2.1. Experimento com sorgo

Utilizaram-se vasos plásticos (300 cm³) preenchidos com amostras de solo provenientes das parcelas do experimento em campo. Foi utilizado o sorgo (*Sorghum vulgare*) como planta indicadora da presença dos herbicidas no solo, caracterizando, assim, um bioensaio.

Foi adotado o esquema de parcelas subdivididas, em que as amostras de solo coletadas nos tratamentos de campo foram alocadas nas parcelas e as sete épocas de coleta de solo, nas subparcelas.

As coletas de solo no campo foram feitas com o auxílio de um enxadão, na entrelinha da quarta e da quinta linha de cada parcela, numa área de 20 cm de largura por 15 cm de comprimento e 10 cm de profundidade. Em cada parcela foram retiradas amostras de solos suficientes para o preenchimento de três vasos plásticos de 300 cm³.

As amostras de solo foram coletadas aos 3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA). Em seguida foram destorroadas, peneiradas, homogeneizadas e colocadas nos vasos. Para evitar perdas de herbicidas e, ou, nutrientes por lixiviação, os vasos foram revestidos internamente com filme de polietileno.

Em cada vaso foram semeadas seis sementes de sorgo (*Sorghum vulgare*) da cultivar BRS-310, deixando-se três plantas por vaso após o desbaste, os quais foram irrigados diariamente, dependendo da necessidade.

4.2.2. Experimento com milho

Assim como no experimento com plantas de sorgo, utilizaram-se vasos plásticos (300 cm³) para cultivar o milho nas amostras de solo coletadas no campo. Para o plantio do milho, fizeram-se apenas duas coletas de solo: aos 153 e 183 DAA.

4.2.3. Características avaliadas

Foi avaliada a intoxicação causada pelos herbicidas do solo nas plantas de sorgo e de milho, por meio de avaliação visual aos 7 e 21 dias após a emergência (DAE), seguindo-se a escala adaptada do EWRC (Tabela 4). Avaliou-se, também, a matéria seca da parte aérea do sorgo e do milho aos 21 DAE. Para isso, a parte aérea dessas plantas foi cortada rente

ao solo e colocadas em estufa com circulação de ar a 70 °C por 72 h, para determinação da matéria seca. Os resultados de intoxicação e matéria seca da parte aérea de sorgo e milho foram expressos em porcentagem em relação à testemunha sem herbicida.

4.2.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, sendo o modelo escolhido de acordo com fenômeno biológico, pelo coeficiente de determinação e significância do coeficiente de regressão, adotando-se o nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Experimentos de campo

5.1.1. Efeito dos tratamentos sobre o controle das plantas daninhas na cultura do feijão

Considerando a avaliação de controle de plantas daninhas aos 14 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) (Tabela 6), observou-se que o bentazon + imazamox (Ampló) e fomesafen (Flex), aplicados isolados e em doses menores que as recomendadas (1L ha^{-1}), mostraram comportamento diferente. O Ampló, nas doses menores, apresentou resultado apenas regular e ótimo na dose normal. Enquanto com o Flex o controle variou de bom a ótimo em função da dose aplicada.

A mistura do Ampló ao Flex proporcionou efeito aditivo, com controle das plantas daninhas classificado como ótimo. Mais de 94% das plantas foram controladas com as combinações avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Porcentagem de controle de plantas daninhas 14 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na cultura do feijão e respectiva classificação, segundo a escala da ALAM (1974)

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹	% de controle	Classificação (ALAM, 1974)
Testemunha capinada	-	100	Ótimo
Testemunha sem capina	-	0	Muito ruim
Amplo	0,25	67	Regular
Amplo	0,50	64	Regular
Amplo	0,75	62	Regular
Amplo	1,0	92	Ótimo
Flex	0,25	78	Bom
Flex	0,50	89	Muito bom
Flex	0,75	95	Ótimo
Flex	1,0	95	Ótimo
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	94	Ótimo
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	96	Ótimo
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	94	Ótimo

Na Tabela 7 estão representadas as médias da densidade (nº plantas m⁻²) e da matéria seca da parte aérea (g m⁻²) das principais plantas daninhas presentes na testemunha sem capina, aos 14 dias após a aplicação. Entre as espécies avaliadas, mastruz (*Lepidium virginicum*) foi a predominante, com densidade de 508 plantas m⁻², o que equivale a 76,0% do número total de plantas daninhas e 48,1% do total de matéria seca produzida.

Tabela 7 - Médias de densidade relativa e matéria seca relativa de plantas daninhas encontradas na testemunha sem capina 14 dias após a aplicação dos herbicidas

Plantas daninhas	Densidade (Nº plantas m ⁻²)	Densidade relativa (%)	Matéria seca (g m ⁻²)	Matéria seca relativa (%)
Mastruz	508	76,0	71,9	48,19
Botão-de-ouro	60	9,0	17,7	11,86
Serralha	40	6,0	47,2	31,64
Corda-de-viola	16	2,4	2,0	1,34
Maria-pretinha	12	1,8	0,7	0,47
Trevo	12	1,8	7,1	4,76
Picão-preto	8	1,2	0,8	0,54
Orelha-de-urso	8	1,2	1,7	1,14
Trapoeraba	4	0,6	0,1	0,07
Total	668	100,0	149,2	100,0

Os tratamentos com Amplo T1 (0,25 L ha⁻¹), T2 (0,50 L ha⁻¹) e T3 (0,75) promoveram redução da densidade e matéria seca de algumas espécies, porém favoreceram o desenvolvimento de outras, por exemplo: orelha-de-urso, trevo e corda-de-viola (Figura 3AB). Esses tratamentos foram ineficientes no controle dessas espécies. Já o T4 (Amplo 1,0 L ha⁻¹), correspondente à dosagem recomendada, proporcionou melhor controle. O Flex, independentemente da dose aplicada, foi eficiente na redução da densidade e da matéria seca de parte aérea de todas as espécies de plantas daninhas, exceto trevo (*Oxalis latifolia*), que não foi controlado por nenhuma das doses avaliadas. A mistura de Amplo e Flex, em todas as proporções, foi muito eficiente, contudo também não controlou as plantas de trevo.

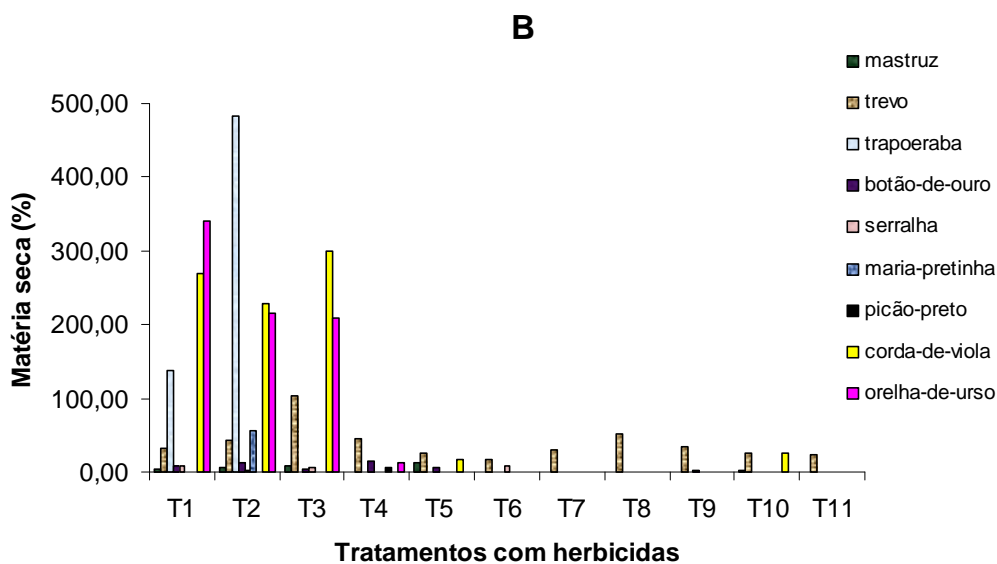
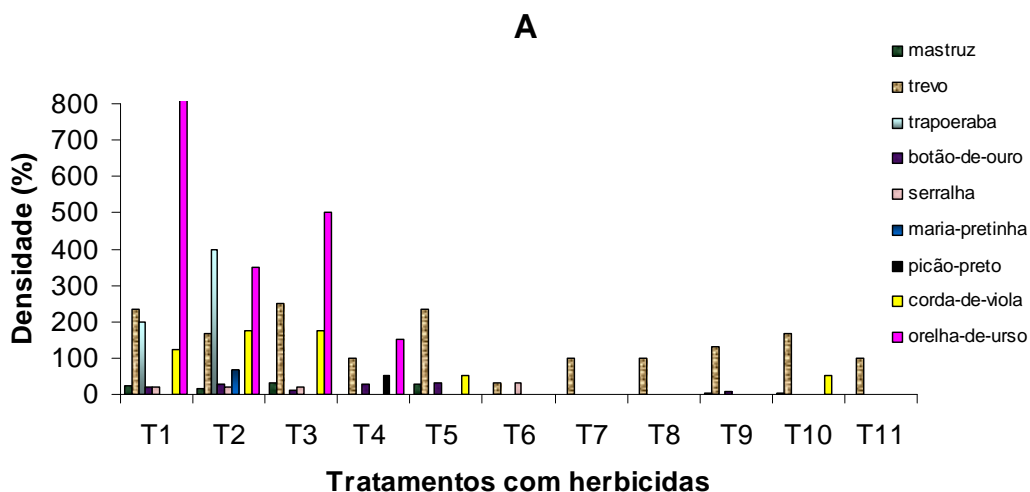


Figura 3 - Porcentagem da densidade de plantas (A) e da matéria seca de parte aérea de plantas daninhas (B), em relação à testemunha sem capina, aos 14 dias após a aplicação de herbicida Amplo e Flex. T1 – Amplo 0,25 L ha⁻¹; T2 – Amplo 0,50 L ha⁻¹; T3 – Amplo 0,75 L ha⁻¹; T4 – Amplo 1,0 L ha⁻¹; T5 – Flex 0,25 L ha⁻¹; T6 – Flex 0,50 L ha⁻¹; T7 – Flex 0,75 L ha⁻¹; T8 – Flex 1,0 L ha⁻¹; T9 – Amplo+Flex (0,75+0,25) L ha⁻¹; T10 – Amplo+Flex (0,5+0,5) L ha⁻¹; e T11 – Amplo+Flex (0,25+0,75) L ha⁻¹.

A avaliação da densidade e da matéria seca das plantas daninhas (Figura 3AB) foi importante, pois corroborou os dados de controle obtidos na avaliação visual (Tabela 6).

Segundo Steckel et al. (1990) e Prostko e Meade (1993), o uso de doses reduzidas de herbicidas aplicados em pós-emergência proporciona menor impacto ambiental, além de reduzir o custo de produção. No entanto, para se obter um controle eficiente é necessário que o produto seja aplicado sobre plantas daninhas jovens, com elevada atividade metabólica, em condições ambientais favoráveis e com perfeita tecnologia de aplicação (KLINGMAN et al., 1992; FERREIRA et al., 1998). As plantas daninhas, quando na fase inicial do ciclo vegetativo, são mais sensíveis à ação dos herbicidas, pois os seus tecidos jovens os absorvem com maior facilidade, sendo, assim, o momento ideal para a aplicação de herbicidas em pós-emergência (MAROCHI, 1993).

Neste trabalho, doses menores que as comerciais do Amplo apresentaram controle apenas de algumas espécies de plantas daninhas, favorecendo o desenvolvimento de outras. Já o Flex proporcionou resultados satisfatórios no que diz respeito à redução da densidade e matéria seca das plantas daninhas. A mistura desses herbicidas, em todas as combinações, proporcionou controle muito bom, indicando a possibilidade de doses menores e, como consequência, a redução dos problemas de carryover em culturas sucessoras.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados de controle das plantas daninhas próximo à época de colheita do feijoeiro. Verifica-se, nessa tabela, que os melhores resultados foram obtidos com as misturas de Amplo + Flex ou com o Flex aplicado isoladamente em dose igual ou superior a 0,5 L ha⁻¹. Também, constata-se que apenas uma capina aos 14 DAE e a aplicação do Amplo mesmo na maior dose não foram eficientes para que acontecesse a colheita no limpo. Esses resultados sugerem que o efeito residual do fomesafen foi importante para a colheita no limpo, porém pode ser prejudicial para os cultivos de milho e sorgo em sucessão.

Tabela 8 - Notas atribuídas à facilidade ou dificuldade de colheita da cultura do feijão em função da infestação de plantas daninhas

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹	Nota	Classificação
Testemunha capinada	-	2	Regular
Testemunha sem capina	-	3	Difícil
Amplo	0,25	3	Difícil
Amplo	0,50	2	Regular
Amplo	0,75	2	Regular
Amplo	1,0	2	Regular
Flex	0,25	2	Regular
Flex	0,50	1	Fácil
Flex	0,75	1	Fácil
Flex	1,0	1	Fácil
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	1	Fácil
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	1	Fácil
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	1	Fácil

5.1.2. Efeito dos tratamentos sobre a cultura do feijão

Na Tabela 9, encontram-se os resultados de intoxicação das plantas de feijão provocados pelos herbicidas nas diferentes doses e combinações. O Amplo em nenhuma das doses aplicadas isoladamente proporcionou intoxicação ao feijoeiro, enquanto o Flex, em doses iguais ou superiores a 0,5 L ha⁻¹, proporcionou intoxicações consideradas muito leves aos 14 DAA que desapareceram até os 28 DAA, indicando a recuperação das plantas de feijão.

Tabela 9 - Porcentagem de intoxicação nas plantas de feijão causada pelo uso dos herbicidas Amplo e Flex, aos 14 e 28 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹	DAA	
		14	28
Testemunha capinada	-	0	0
Testemunha sem capina	-	0	0
Amplo	0,25	0	0
Amplo	0,50	0	0
Amplo	0,75	0	0
Amplo	1,0	0	0
Flex	0,25	0	0
Flex	0,50	3,75	0
Flex	0,75	2,5	0
Flex	1,0	11,25	0
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	0	0
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	0	0
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	1,25	0

Esses resultados comprovam a seletividade desses herbicidas para o feijoeiro, conforme relatado por Rozanski (1997), Ferreira et al. (1998), Andrei (1999) e Cobucci e Machado (1999). Segundo Cobucci e Machado (1999), a mistura de bentazon (480 g ha⁻¹) e imazamox (30 g ha⁻¹) resultou em menor intoxicação ao feijoeiro, em relação à aplicação isolada de imazamox (30 g ha⁻¹). Conforme relatado por alguns autores, mesmo sendo seletivo para a cultura do feijão, o Flex pode causar toxidez às plantas, porém sem afetar seu rendimento (SANTOS, 1991; COBUCCI, 1996; ROZANSKI, 1997).

Na Tabela 10, encontra-se o resumo da análise de variância das características avaliadas na colheita do feijão. Houve efeito significativo ($p < 0,05$) de herbicidas sobre a produtividade. Não se observou efeito significativo de doses em nenhuma das variáveis avaliadas. A interação herbicida x dose foi significativa ($p < 0,05$) somente na produtividade. Nos tratamentos adicionais houve efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o número de vagens por planta e produtividade.

Tabela 10 - Resumo das análises de variância referente às características: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de 100 grãos (P100G) e produtividade de grãos (PROD)

FV	GL	Quadrados médios			
		NVP	NGV	P100G	PROD
BLOCO	3	10,7270	0,56689	1,3700	46393,52
Herbicida (H)	1	3,6674 ^{ns}	0,0050 ^{ns}	1,4879 ^{ns}	711720,20*
Dose (D)	3	2,6622 ^{ns}	0,10007 ^{ns}	0,0832 ^{ns}	135031,20 ^{ns}
HxD	3	10,7288 ^{ns}	0,56830 ^{ns}	1,3163 ^{ns}	693657,70*
Trat. Ad.	4	36,2464*	0,2262 ^{ns}	4,8638 ^{ns}	606214,30*
FAT vs. Trat. Ad.	1	0,4822 ^{ns}	0,0923 ^{ns}	3,0931 ^{ns}	1061967,20*
RESÍDUO	36	6,3930	0,2787	2,5599	116801,30
C. V. (%)	-	17,20	12,37	7,10	11,18

* Significativo a 5%, pelo teste F. ^{ns} Não significativo a 5%.

A testemunha capinada proporcionou maior número de vagens por planta e produtividade comparada à testemunha sem capina, indicando que a competição das plantas daninhas afetou essas características (Tabela 11). Amplo e Flex isolados proporcionaram número de vagens por planta de feijão superior à da testemunha capinada, em todas as doses avaliadas, exceto com a aplicação de 0,75 L ha⁻¹ do Amplo, a qual foi menor; e de 0,50 L ha⁻¹ do Flex, a qual não apresentou diferença. A mistura desses herbicidas, em todas as combinações, também proporcionou maior número de vagens por planta em relação à testemunha capinada, exceto quando foram utilizadas doses na mesma proporção (0,50 L ha⁻¹ + 0,50 L ha⁻¹), como observado na Tabela 11.

Tabela 11 - Média do número de vagens por planta (NVPL) e produtividade de grão em kg ha⁻¹ (PROD) em função dos tratamentos avaliados

Tratamentos	Doses (L ha ⁻¹)		
		NVP	PROD
Testemunha capinada	-	13,60	2834,02
Testemunha sem capina	-	12,34*	2230,67*
Amplo	0,25	14,49*	2770,85*
Amplo	0,50	14,56*	3095,35*
Amplo	0,75	12,78*	2795,99*
Amplo	1,0	15,93*	3422,11*
Flex	0,25	15,05*	3414,79*
Flex	0,50	13,60	2960,39*
Flex	0,75	16,77*	3741,98*
Flex	1,0	15,05*	3160,23*
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	19,68*	3228,82*
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	12,52*	2986,12*
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	14,78*	3102,71*
C. V. (%)		17,20	11,18

*Médias com asterisco na coluna diferem da testemunha capinada a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

Verifica-se, na Tabela 11, que a testemunha sem capina apresentou redução no rendimento de grãos de 21,28%, em relação à testemunha capinada, uma única vez, sendo observada produção de 2.834,02 kg ha⁻¹ na testemunha capinada e 2.230,67 kg ha⁻¹ na sem capina. Esses resultados estão de acordo com trabalhos anteriores, em que se constataram a redução no rendimento de grãos devido à interferência das plantas daninhas (WILLIAN, 1973; KRANZ et al., 1982; NEARY; MAZEK, 1990; BLACKSHAW, 1991; MALIK et al., 1993; ZOLLINGER; KELLS, 1993; KOZLOWSKI et al., 2002).

O Amplo, em aplicação isolada, proporcionou produtividade do feijão superior à testemunha capinada apenas quando usado nas doses de 0,50 e 1,0 L ha⁻¹, enquanto Flex isoladamente ou em mistura com Amplo, em todas as doses, proporcionou produtividade superior à testemunha capinada. Isso indica que o efeito residual do fomesafen (Flex) permitiu que o feijão permanecesse no limpo por tempo superior a uma única capina, ou seja, no

limpo até a colheita, o que contribuiu para a maior produtividade de grãos (Tabela 11).

Tabela 12 - Produtividade (kg ha^{-1}) de feijão em diferentes doses de Amplo e Flex, aplicados isoladamente

Herbicidas	Doses L ha^{-1}			
	0,25	0,50	0,75	1,0
Amplo	2770,85B	3095,35A	2795,99B	3422,11A
Flex	3414,79A	2960,39A	3741,98A	3160,23A
C. V. (%)	11,18			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste F a 5% de probabilidade.

5.1.4. Efeito de herbicidas aplicados na cultura do feijão sobre a cultura do milho em sucessão

De todos os herbicidas, apenas o Flex na dosagem de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ proporcionou algum sintoma nas plantas de milho em nível de campo. Verifica-se, na Figura 4, que aos 30 dias após a emergência as folhas de milho apresentaram sintomas muito leves de intoxicação, na dose de 1,0 de Flex. Todavia, isso não foi suficiente para reduzir a produtividade de grãos da cultura (Tabela 13). É importante ressaltar que o plantio de milho em sucessão à cultura do feijão foi em realizado 150 dias após a aplicação dos herbicidas, ou seja, 64 dias após a colheita do feijão. Caso o plantio fosse efetuado logo após a colheita do feijão, é provável que a toxidez fosse maior. Por isso, há relatos de produtores em nível de campo, assim como na literatura (COBUCCI et al., 1998; RODRIGUES; ALMEIDA, 2011) sobre danos econômicos do fomesafen na produtividade de milho, quando em sucessão à cultura de feijão. Dessa forma, é fundamental avaliar a ação residual no solo desse herbicida.



Figura 4 - Sintomas de intoxicação em plantas de milho aos 30 dias após a emergência, semeadas aos 64 dias após a colheita de plantas de feijão tratadas com fomesafen (Flex 1 L ha⁻¹).

Tabela 13 - Média de produtividade (PROD) de grãos de milho semeados 64 dias após a colheita de feijão [150 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)] em função de diferentes tratamentos aplicados no feijão

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹	Característica PROD (kg ha ⁻¹)
Testemunha capinada	-	9497 ^{ns}
Testemunha sem capina	-	9717 ^{ns}
Amplo	0,25	10817 ^{ns}
Amplo	0,50	9717 ^{ns}
Amplo	0,75	9533 ^{ns}
Amplo	1,0	10853 ^{ns}
Flex	0,25	10670 ^{ns}
Flex	0,50	10340 ^{ns}
Flex	0,75	10560 ^{ns}
Flex	1,0	9827 ^{ns}
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	10963 ^{ns}
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	10780 ^{ns}
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	10487 ^{ns}
C. V. (%)		13,38

^{ns} Não significativo a 5%, pelo teste de Dunett.

5.2. Experimentos em casa de vegetação

5.2.1. Ação residual dos herbicidas sobre plantas de sorgo (*Sorghum vulgare*)

O Amplo, aplicado isoladamente, não provocou nenhuma toxidez nas plantas de sorgo nem redução no acúmulo da matéria seca da parte aérea, em nenhuma das épocas de coleta de solo e doses avaliadas. Entretanto, o Flex proporcionou efeito diferenciado de acordo com a dose e a época avaliada. Na Figura 5, aos 123 DAA, observa-se que houve redução no crescimento das plantas de sorgo nas doses de 0,25 e 0,50 e morte nas doses de 0,75 e 1,0 L ha⁻¹.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 representam, respectivamente, as porcentagens de intoxicação e redução do acúmulo da matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo pela ação do herbicida Flex aplicado isoladamente e em mistura com o Amplo. As equações ajustadas de cada curva, respectivos coeficientes de determinação e época em que houve redução de 50% da intoxicação e de matéria seca das plantas de sorgo em relação à testemunha I-50 (época em que a redução da intoxicação das plantas de sorgo pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à testemunha) estão apresentadas nas Tabelas 14, 15, 16 e 17.

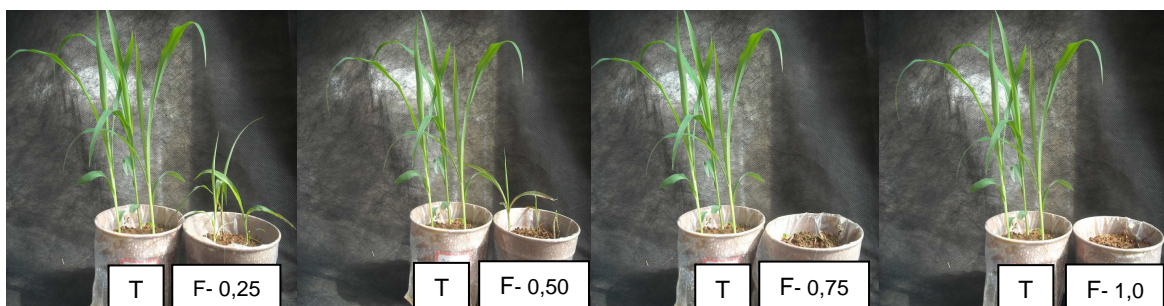


Figura 5 - Sintomas de intoxicação de plantas de sorgo cultivadas em solos contaminados com diferentes doses de Flex, em relação à testemunha, coletados a campo aos 123 DAA.

Na Figura 6 está representada a intoxicação das plantas de sorgo que cresceram em solo contaminado com o herbicida Flex em função da época de amostragem. Observa-se, nessa figura, que a dose de 0,25 L ha⁻¹ desse herbicida proporcionou menor intoxicação nas plantas-teste, sendo reduzida em 50% aos 70 dias após a sua aplicação. As demais dosagens tiveram comportamentos semelhantes, apresentando redução de 50% da intoxicação da parte aérea das plantas de sorgo entre 163 e 175 dias. De acordo com a escala adaptada da EWRC (1964), essa intoxicação variou de forte à morte das plantas de sorgo (mais de 80% de intoxicação).

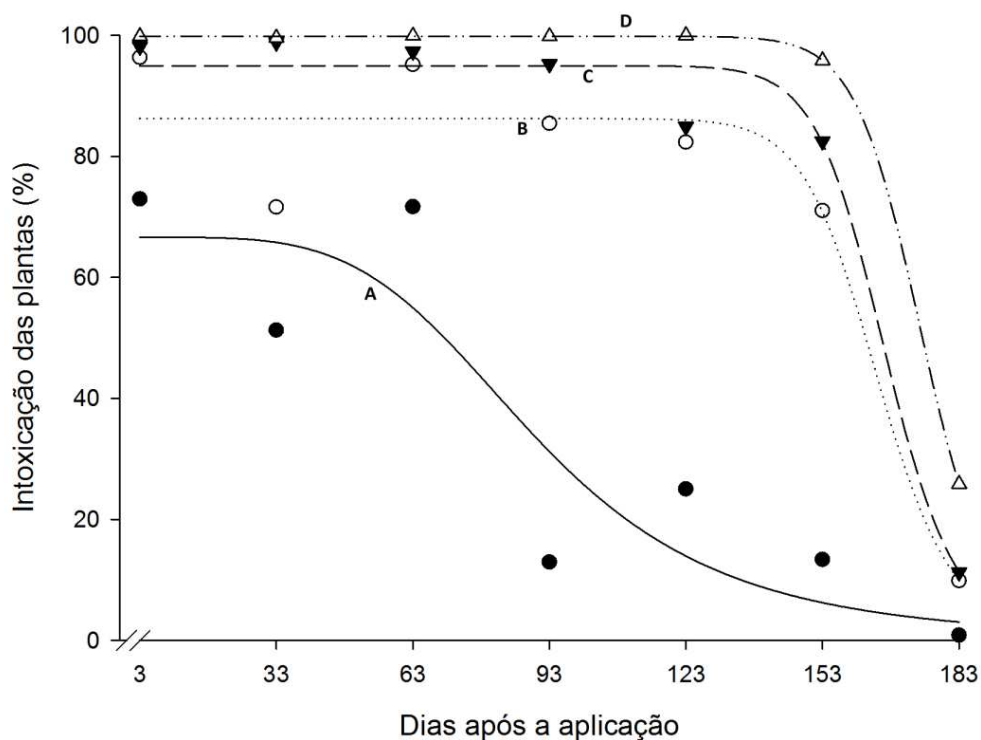


Figura 6 - Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com fomesafen (Flex): (A) 0,25; (B) 0,50; (C) 0,75; e (D) 1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta do solo [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)].

Segundo Johnson e Talbert (1993), a degradação do fomesafen em solos anaeróbicos ocorre em menos de três semanas, enquanto em condições aeróbicas ele requer de seis a 12 meses. Nesse trabalho, as baixas condições de umidade (pouca precipitação por longo período do experimento) (Figura 1) podem ter influenciado a degradação do fomesafen (Flex) no solo. Santos (1991), Cobucci (1996) e Cobucci et al. (1998) observaram degradação mais rápida do fomesafen em situação de maior teor de umidade no solo. Esses últimos autores comentaram, ainda, que na prática é muito comum a ocorrência de carryover do fomesafen nas bordas dos pivôs, local onde geralmente a lâmina d'água é menor.

Verifica-se, na Figura 1, que as precipitações foram bem maiores entre 153 e 183 DAA, fato que coincidiu com a redução brusca na

intoxicação das plantas de sorgo (Figura 5). As precipitações quantificadas nessa época superaram volumes de 40 mm de chuva diários por vários dias, provocando o encharcamento do solo, o que pode ter tornado seus poros cheios de água, reduzindo a sua oxigenação e, conseqüentemente, aumentado a degradação do herbicida Flex.

Tabela 14 - Equações ajustadas da porcentagem de intoxicação de plantas de sorgo, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução da intoxicação dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à testemunha (I-50)

Tratamentos (herbicida/dose L ha⁻¹)	Equações ajustadas	R²%	I-50* (Dias)
Flex 0,25	$\hat{Y} = \frac{66,6374}{1 + \left(\frac{x}{90,3123}\right)^{4,3055}}$	0,80	70
Flex 0,50	$\hat{Y} = \frac{86,2356}{1 + \left(\frac{x}{165,1991}\right)^{19,9011}}$	0,92	163
Flex 0,75	$\hat{Y} = \frac{94,9678}{1 + \left(\frac{x}{166,8415}\right)^{21,5377}}$	0,97	166
Flex 1,0	$\hat{Y} = \frac{99,8343}{1 + \left(\frac{x}{175,0227}\right)^{23,6165}}$	0,99	175

A mistura de 0,75 de Amplo + 0,25 L ha⁻¹ de Flex proporcionou menor intoxicação nas plantas de sorgo (35,09%) em relação às outras combinações de doses (Figura 7). As demais combinações dessa mistura apresentaram comportamento semelhante ao das doses do herbicida Flex aplicado isoladamente.

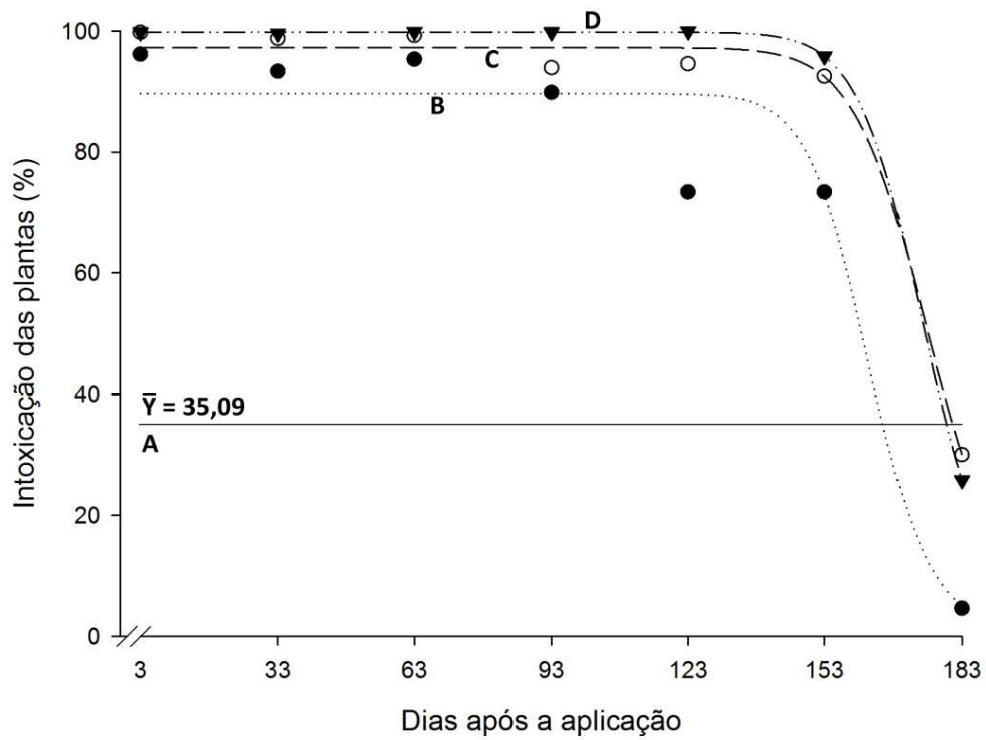


Figura 7 - Porcentagem de intoxicação em plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com bentazon+imazamox (Ampló) em mistura com fomesafen (Flex): (A) 0,75+0,25; (B) 0,50+0,50; (C) 0,25+0,75; e (D) 0,0+1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta de solo [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)].

Tabela 15 - Equações ajustadas da porcentagem de intoxicação de plantas de sorgo em relação à testemunha, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução da intoxicação dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à testemunha (I-50)

Tratamentos (herbicida/dose L ha ⁻¹)	Equações ajustadas	R ²	I – 50* (Dias)
Ampla 0,75+Flex 0,25	$\square = 35,09$		-
Ampla 0,50+Flex 0,50	$\hat{Y} = \frac{89,6628}{1 + \left(\frac{x}{162,7196}\right)^{24,0395}}$	0,94	161
Ampla 0,25+Flex 0,75	$\hat{Y} = \frac{97,2710}{1 + \left(\frac{x}{176,0947}\right)^{20,9841}}$	0,99	176
Ampla 0,0+Flex 1,0	$\hat{Y} = \frac{99,8343}{1 + \left(\frac{x}{175,0227}\right)^{23,6165}}$	0,99	175

Na Figura 8 está representado o acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo cultivadas em amostras de solo contaminadas com Flex. As equações ajustadas, os respectivos coeficientes de determinação e a época em que a redução do acúmulo da matéria seca das plantas de sorgo pela ação do herbicida foi de 50% em relação à testemunha (I-50) estão apresentados na Tabela 16. Doses de 0,25; 0,50; e 0,75 L ha⁻¹ do Flex isolado proporcionaram redução de 50% no acúmulo da matéria seca do sorgo variando de 20 a 152 DAA, apresentando aumento da sua matéria seca ao longo do tempo. A dose de 1,0 L ha⁻¹ desse herbicida proporcionou redução no acúmulo da matéria seca do sorgo aos 183 DAA maior que 50%, não sendo possível sua avaliação dentro do período de condução do experimento.

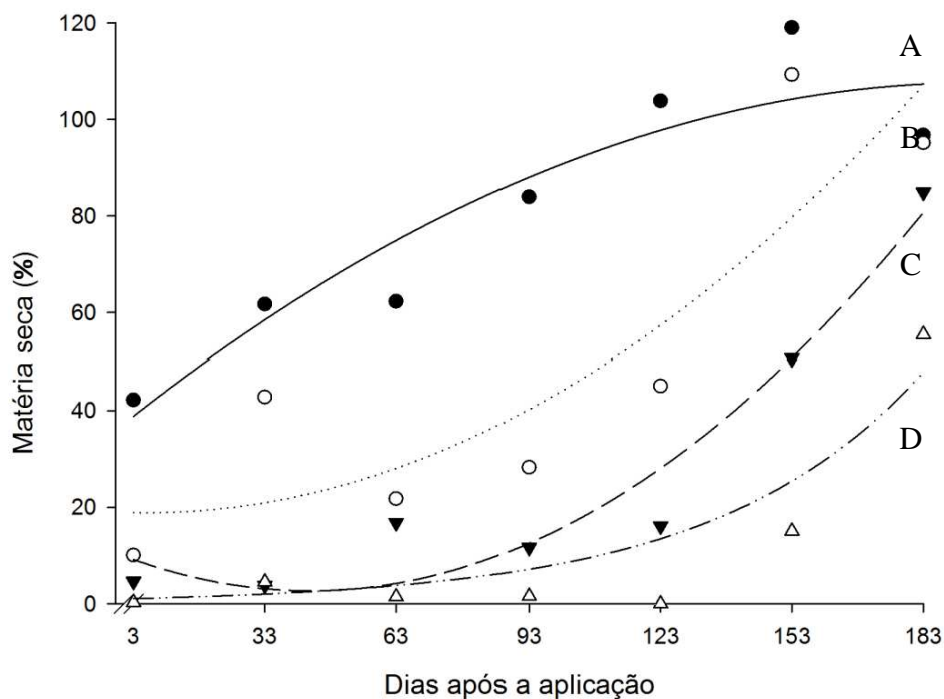


Figura 8 - Porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com fomesafen (Flex) isolado, nas doses (A) 0,25; (B) 0,50; (C) 0,75; e (D) 1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta do solo, [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)].

Tabela 16 - Equações ajustadas da porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo em relação à testemunha, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução do acúmulo da matéria seca das plantas dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à da testemunha (I-50)

Tratamentos (herbicida/dose L ha ⁻¹)	Equações ajustadas (MS)	R ²	I – 50* (Dias)
Flex 0,25	$\hat{Y} = 36,64 + 0,7239D - 0,00184D^2$	0,81	20
Flex 0,50	$\hat{Y} = 18,9649 - 0,03337D + 0,0028 D^2$	0,77	111
Flex 0,75	$\hat{Y} = 10,1431 - 0,3460D + 0,00399 D^2$	0,90	152
Flex 1,0	$\hat{Y} = e^{0,0211D}$	0,84	-

Em trabalho realizado no inverno em sistema convencional de plantio de feijão, Santos (1991) constatou que o fomesafen causou redução significativa no crescimento da parte aérea de plantas de sorgo até 100 dias após sua aplicação em todas as doses estudadas (0,125; 0,250; e 0,375 kg ha⁻¹). Na dose de 0,375 kg ha⁻¹, o efeito persistiu por até 180 dias. Esses resultados corroboram os observados neste trabalho, em que aos 183 DAA ainda foram verificados sintomas de intoxicação e redução de 53% na matéria seca da parte aérea das plantas de sorgo com 1 L ha⁻¹ do Flex.

Na Figura 9 está representada a porcentagem do acúmulo de matéria seca das plantas de sorgo, em relação à da testemunha sem herbicida, cultivadas em vasos contendo amostras de solo contaminadas com o herbicida Amplo em mistura com o Flex. As equações ajustadas relacionadas para cada curva da Figura 9, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução do acúmulo da matéria seca das plantas de sorgo pela ação dos herbicidas foi de 50% em relação à da testemunha (I-50) estão apresentadas na Tabela 17. Observa-se, nessa tabela, que as curvas das combinações dessa mistura seguem a mesma tendência da Figura 8, em que o Flex foi aplicado de forma isolada. Isso indica que Amplo em mistura não interferiu no comportamento residual do Flex.

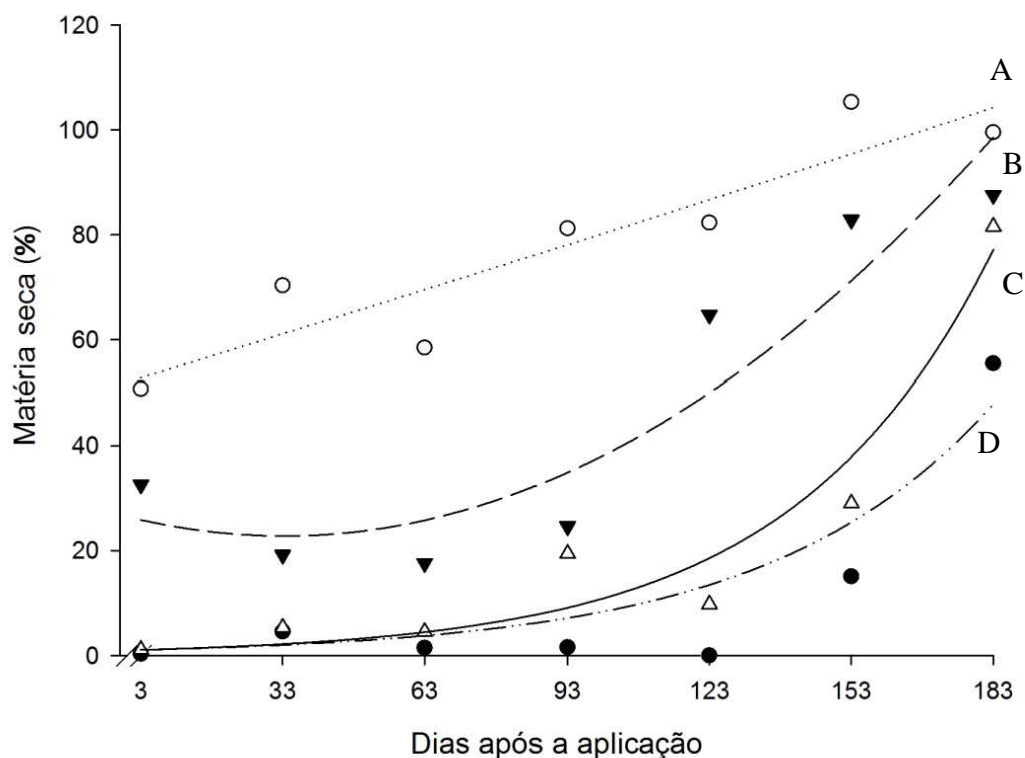


Figura 9 - Porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, em relação à testemunha, cultivadas em solos tratados com bentazon + imazamox (Ampl) em mistura ao fomesafen (Flex), nas doses (A) 0,75+0,25; (B) 0,50+0,50; (C) 0,25+0,75; e (D) 0,0+1,0 L ha⁻¹, em diferentes épocas de coleta do solo [3, 33, 63, 93, 123, 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)].

Tabela 17 - Equações ajustadas da porcentagem de matéria seca da parte aérea de plantas de sorgo, em relação à testemunha, respectivos coeficientes de determinação e época em que a redução do acúmulo da matéria seca dessas plantas pela ação do herbicida Flex foi de 50% em relação à da testemunha (I-50)

Tratamentos (herbicida/dose L ha ⁻¹)	Equações ajustadas (MS)	R ²	I - 50* (Dias)
Ampl 0,75+Flex 0,25	$\hat{Y} = 51,96 + 0,2755D + 0,0000545 D^2$	0,78	3
Ampl 0,50+Flex 0,50	$\hat{Y} = 26,48 - 0,2239D + 0,003376 D^2$	0,82	123
Ampl 0,25+Flex 0,75	$\hat{Y} = e^{0,0237D}$	0,94	165
Ampl 0,0 + Flex 1,0	$\hat{Y} = e^{0,0211D}$	0,84	-

Observou-se que os herbicidas que promoveram fácil colheita do feijão são exatamente os que apresentaram efeito residual por maior tempo, exceto a mistura dos herbicidas nas proporções de 0,75 de Amplo, com 0,25 de Flex. Essa mistura, além de proporcionar produtividade superior à da testemunha capinada, permitiu colheita do feijão no limpo, sem deixar resíduos no solo suficientes para reduzir o crescimento do sorgo (Figura 9), eliminando a possibilidade de “carryover” em culturas sucessoras.

5.2.2. Ação residual do herbicida Flex sobre plantas de milho

O ensaio biológico realizado em casa de vegetação com plantas de milho cultivadas em solos e contaminadas com Amplo, Flex e suas misturas apresentou diferentes resultados, sendo utilizadas amostras de solos coletadas aos 153 e 183 DAA dos herbicidas. A aplicação isolada do Amplo não provocou nenhuma toxidez às plantas de milho nas duas épocas de avaliações. No entanto, aos 153 DAA, doses superiores a $0,25 \text{ L ha}^{-1}$ do Flex aplicado isolado ou em mistura ao Amplo proporcionou intoxicação nas plantas de milho sete dias após a sua emergência (DAE) (Figura 10, Tabela 18). Todavia, com o aparecimento de novas folhas aos 21 DAE, observou-se recuperação das plantas de milho. Aos 183 DAA não foram observados nenhum sintoma de intoxicação nas plantas de milho em nenhum dos tratamentos avaliados.



Figura 10 - Sintomas de intoxicação em plantas de milho aos 7 dias após a emergência (DAE), cultivadas em solos tratados com fomesafen (Flex a 1 L ha⁻¹) 153 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA).

Tabela 18 - Média de intoxicação de plantas de milho aos sete e 21 DAE e % em relação à testemunha, cultivado em vaso com solos coletados aos 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na cultura do feijão

Tratamentos	Doses L ha ⁻¹	DAA			
		153		183	
		DAE			
		7	21	7	21
Testemunha	-	0	0	0	0
Amplo	0,25	0	0	0	0
Amplo	0,50	0	0	0	0
Amplo	0,75	0	0	0	0
Amplo	1,0	0	0	0	0
Flex	0,25	0	0	0	0
Flex	0,50	17,5	5	0	0
Flex	0,75	72,5	20	0	0
Flex	1,0	77,5	32,5	0	0
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	0	0	0	0
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	35	5	0	0
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	72,5	32,5	0	0
C. V. (%)					

Embora tenham sido observados sintomas de intoxicação por herbicidas nas plantas de milho aos 7 e 21 DAE na coleta de solo aos 153 DAA dos herbicidas (Tabela 18), não se observou diferença significativa na produção de matéria seca da parte aérea em relação ao solo onde não se usou nenhum herbicida (Tabela 19). Aos 183 DAA não houve efeito visual de intoxicação nem efeito na produção de matéria seca.

Tabela 19 - Média de matéria seca (MS), em grama/vaso da parte aérea de plantas de milho aos 21 dias após o plantio em solo coletado aos 153 e 183 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) na cultura do feijão

Tratamentos	Doses (L ha ⁻¹)	DAA	
		153	183
Testemunha	-	3,8 ^{ns}	2,6 ^{ns}
Amplo	0,25	3,8 ^{ns}	2,8 ^{ns}
Amplo	0,50	3,9 ^{ns}	2,9 ^{ns}
Amplo	0,75	3,9 ^{ns}	2,5 ^{ns}
Amplo	1,0	4,1 ^{ns}	2,9 ^{ns}
Flex	0,25	4,0 ^{ns}	2,9 ^{ns}
Flex	0,50	3,9 ^{ns}	2,8 ^{ns}
Flex	0,75	3,8 ^{ns}	2,8 ^{ns}
Flex	1,0	3,7 ^{ns}	2,6 ^{ns}
Amplo + Flex	0,75 + 0,25	3,8 ^{ns}	2,6 ^{ns}
Amplo + Flex	0,50 + 0,50	3,8 ^{ns}	2,7 ^{ns}
Amplo + Flex	0,25 + 0,75	3,7 ^{ns}	2,8 ^{ns}
C. V. (%)		5,3	11,79

^{ns} Não significativo a 5%, pelo teste de Dunnett.

6. CONCLUSÕES

Foram detectados resíduos do fomesafen (Flex) nos solos tratados com $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ até a avaliação feita aos 183 dias após a aplicação. Nessa época não ocorreram efeitos sobre a produtividade do milho a campo.

A persistência do fomesafen (Flex) no solo não foi alterada quando em mistura em tanque ao bentazon+imazamox (Amplo).

A mistura formulada bentazon+imazamox (Amplo), aplicada isoladamente, não foi eficiente no controle de plantas daninhas na área experimental até a colheita.

A mistura de bentazon+imazamox (Amplo) ao fomesafen (Flex) permitiu reduzir a dose do fomesafen (Flex) para $0,25 \text{ L ha}^{-1}$ sem redução da produtividade, com controle de 94% das plantas daninhas até a colheita, o que praticamente afasta o risco da ocorrência de carryover nas culturas de sorgo e milho.

7. REFERÊNCIAS

- ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 6. ed. São Paulo: Andrei, 1999. 672 p.
- AREVALO, R. A.; ROZANSKI, A. Plantas daninhas na cultura do feijão. In: SEMINÁRIO SOBRE PRAGAS E DOENÇAS DO FEIJOEIRO, 4., 1991, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1991. p. 33-43.
- ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p.1119-1123, 2006.
- ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS - Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**, v. 1, n. 1, p. 35-38, 1974.
- BLACKSHAW, R. E. Hairy Nightshade (*Solanum sarrachoides*) interference in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Weed Science**, v. 39, n. 1, p. 39-48, 1991.
- CLAY, D. V. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. In: STREIBIG, J. C.; KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Florida: CRC Press, 1993. p. 153-172.
- COBUCCI, T. **Avanços tecnológicos com a cultura do feijoeiro comum no sistema de plantio direto**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão Santo Antônio de Goiás, GO, 1999. 36 p. (Embrapa Arroz e Feijão - Documentos, 100).
- COBUCCI, T. et al. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen oil residue on rotational crops. **Weed Science**, v. 46, p. 258-263, 1998.
- COBUCCI, T. **Avaliação agrônômica dos herbicidas fomesafen e bentazon e efeito de seus resíduos no ambiente, no sistema irrigado**

feijão-milho. 1996. 106 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

COBUCCI, T.; MACHADO, E. Seletividade, eficiência de controle de plantas daninhas e persistência no solo de imazamox aplicado na cultura do feijoeiro. **Planta Daninha**, v. 17, n. 3, p. 419-432, 1999.

COELHO, F. C. et al. Efeitos sobre a cultura do feijão das adubações com nitrogênio e molibdênio e do manejo de plantas daninhas. **Revista Ceres**, v. 48, n. 278, p. 455-467, 2001.

COLBY, S. R. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations. **Weed science**, v. 15, p. 20-22, 1967.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da safra agrícola 2010/2011** - Sétimo levantamento. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2011. 12 p.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 1992. 430 p.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL - EWRC. Report of 3 rd and 4 rd meetings of EWRC. Cittee of methods in weed research. **Weed Research**, v. 4, p. 88, 1964.

FERREIRA, F. A. et al. Manejo de plantas daninhas. In: VIEIRA, C.; DE PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais da cultura no Estado de Minas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1998. p. 325-355.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A. Persistência do acetochlor em solo sob semeadura direta e convencional. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 133-139, 2002.

FONTES, J. R. A. et al. Metolachlor e fomesafen aplicados via irrigação por aspersão em plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 99-106, 2006.

FRANS, R. E. Measuring plant response. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). *Researche methods in weed science* [S.1.]. **Southern Weed Science Society**, p. 28-41, 1972.

HATZIOS, K. K.; PENNER, D. Interaction of herbicides with other agrochemicals in higher plants. **Rev. Weed Science**, v. 1, p. 1-63, 1985.

HESS, F. D.; WELLER, S. C. Inhibitors of protoporphyrinogen oxidase (Diphenyl ethers and oxadiazon). In: **Herbicide action**. Indiana: Purdue University, 2000. p. 225-243.

HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, v. 99, n. 3-4, p. 225-243, 2001.

JAKELAITIS, A. et al. Atividade residual no solo da mistura comercial dos herbicidas fluazifop-p-butil e fomesafen utilizados no cultivo convencional e direto do feijoeiro. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 533-540, 2006.

JOHNSON, D. H.; TALBERT, R. E. Imazaquin, chlorimuron, and fomesafen may injure rotational vegetables and sunflower (*Helianthus annuus*). **Weed Technology**, v. 7, p. 573-577, 1993.

KLINGMAN, T. E.; KING, C. A.; OLIVER, L. R. Effect of application rate, weed species, and stage of growth on imazethapyr activity. **Weed Science**, v. 40, n. 2, p. 227-232, 1992.

KOZLOWSKI, L. A. et al. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum em sistema de semeadura direta. **Planta Daninha**, v. 20, n. 2, p. 213-220, 2002.

KRANZ, W. M. et al. Efeitos em cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) da competição com ervas daninhas. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ E FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1982. p. 224-225.

LUNKES, J. A. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do feijão. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. p. 9-19.

MALIK, V. S.; SWANTON, C. J.; MICHAELS, T. E. Interaction of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars, row spacing and seedling density with annual weeds. **Weed science**, v. 41, n. 1, p. 62-68, 1993.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p.151-164, 2011.

MAROCHI, A. I. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 1993, Castro. **Anais...** Castro: Fundação A. B. C., 1993. p. 208-227.

NEARY, P. E.; MAJEK, B. A. Common cocklebur (*Xanthium strumarium*) interference in snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Weed Technology**, v. 4, n. 4, p. 743-748, 1990.

NIEKAMP, J. W.; JOHNSON, W. G. Weed management with sulfentrazone and flumioxazin in no-tillage soybean (*Glycine max*). **Crop Protection**, n. 20, p. 215-220, 2001.

OLIVEIRA JR., R. S. Conceitos importantes no estudo do comportamento de herbicidas no solo. **Boletim Informativo – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 9-13, 2001.

OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J. **Plantas daninhas e seu manejo**. Guaíba, RS: Agropecuária; Porto Alegre, 2001. 362 p.

PITELLI, R. A. Interferência de plantas daninhas em culturas agrícolas. **Informe Agropecuário**, v.11, p. 16-27, 1985.

PROSTKO, E. P.; MEADE, J. A. Reduced rates postemergence herbicides in conventional soybean (*Glycine max*). **Weed Technology**, v. 7, n. 2, p. 365-369, 1993.

ROCHA, C.; MARTINS, L. Avaliação dos herbicidas bentazon e imazamox no controle de plantas daninhas na cultura do feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado, RS. **Resumos...** Londrina, PR: SBCPD, 2002. p. 322.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina, PR: 2011. 639 p.

ROZANSKI, A. Avaliação da eficiência do herbicida fluazifop-p-butil + fomesafen na cultura de feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu, MG. **Resumos...** Viçosa, MG: SBHED, 1997. p.195.

SANTOS, J. G. M. **Controle químico de plantas daninhas na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), no inverno**. 1991. 86 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.

SEAB - Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/feijao_2010_11.pdf>. Acesso em: 2 out. 2011.

SILVA, A. A. et al. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2007. Cap. 3, p. 83-148.

SILVA, N. G. **Eficiência de fomesafen e bentazon, isolados e em mistura com graminicidas, no controle de plantas daninhas na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1988. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

SILVA, N. G.; SILVA, J. F. Eficiência dos graminicidas sethoxydim, fluazifop-butil; CGA 82725, Dowco 453 e clopropoxydim isolados e em mistura, com bentazon e fomesafen em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Piracicaba, SP: SBHED, 1984. p. 59.

SOARES, J. E.; VIDAL, R. A. Controle pós-emergente de plantas daninhas latifoliadas, em soja, com fomesafen. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Piracicaba, SP: SBHED, 1984. p. 89-90.

STECKEL, L. E.; DEFELICE, M. S.; SIMS, B. D. Integrating reduced rates of postemergence herbicides and cultivation for broadleaf weed control in soybean (*Glycine max*). **Weed science**, v. 38, n. 6, p. 541-545, 1990.

SOUZA, R. O. Controle de plantas daninhas no sistema de plantio direto na palha. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, RS, n. 38, Aldeia Norte Editora, p. 13-16, 1997.

VIEIRA, C. et al. Melhoramento de feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de plantas cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 301-391.

VIEIRA, C. **O feijão em cultivos consorciados**. Viçosa, MG: Editora UFV, 1985. 134 p.

WEBER, J. B. Ionization and sorption of fomesafen and atrazine by soils and soil constituents. **Pesticide Science**, v. 39, p. 31-38, 1993.

WELLER, S. Principles of selective weed control with herbicides. In: **Herbicide action course**. West Lafayette: Purdue University, 2003a. p. 101-130.

WILLIAN, R. D. Competição entre a tiririca (*Cyperus rotundus*) e o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). **Revista Ceres**, v. 20, n. 112, p. 424-432, 1973.

ZOLLINGER, R. K.; KELLS, J. J. Perennial sowthistle (*Sonchus arvensis*) interference in soybean (*Glycine max* L.) and dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Weed Technology**, v. 7, n. 1, p. 52-57, 1993.