

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DESENVOLVIMENTO, AUTOMATIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELO  
BIOECONÔMICO DE GESTÃO DE *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.  
NA CULTURA DO FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)

Augusto Kalsing  
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Ênfase Herbologia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Janeiro de 2011



## **DEDICO**

*“Ao meu tio e padrinho Rogério Barth (In Memoriam), um dos pioneiros no cultivo de feijão comum na região leste dos cerrados brasileiros”.*

*“Há homens que lutam um dia, e são bons;  
Há outros que lutam um ano, e são muito bons;  
Há outros que lutam muitos anos, e são ainda melhores;  
Porém, há os que lutam toda a vida. Esses são imprescindíveis”.*

*Bertold Brecht*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre guiou meus passos durante toda minha vida e, que me permite realizar mais um dos meus sonhos com a ajuda de muitas pessoas imprescindíveis.

A minha maravilhosa mãe Anelise, pelo amor durante toda vida, por sustentar nossa família nos momentos difíceis e por compreender a minha ausência durante esses anos.

Ao meu pai, Airton, e irmãos, Alice e Arthur, pelo amor durante toda vida, pelo apoio fundamental nesta etapa importante e por confiarem sempre nas minhas decisões e nos meus sonhos.

A minha noiva, Fernanda, e também a sua família, pelo amor e carinho, pela participação ativa neste trabalho e por compreender a grande relevância desta etapa para a construção do nosso futuro.

Ao professor Ribas Antonio Vidal, orientador exemplar e distinto, pela amizade, confiança e dedicação ao longo desses oito anos de orientação nos estudos na área de plantas daninhas.

Ao professor Aldo Merotto Jr., pela co-orientação em mais este trabalho, e, aos professores Christian Bredemeier, Deborah Dick e Michelangelo Trezzi, pela participação na banca examinadora do mesmo.

Aos professores João Riboldi, Paulo de Oliveira e Marcelo Pacheco, pelos enriquecedores ensinamentos e pelo auxílio fundamental na elaboração de parte das análises estatísticas realizadas neste trabalho.

A todos os professores do Departamento de Plantas de Lavoura, em especial a André Thomas, Carla Delatorre e Paulo Régis da Silva, pela grande contribuição para o meu aperfeiçoamento profissional.

Ao estudante de iniciação científica, Renan Zucatti, pelo apoio e compromisso com o trabalho durante a condução dos experimentos a campo e em casa de vegetação.

Ao pesquisador Francisco Skora Neto, também parceiro deste trabalho, pelo período de estágio no Instituto Agronômico do Paraná e treinamento para a configuração do programa computacional.

Aos funcionários Adriano da Fonseca, José Miguel Lenzi e Paulo Lima, pela ajuda nos experimentos a campo; e, ao funcionário Adroaldo de Paula, pelo auxílio nos experimentos em casa de vegetação.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela formação acadêmica e, ao seu Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade única de aprimoramento e complementação desta formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela imprescindível bolsa de estudos e suporte nesse período de capacitação profissional.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em especial àqueles com quem dividi na “salinha” parte do espaço e do tempo, pela amizade, bons momentos e parceria.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz, pela enorme confiança em mim depositada no período final deste trabalho e oportunidade ímpar de trabalho junto à equipe de plantas daninhas da Instituição.

A todas as pessoas imprescindíveis que em algum momento durante esses dois anos atravessaram o meu caminho e contribuíram com o meu trabalho ou com a minha formação profissional.

# DESENVOLVIMENTO, AUTOMATIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE MODELO BIOECONÔMICO DE GESTÃO DE *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch. NA CULTURA DO FEIJÃO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)<sup>1</sup>

Autor: Augusto Kalsing  
Orientador: Ribas Antonio Vidal  
Co-orientador: Aldo Merotto Júnior

## RESUMO

A espécie *Brachiaria plantaginea* (papuã) reduz a rentabilidade da cultura do feijão comum. O manejo apropriado dessa planta daninha requer a seleção de medidas de controle que oportunizem otimizar o retorno econômico da cultura com o seu uso. Um modelo de gestão baseado em critérios de ordem agrônômica e econômica poderá vir a ser uma ferramenta promissora para auxiliar nesta seleção. Para isso, foram conduzidos no LAFLOR, em Porto Alegre - RS e, na EEA, em Eldorado do Sul - RS, nos anos de 2008, 2009 e 2010, seis linhas de estudo tendo por objetivos: avaliar a seletividade diferencial de herbicidas aplicados em pré-emergência entre o papuã e o feijoeiro comum; estabelecer relações entre o nível de infestação dessa planta daninha e o desempenho agrônômico da cultura, para duas cultivares de feijão comum; e, determinar o valor da dose ótima agrônômica e econômica de herbicidas graminicidas para controlar papuã em pós-emergência da cultura. Os herbicidas dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin foram seletivos à cultura e, além disso, reduziram o nível de infestação de papuã na lavoura. O papuã afetou negativamente o rendimento de grãos de feijão comum e seus componentes, reduzindo acentuadamente o retorno econômico da cultura. O valor do NCD do papuã variou de acordo com as cultivares de feijão comum, épocas de avaliação, variáveis explicativas da infestação e modelos matemáticos. A dose ótima de clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl, tanto agrônômica quanto econômica, foi inferior ao valor da dose máxima de registro para controlar papuã. Com essas informações, desenvolveu-se, automatizou-se e validou-se um modelo para mediar a escolha das opções de controle do papuã.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (201p.) Janeiro, 2011.

# DEVELOPMENT, AUTOMATION AND VALIDATION OF A BIOECONOMICAL MODEL FOR *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch. MANAGEMENT ON COMMON BEAN CROP (*Phaseolus vulgaris* L.)<sup>1</sup>

Author: Augusto Kalsing  
Adviser: Ribas Antonio Vidal  
Co- adviser: Aldo Merotto Júnior

## ABSTRACT

*Brachiaria plantaginea* reduces grain profitability of common bean. Appropriate management of this weed requires the selection of measures that can optimize the crop economic return. A bioeconomical model based on agronomic and economic criteria could be a promising tool to assist with this selection of weed control options. Experiments were carried out at LAFLOR, Porto Alegre - RS, and at EEA, Eldorado do Sul - RS, during 2008, 2009 and 2010, with the objectives: to assess the selectivity of pre-emergence herbicides in common bean plants; to study the relationships between *B. plantaginea* infestation and crop agronomic performance, for different common bean cultivars, and to determine the value of the optimal agronomic dose and optimal economic dose for control this weed at post-emergence of common bean. The herbicides dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin and trifluralin did not cause crop injury and also provided different weed densities. The magnitude of common bean yield was proportional to *B. plantaginea* density. The main components of the crop grain yield were also affected by the weed density. The impact of each *B. plantaginea* plant on the crop yield depended on the bean cultivars, assessment period, variables evaluated, and mathematical models. The optimal agronomic and economic herbicide dose was below the recommended dose of the herbicides to control *B. plantaginea* in common bean. Based on these data, a bioeconomical model was developed, automated, and validated to help to decide the best options for *B. plantaginea* control.

---

<sup>1</sup> Master of Science Dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (201p.) January, 2011.

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
2.1 A cultura do feijão comum.....	05
2.1.1 O feijão comum na alimentação.....	05
2.1.2 O feijão comum na economia agrícola.....	07
2.1.3 O feijão comum no desenvolvimento social.....	09
2.1.4 Impacto de infestantes na cultura do feijão comum.....	10
2.2 O papuã [ <i>Brachiaria plantaginea</i> (Link) Hitch.].....	11
2.2.1 Biologia e ecofisiologia do papuã.....	11
2.2.1 Controle químico do papuã em feijão comum.....	16
2.3 Modelos bioeconômicos de gestão de infestantes.....	17
2.3.1 Nível de dano econômico de infestantes.....	19
2.3.2 Principais limitações do nível de dano econômico.....	23
2.3.3 Aplicação de níveis de dano em modelos bioeconômicos..	27
2.3.4 Redução da dose de herbicidas.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Localização, clima e solo.....	30
3.2 Características das cultivares de feijão comum.....	31
3.3 Experimento em casa de vegetação.....	32
3.3.1 Seletividade de herbicidas residuais (LE1).....	34
3.4 Experimentos a campo com herbicidas residuais.....	36
3.4.1 Controle do papua com herbicidas residuais (LE2).....	38
3.4.2 Interferência do papua no feijoeiro comum (LE3).....	40
3.4.3 Nível crítico de dano do papua no feijoeiro comum (LE4)..	42
3.4.3.1 Modelo 1 (Modelo hiperbólico).....	43
3.4.3.1 Modelos 2 e 3 (Modelos lineares).....	44
3.5 Experimento a campo com herbicidas graminicidas.....	45
3.5.1 Controle do papua com herbicidas graminicidas (LE5).....	46
3.5.1.1 Abordagem de ordem agrônômica.....	46
3.5.1.1 Abordagem de ordem econômica.....	47
3.6 Modelo bioeconômico (LE6).....	48
3.6.1 Desenvolvimento do modelo.....	49
3.6.2 Automatização do modelo.....	50
3.6.3 Validação do modelo.....	52
4. RESULTADOS.....	53
4.1 Seletividade de herbicidas residuais (LE1).....	53
4.1.1 Resultados gerais.....	53
4.1.2 Emergência das plantas.....	55
4.1.3 Fitointoxicação das plantas.....	55

	Página
4.1.4 Massa desidratada da parte aérea.....	57
4.1.5 Massa desidratada das raízes.....	57
4.2 Controle do papuã com herbicidas residuais (LE2).....	59
4.2.1 Resultados gerais.....	59
4.2.2 Controle de papuã.....	60
4.2.3 Densidade de plantas de papuã.....	61
4.2.4 Massa das plantas frescas de papuã.....	62
4.2.5 Massa das plantas desidratadas de papuã.....	63
4.2.6 Densidade de plantas de feijão comum.....	64
4.2.7 Número de legumes por área de feijão comum.....	66
4.2.8 Número de grãos por legume de feijão comum.....	69
4.2.9 Massa do grão de feijão comum.....	70
4.2.10 Rendimento de grãos de feijão comum.....	71
4.3 Interferência do papua no feijoeiro comum (LE3).....	73
4.3.1 Impacto do papuã em feijão comum.....	74
4.3.1.1 Impacto na densidade de plantas.....	76
4.3.1.2 Impacto no número de legumes por área.....	76
4.3.1.3 Impacto no número de grãos por legume.....	79
4.3.1.4 Impacto na massa do grão.....	81
4.3.1.5 Impacto no rendimento de grãos.....	82
4.3.1.6 Coeficientes de correlação entre as variáveis.....	83
4.3.2 Análises de trilha dos caracteres.....	84
4.4 Nível crítico de dano do papua no feijoeiro comum (LE4).....	87
4.4.1 Resultados comuns.....	87
4.4.2 Modelo 1 (Modelo hiperbólico).....	89
4.4.3 Modelos 2 e 3 (Modelos lineares).....	93
4.4.4 Comparação entre cultivares.....	94
4.4.5 Comparação entre variáveis explicativas.....	95
4.4.6 Comparação entre modelos matemáticos.....	98
4.5 Controle do papua com herbicidas graminicidas (LE5).....	98
4.5.1 Análises de ordem agrônômica.....	99
4.5.1.1 Densidade de plantas do papuã.....	99
4.5.1.2 Massa das plantas frescas e desidratadas do papuã	103
4.5.1.3 Rendimento de grãos do feijoeiro comum.....	104
4.5.2 Análises de ordem econômica.....	105
4.5.1.2 Margem líquida do feijoeiro comum.....	107
4.6 Modelo bioeconômico (LE6).....	108
4.6.1 Função dano do papuã.....	109
4.6.2 Função controle do papuã.....	109
4.6.3 Desenvolvimento do modelo.....	113
4.6.4 SAGI (1.0): Sistema de Apoio à Gestão de Infestantes.....	116
4.6.5 Validação dos dados estimados.....	119
5. DISCUSSÃO.....	121
5.1 Seletividade de herbicidas residuais (LE1).....	121
5.2 Controle do papua com herbicidas residuais (LE2).....	124
5.3 Interferência do papua no feijoeiro comum (LE3).....	129
5.4 Nível crítico de dano do papua no feijoeiro comum (LE4).....	136
5.5 Controle do papua com herbicidas graminicidas (LE5).....	144
5.6 Modelo bioeconômico (LE6).....	150
5.7 Discussão conjunta dos resultados.....	155

	Página
6. CONCLUSÕES.....	157
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158
8. APÊNDICES.....	173
9. VITA.....	201

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Principais herbicidas registrados no Brasil para controlar papuã com ação seletiva para a cultura do feijão comum e suas características físico-químicas.....	18
2. Nível crítico de dano (NCD) e nível de dano econômico (NDE) de plantas daninhas para culturas de lavoura de estação estival.....	22
3. Nível crítico de dano (NCD) e nível de dano econômico (NDE) de plantas daninhas para culturas de lavoura de estação hibernal.....	23
4. Características das plantas das cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UFT-06'.....	32
5. Tratamentos herbicidas aplicados no experimento em casa de vegetação.....	33
6. Tratamentos herbicidas aplicados nos experimentos a campo com herbicidas residuais.....	37
7. Equações usadas para estimar os efeitos diretos e indiretos do número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL) e massa do grão (MDG) sobre o rendimento de grãos (RDG)..	42
8. Tratamentos aplicados no experimento a campo com herbicidas gramínicidas.....	45
9. Equações de regressão usadas para determinar o efeito de doses de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura sobre quatro variáveis da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna'.....	54
10. Controle de papuã nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação.....	60
11. Densidade de plantas de papuã nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação.....	61

	Página
12. Massa das plantas frescas de papuã nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação.....	62
13. Massa das plantas desidratadas de papuã nas cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação.....	63
14. Densidade de plantas das cultivares 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência.....	65
15. Número de legumes por área das cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência.....	67
16. Número de grãos por legume e massa do grão das cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses..	69
17. Rendimento de grãos das cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência.....	72
18. Valores dos parâmetros das equações de regressão usadas para determinar a interferência do papuã sobre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', aos 20 dias após a emergência da cultura.....	77
19. Valores dos parâmetros das equações <sup>a</sup> de regressão usadas para determinar a interferência do papuã sobre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', aos 40 dias após a emergência da cultura.....	78
20. Coeficientes de correlação entre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' e a infestação de papuã, aos 20 e 40 dias após e emergência.....	83
21. Valores dos parâmetros das equações de regressão linear usadas para determinar a relação entre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06'.....	84
22. Coeficientes de correlações entre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06'.....	85

	Página
23. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos componentes número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL) e massa do grão (MDG) sobre o rendimento de grãos.....	86
24. Valores dos parâmetros das equações de três modelos utilizados para determinar o nível crítico de dano (NCD) do papuã nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', com base em diferentes variáveis explicativas da infestação.....	88
25. Valores dos parâmetros da equação utilizada para determinar a relação entre a massa individual das plantas desidratadas de papuã e a sua densidade de plantas, em convivência com as cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06'.....	96
26. Valores dos parâmetros da equação utilizada para determinar o efeito de doses crescentes de herbicidas aplicados em pós-emergência da cultura sobre três variáveis explicativas da infestação do papuã e valores das doses necessárias para redução de 50 (R <sub>50</sub> ) e 95% (R <sub>95</sub> ) da magnitude das variáveis explicativas da infestação do papuã.....	100
27. Valores dos parâmetros da equação utilizada para determinar a margem líquida da cultura do feijão comum, cultivar IPR Graúna, em função de doses crescentes de três herbicidas graminicidas e valores calculados para a dose ótima econômica (DOE) e margem líquida ótima (MLO).....	106
28. Estimativas de perda agrônômica (Kg ha <sup>-1</sup> ) e monetária (R\$ ha <sup>-1</sup> ) do feijoeiro comum por interferência do papuã simuladas para diferentes rendimentos de grãos, preço do produto, densidades de papuã e cenários de perda.....	111
29. Estimativa da eficácia agrônômica e da margem líquida dos tratamentos herbicidas aplicados em pós-emergência do feijoeiro comum no controle de diferentes populações de papuã.....	114

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Características da área cultivada utilizadas nos cálculos realizados pelo programa SAGI 1.0.....	51
2. Emergência (A) e fitointoxicação (B) das plantas da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna' em função de doses de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura, aos cinco e vinte dias após a emergência, respectivamente.....	56
3. Massa desidratada da parte aérea (A) e das raízes (B) das plantas da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna' em função de doses de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura, aos vinte dias após a emergência, respectivamente.....	58
4. Rendimento de grãos nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' (A) e 'UTF-06' (B) em função da densidade de papuã, aos 20 dias após a emergência da cultura.....	75
5. Rendimento de grãos (A), número de legumes $m^{-2}$ (B), número de grãos $legume^{-1}$ (C) e massa do grão (D) nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 dias após a emergência da cultura.....	79
6. Rendimento de grãos (A), número de legumes $m^{-2}$ (B), número de grãos $legume^{-1}$ (C) e massa do grão (D) nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' em função da massa desidratada das plantas de papuã, aos 40 dias após a emergência da cultura.....	80
7. Perda do rendimento de grãos de feijão comum nas cultivares 'IPR Graúna' (●) e 'UTF-06' (○) em função da densidade de plantas papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura.....	90
8. Perda do rendimento de grãos de feijão comum nas cultivares 'IPR Graúna' (●) e 'UTF-06' (○) em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura.....	91
9. Perda do rendimento de grãos de feijão comum nas cultivares 'IPR Graúna' (●) e 'UTF-06' (○) em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura.....	92

	Página
10. Redução da massa das plantas desidratadas do papuã em função da sua densidade de plantas, nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' (A) e 'UTF-06' (B), aos 40 dias após a emergência da cultura.....	97
11. Densidade de plantas (A) e massa das plantas desidratadas (B) de papuã em função dos herbicidas clethodim (●), sethoxydim (○) e fluazifop-p-butyl (▼), aplicados em seis doses, aos 28 dias após a aplicação.....	102
12. Rendimento de grãos da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna' em função dos herbicidas clethodim (●), sethoxydim (○) e fluazifop-p-butyl (▼), aplicados em seis doses.....	104
13. Margem líquida da cultura do feijão comum, cultivar 'IPR Graúna', em função dos herbicidas clethodim (●), sethoxydim (○) e fluazifop-p-butyl (▼), aplicados em seis doses.....	108
14. Cálculo da perda agronômica (kg ha <sup>-1</sup> e %) e monetária (R\$ ha <sup>-1</sup> ) da cultura do feijão comum por interferência de diferentes densidades do papuã, em duas simulações com diferentes valores para os indexadores técnicos. SAGI 1.0.....	117
15. Cálculo do ganho monetário (R\$ ha <sup>-1</sup> ) da cultura do feijão comum em função da aplicação de diferentes tratamentos herbicidas para o controle do papuã, em duas simulações realizadas com auxílio do software SAGI 1.0.....	118
16. Relação entre perda real e perda estimada do rendimento de grãos da cultivar de feijão comum UTF-06 em função da densidade de plantas do papuã, aos 20 dias após a emergência da cultura.....	120
17. Diagrama causal para os efeitos diretos e indiretos da massa do papuã (MDP), número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL) e massa do grão (PMG) sobre o rendimento de grãos (RTG). Quadrados escuros indicam a cultivar 'IPR Graúna' e quadrados brancos a cultivar 'UTF-06'.....	133

## RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

ACCCase	Enzima acetil coenzima-A carboxilase
Acetil-CoA	Grupo Acetil coenzima-A
°C	Graus Celsius
C <sub>50</sub>	Dose do herbicida que reduz 50 % da variável
cm	Centímetros
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
CONAB	Compania Nacional de Abastecimento
C. V.	Coefficiente de variação
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAA	Dias após a aplicação dos tratamentos
DAE	Dias após a emergência da cultura
DAS	Dias após a semeadura da cultura
DE	Dano econômico
DMS	Diferença mínima significativa
DOE	Dose ótima econômica
DP	Densidade de plantas de papuã
EEA	Estação Experimental Agronômica
EUA	Estados Unidos da América
F	Teste F
FAO	Food and Agriculture Organization
g	Gramas
h	Horas
ha	Hectare
i.a.	Ingrediente ativo
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Mercadoria e Circulação
k (K <sub>2</sub> O)	Potássio
kg	Kilograma
k <sub>OC</sub>	Coefficiente de sorção ao carbono orgânico
k <sub>OW</sub>	Coefficiente de partição octanol:água
LAFLOR	Laboratório da Flora Ruderal
LE	Linha de estudo
M	Metros
M <sub>1</sub>	Modelo 1
M <sub>2</sub>	Modelo 2
M <sub>3</sub>	Modelo 3
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDPA	Massa desidratada da parte aérea da cultura
MDR	Massa desidratada das raízes da cultura
Mercosul	Mercado comum do cone sul
mg	Miligrama

ML	Margem líquida
MLO	Margem líquida ótima
mm	Milímetros
MDG	Massa do grão
MPD	Massa das plantas desidratadas de papuã
MPF	Massa das plantas frescas de papuã
N	Nitrogênio
NCD	Nível crítico de dano
NCD <sub>M1</sub>	Nível crítico de dano calculado pelo modelo 1
NCD <sub>M2</sub>	Nível crítico de dano calculado pelo modelo 2
NCD <sub>M3</sub>	Nível crítico de dano calculado pelo modelo 3
NDE	Nível de dano econômico
NGL	Número de grãos por legume
NLA	Número de legumes por área
P(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Fósforo
PCPI	Período crítico de prevenção da interferência
Plts	Plantas
pH	Potencial de hidrogenação
PIB	Produto interno bruto
pKa	Potencial de dissociação ácido:base
r (R)	Coefficiente de correlação
r <sup>2</sup> (R <sup>2</sup> )	Coefficiente de associação
R\$	Reais
R <sub>50</sub>	Dose para controle de 50% das plantas de papuã
R <sub>95</sub>	Dose para controle de 95% das plantas de papuã
RDG	Rendimento de grãos
S	Solubilidade em água
SAGI	Sistema de Apoio à Gestão de Infestantes
sc	Saca
TCI	Testemunha com infestação
TSI	Testemunha sem infestação
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFTPR	Universidade Federal Tecnológica do Paraná

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão comum apresenta grande importância alimentar, econômica e social para o Brasil. O cultivo dessa espécie é praticado por produtores de pequena a grande escala, em distintos sistemas de cultivo e em diversos ecossistemas agrícolas. Além disso, a cultura tem como propósito principal a produção de grãos alimentícios para a nutrição humana, em especial para as classes sociais de baixa renda. Por essas razões, pode-se considerar o feijoeiro comum como uma das culturas anuais mais importantes para a agricultura e para a sociedade brasileira.

Historicamente, o cultivo do feijão comum tem geralmente apresentado baixas produtividades médias no Brasil. Muitas razões têm sido aventadas para a ocorrência desta situação, dentre as quais destaca-se a interferência negativa imposta pelas plantas daninhas à cultura. De fato, o feijão comum é comumente cultivado em propriedades de pequena área, onde a gestão das infestantes nem sempre ocorre da forma mais adequada. Assim, estima-se que dentre as culturas anuais cultivadas no Brasil, o feijão comum é aquela que tem as maiores perdas causadas pelo impacto das plantas daninhas.

Papuã, capim papuã, marmelada, capim marmelada, capim guatemala, grama paulista, milhã e milhã branca são os distintos nomes comuns da espécie *Brachiaria plantaginea* no Brasil. Essa planta daninha apresenta ampla distribuição geográfica e abundância nas principais regiões com

cultivo de feijão comum no país (Cobucci, 2008). Além disso, pode exercer elevado grau de prejuízo sobre a produtividade dessa cultura, especialmente quando ocorre sob elevadas densidades (Vidal *et al.*, 2010a).

Muitos fatores devem ser apreciados na avaliação do impacto das diferentes opções de controle do papuã sobre a produção de grãos e a margem líquida do feijoeiro comum. Essa análise comparativa pode ser complexa em função da diversidade de herbicidas registrados e das demais opções de controle (Bennett *et al.*, 2003). Além disso, outros fatores podem dificultar ainda mais tal análise, como a ocorrência de outras espécies de plantas daninhas, o estágio de desenvolvimento do papuã e as condições do ambiente no momento da aplicação (Wilkerson *et al.*, 2002).

Uma forma de contornar esta situação consiste no emprego de modelos bioeconômicos com a função de auxiliar na decisão de escolha de opções de controle de infestantes. Esses modelos simulam estratégias de gestão das plantas daninhas e tornam mais flexíveis as decisões de aplicação de medidas de controle (Dieleman *et al.*, 1996). Deste modo, pode-se avaliar os benefícios agrônômicos e econômicos proporcionados pela adoção de cada alternativa de controle disponível (Coble & Mortensen, 1992) e decidir pela utilização daquela mais adequada para cada situação específica.

Dado o potencial de o papuã ocorrer e interferir negativamente sobre os sistemas de cultivo de feijão comum, torna-se fundamental criar estratégias de gestão dessa espécie daninha. Deste modo, um modelo bioeconômico poderia prever o dano dessa infestante à cultura e, ainda, indicar as medidas mais viáveis para o seu controle. Portanto, poder-se-ia otimizar o controle de determinada infestação de papuã e, concomitantemente, reduzir os custos de produção da cultura do feijoeiro comum.

Hipotetizou-se, nessa dissertação, que experimentos realizados para avaliar a eficácia de herbicidas subsidiariam o desenvolvimento de um modelo de gestão de papuã. Deste modo, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver, automatizar e validar um modelo bioeconômico para auxiliar a gestão do papuã em feijão comum. Para cumprir esse escopo, foram delineadas seis diferentes linhas de estudo (LE), as quais objetivaram fornecer indexadores para a confecção do referido modelo. A seguir, apresenta-se o enfoque particular de cada uma das LE desenvolvidas, com o intuito de situar o leitor com relação à organização desta dissertação.

Na primeira LE (LE1), hipotetizou-se que os herbicidas residuais com registro para feijão comum não causariam injúrias nesta cultura quando aplicados na dose recomendada. Deste modo, o seu objetivo foi avaliar a seletividade de herbicidas sob doses crescentes, em pré-emergência, sobre o crescimento inicial de plantas de feijão comum.

A hipótese da segunda LE (LE2) era de que os herbicidas residuais previamente testados na LE1 reduziram o nível de infestação de papuã nas áreas cultivadas com feijão comum. Neste caso, objetivou-se investigar a eficácia do controle do papuã em função de doses de herbicidas residuais aspergidos na condição de pré-emergência da cultura.

Na terceira LE (LE3), presumiu-se que a interferência negativa exercida pelas plantas de papuã reduziria acentuadamente a magnitude do desempenho agrônomo do feijoeiro comum. Assim, o objetivo dessa LE foi determinar e quantificar o valor interferência dessa infestante sobre a produtividade de grãos de feijão comum e seus componentes.

A hipótese da quarta LE (LE4) era de que a interferência individual de cada planta de papuã causaria pequeno impacto sobre a

produtividade de grãos de feijão comum. Deste modo, objetivou-se determinar o nível crítico de dano (NCD) do papuã, ou seu impacto individual, sobre a produção de grãos do feijoeiro comum.

Na quinta LE (LE5), supôs-se que a utilização de doses reduzidas de herbicidas graminicidas registrados para feijão comum não comprometeria a eficácia do controle das plantas de papuã. Portanto, o objetivo dessa LE foi determinar a dose ótima agronômica e econômica destes herbicidas para controlar a infestante em pós-emergência da cultura.

A hipótese da sexta LE (LE6) era de que um modelo de gestão baseado em critérios agronômicos e econômicos poderia auxiliar na seleção de medidas de controle do papuã em feijão comum. Neste caso, objetivou-se desenvolver, automatizar e validar um modelo bioeconômico com a finalidade de subsidiar a gestão de papuã na cultura do feijão comum.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A cultura do feijão comum**

O presente capítulo inicia apresentando os principais aspectos da cultura do feijão comum no Brasil, com ênfase nas suas características alimentares, econômicas e sociais. Após, apresenta, exemplifica e discute os efeitos negativos que a interferência das plantas daninhas exercem quando convivem com essa cultura no agroecossistema.

#### **2.1.1 O feijão comum na alimentação**

O feijão comum é um alimento importante para a humanidade, por fornecer elevadas quantidades de calorias, proteínas, fibra alimentar e minerais (Lajolo *et al.*, 1996; Costa *et al.*, 2006). O conteúdo de carboidratos varia de 68 a 74 g 100 g<sup>-1</sup> e o de proteínas de 22 a 26 g 100 g<sup>-1</sup> nos genótipos comumente cultivados (Ramirez-Cárdenas *et al.*, 2005). Os teores de fibras situam-se entre 22 e 40 g 100 g<sup>-1</sup>, sendo um dos mais elevados entre os grãos alimentares (Londero *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*, 2008b). Esse alimento apresenta reduzido conteúdo de lipídios armazenados e não possui níveis significativos de colesterol (Ramirez-Cárdenas *et al.*, 2008).

Os grãos de feijão comum também são relevantes fontes de alguns minerais para a nutrição humana. Provêm elevados teores de ferro, fósforo, magnésio, manganês, e, em menor grau, de cálcio, cobre e zinco em sua

composição centesimal (Broughton *et al.*, 2003). As cultivares de feijão comum contêm teor de ferro de cerca de 7 mg 100 g<sup>-1</sup>, constituindo-se na fonte vegetal mais importante desse mineral (Ribeiro *et al.*, 2008a). Vale mencionar que o ferro é um dos componentes da hemoglobina sanguínea e que sua carência resulta em um problema nutricional denominado 'anemia'. Esse problema tem prevalência mundial e maior impacto nos países subdesenvolvidos, os quais dependem do feijão comum como fonte de ferro (Lajolo *et al.*, 1996).

O consumo de feijão comum tem ainda efeitos benéficos para o metabolismo e para o organismo. Esse alimento possui funções nutracêuticas com impactos preventivos e terapêuticos para doenças cardíacas, câncer, diabetes e obesidade (Geil & Anderson, 1994). Ademais, o feijão comum é um dos poucos alimentos com conteúdo alto e balanceado de fibras alimentares solúveis e insolúveis (Ramirez-Cárdenas *et al.*, 2008). A fibra solúvel tem a propriedade de reduzir a absorção da glicose e do colesterol plasmático, enquanto a fibra insolúvel auxilia na redução do risco de câncer de cólon e de diversas doenças do trato intestinal (Vanderhoof, 1998).

A produção mundial de feijão comum é consumida diferencialmente entre as distintas regiões mundiais. Verifica-se que, entre os continentes, a América perfaz 43,2% do consumo, seguida da Ásia (34,5%), África (18,5%), Europa (3,6%) e Oceania (0,2%) (FAO, 2006). O consumo *per capita* também varia de acordo com as diferentes populações mundiais, situando-se entre seis (Equador) e 66 kg ano<sup>-1</sup> (Quênia) (FAO, 2006). Cabe destacar que a maior parte do consumo ocorre em países subdesenvolvidos, onde alimentos de fonte animal são limitados por razões culturais e econômicas.

No Brasil, o feijão comum é um dos alimentos mais consumidos, uma vez que compõe, juntamente com o arroz, a base do cotidiano

alimentar da maioria da população. No ano de 2005, o consumo individual desse alimento era de 17 kg ano<sup>-1</sup> (IBGE, 2006), o que indica a ingestão diária de aproximadamente 50 g habitante<sup>-1</sup>. A magnitude desse consumo apresenta variação entre as regiões, onde a região Sul apresenta o menor valor (10 kg ano<sup>-1</sup>) e a Nordeste o maior valor (18 kg ano<sup>-1</sup>). Destaca-se que, nos últimos 40 anos, o consumo *per capita* de feijão comum foi reduzido devido a mudança nos hábitos alimentares da população (Wander, 2007).

### **2.1.2 O feijão comum na economia agrícola**

A produção mundial de grãos de feijão comum cresce gradualmente desde o início da década de 1980. No ano 2006, a produção mundial foi de pouco mais de 18,8 milhões de toneladas de grãos, o que ocupou uma área de aproximadamente 26,8 milhões de hectares. Entre os cinco continentes, a Ásia representa 45,5% da produção mundial, sendo seguida pela América (36,8%), África (14,0%), Europa (3,4%) e Oceania (0,2%). Cerca de 90% da produção mundial é advinda de países em desenvolvimento. Entre esses países, o Brasil representou 16,5% da produção, sendo seguido pela Índia (16,0%), China (10,8%), Myanmar (8,8%) e México (7,5%) (FAO, 2006).

No Mercado Comum do Cone Sul (Mercosul), o Brasil destaca-se como grande produtor de feijão comum. No ano 2007, o Brasil produziu 3,2 milhões de toneladas, a Argentina 328 mil toneladas, o Paraguai 54 mil toneladas e o Uruguai 3 mil toneladas (FAO, 2010). Nessa região, a produção de feijão comum em cada nação abastece principalmente o seu mercado interno, o que torna reduzido o comércio entre os países. Contudo, em 2004, o Brasil importou cerca de 100 mil toneladas de grãos de feijão comum, enquanto exportou menos de 3 mil toneladas (CONAB, 2010).

O feijão comum tem extrema importância econômica para o agronegócio no Brasil (Fuscaldi & Prado, 2005). Essa cultura destaca-se no cenário nacional por constituir 1,2% do PIB agrícola e gerar R\$ 3,8 bilhões em ICMS para o governo brasileiro (Ferreira *et al.*, 2002). Em 2008, a produção nacional de feijão comum foi de 3,3 milhões de toneladas, o que indica o quinto produto granífero mais produzido no país (IBGE, 2010). Nesse ano, a área cultivada foi de aproximadamente 4,0 milhões de hectares, o que representa que o rendimento médio dos sistemas de cultivo foi de 850 kg ha<sup>-1</sup>.

No Brasil, as regiões sul, sudeste e centro-oeste representam cerca de 70% da produção nacional de feijão comum, onde são obtidos rendimentos da ordem de 1.500 kg ha<sup>-1</sup>. As regiões norte e nordeste têm, respectivamente, produtividades da ordem de 750 e 350 kg ha<sup>-1</sup>, o que reduz consideravelmente a média nacional (IBGE, 2010). A aparente baixa eficácia dos sistemas de cultivo nessas regiões deve-se, sobretudo, ao déficit hídrico aliado ao baixo nível tecnológico adotado pelos produtores. Entre os Estados, o Paraná representa 23,5% da produção nacional da cultura, seguido por Minas Gerais (14,8%), Bahia (9,8%) e São Paulo (9,6%) (IBGE, 2010).

No Estado do Rio Grande do Sul, a área cultivada, a produção e a produtividade de grãos de feijão comum mantiveram-se estáveis ao longo dos últimos 10 anos (CONAB, 2010). Atualmente, o Estado apresenta a sexta maior produção nacional de feijão comum, o que compreende praticamente o valor de 5% da produção brasileira. Em 2008, a magnitude dessa produção equivaleu a 120 mil toneladas e a produtividade média de grãos foi de aproximadamente 1.200 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2010). Isso indica que o rendimento médio do feijoeiro comum é 40% superior nesse Estado em comparação às produtividades médias observadas com a cultura no Brasil.

O cultivo do feijão comum apresenta distribuição temporal na maioria das regiões agrícolas do país. Isto é, a produção dessa cultura pode ocorrer em três épocas diferentes: primeira safra ou “safra das águas”, segunda safra ou “safra das secas” e terceira safra ou “safra de inverno”, conforme a região (Fuscaldi & Prado, 2005). Na primeira safra, a cultura é praticada entre agosto e dezembro; na segunda safra, entre janeiro e abril; e, na terceira e última safra, entre junho e setembro. Na região Sul do Brasil, a primeira e a segunda safras supracitadas compreendem o maior percentual dos sistemas de cultivo de feijão comum (CONAB, 2010).

### **2.1.3 O feijão comum no desenvolvimento social**

O cultivo do feijão comum no Brasil é praticado especialmente por produtores de pequena e média escala, muitas vezes em áreas marginais para a agricultura (Pereira *et al.*, 2009). De fato, verifica-se que as lavouras com área cultivada inferior a 10 ha respondem por cerca de 75% da área cultivada com a cultura no território nacional. As lavouras de 10 a 100 ha somam 18%, e as de 100 a 500 ha representam somente 5% da área cultivada com feijão comum no território brasileiro (CONAB, 2010). Isso indica que essa cultura representa um importante aporte de alimento, capital e mão-de-obra para um elevado percentual de famílias de agricultores no Brasil.

### **2.1.4 Impacto de infestantes na cultura do feijão comum**

O feijão comum é, dentre as culturas anuais cultivadas no Brasil, provavelmente aquela que tem maior perda percentual com a interferência das plantas daninhas (Vidal *et al.*, 2010a). Essas espécies, ao interagirem negativamente com o feijoeiro comum, reduzem o seu rendimento de grãos,

depreciam o produto colhido e, no final do ciclo da cultura, prejudicam a colheita manual ou mecânica (Cobucci, 2008). Deste modo, a presença de infestantes na cultura do feijão comum, quando não geridas corretamente, praticamente inviabiliza atingir o seu rendimento potencial.

Muitos trabalhos já foram realizados para determinar o período crítico de prevenção de interferência (PCPI) das plantas daninhas na cultura do feijão comum no Brasil e no mundo. Verifica-se que, em média, esse período situa-se entre 20 a 40 dias após a emergência (DAE) da cultura, de acordo com as espécies da comunidade infestante. Por exemplo, quando a interferência era exercida apenas por *Brachiaria plantaginea*, o valor do PCPI correspondeu ao tempo de 15 e 30 DAE (Passini, 2002). Em trabalho similar, onde a comunidade era composta por oito espécies daninhas, o valor do PCPI ficou compreendido entre 21 e 42 DAE (Burnside *et al.*, 1998).

Alguns estudos também quantificaram os efeitos da interferência das infestantes sobre o feijoeiro comum. Os resultados desses trabalhos refletem a diversidade de espécies daninhas, de regiões agrícolas e de sistemas de cultivo dessa cultura (Vidal *et al.*, 2010a). Por exemplo, uma revisão mundial de estudos de matointerferência no feijoeiro comum mostrou que as infestantes reduzem em 20 a 80% a sua produção (Zindahl, 2004). Em outra revisão, feita no Brasil, constatou-se que as perdas dessa cultura devido à interferência de plantas daninhas podem variar entre 15% e 97% (Lunkes, 1997).

Vale salientar que, nas revisões supracitadas, as plantas daninhas com características diferentes impactaram de maneira contrastante a produção de grãos do feijoeiro comum. Ao se avaliar o efeito da interferência das espécies *Amaranthus retroflexus* e *Digitaria sanguinalis* em feijão comum, anotaram-se perdas de 10 a 32% e 9 a 39%, respectivamente, para cada

indivíduo  $m^{-2}$  (Aguyoh & Masiunas, 2003a,b). Noutro trabalho, verificou-se que cada indivíduo de *Solanum sarrachoides*  $m^{-2}$  proporcionou queda na produtividade de feijão comum de 6% (Blackshaw, 1991). Em estudo similar, com infestação monoespecífica de *Xanthium strumarium*, a perda de produção por planta infestante  $m^{-2}$  variou de 4 a 16% (Neary & Majek, 1990).

No Brasil, o desenvolvimento de estudos de matointerferência permitiu reconhecer as espécies de plantas daninhas que comumente ocorrem nos sistemas de cultivo de feijão. Com isso, pôde-se verificar que a espécie daninha *Brachiaria plantaginea* apresenta grande relevância em função da sua ampla distribuição geográfica e da elevada nocividade à cultura do feijão comum no país (Cobucci, 2008). Esta constatação sugere que a presença dessa infestante representa um entrave para a melhoria do desempenho agrônômico do feijoeiro comum no Brasil.

## **2.2 O papuã [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.]**

Neste capítulo, serão apresentadas as principais características biológicas e ecofisiológicas do papuã que favorecem a sua competição com as culturas pelos recursos do meio. Na sequência, são abordados aspectos relevantes sobre o controle químico dessa infestante com herbicidas registrados para tal uso em feijão comum no Brasil.

### **2.2.1 Biologia e ecofisiologia do papuã**

O papuã tem porte semi-ereto, com estatura de 0,1 a 1,0 m, conforme a fertilidade do solo (Boldrini *et al.*, 2005). As folhas desenvolvidas são providas de bainha estriada e o limbo é linear lanceolado, com largura e comprimento médios de 2 e 20 cm, respectivamente. A área foliar média de uma

planta adulta atinge até 25 cm<sup>2</sup> (Bianco *et al.*, 2005), dependendo também da capacidade de suporte oferecida pelo ambiente. Os primeiros afilhos são emitidos logo após a expansão das primeiras folhas verdadeiras e cada planta pode desenvolver dezenas de colmos secundários.

As inflorescências são do tipo panícula que, quando desenvolvidas, apresentam 3 a 8 espiguetas, com 3 a 9 cm cada, dispostas de forma alternada ao longo da ráquis (Boldrini *et al.*, 2005). A semente é do tipo cariopse, com cerca de 3 a 4 mm de comprimento e apresentando gluma e pálea totalmente desenvolvidos (Kissmann & Groth, 1999). A espécie é autógama, uma vez que o pólen é liberado para os estigmas antes da exerceção das estruturas reprodutivas no início do período de florescimento.

A propagação do papuã dá-se através de sementes e, eventualmente, por meio de estruturas vegetativas. As sementes são geralmente dispersas através da água (hidrocoria) nas áreas cultivadas, mas também podem ser distribuídas por animais (zoocoria), por servirem de alimento para algumas espécies de aves e de pequenos mamíferos. Em um estudo sobre o banco de sementes de uma área cultivada com culturas anuais, verificou-se que o papuã atingiu 17.850 sementes m<sup>-2</sup> (Favreto & Medeiros, 2006). As sementes dessa espécie estão geralmente posicionadas na camada do perfil do solo correspondente a profundidade de 0 a 10 cm (Voll *et al.*, 1995).

As sementes do papuã comumente apresentam dormência primária após a sua maturação fisiológica. De fato, as estruturas (gluma, pálea e lema) que revestem esses propágulos constituem uma barreira física para o crescimento do embrião (Salvador *et al.*, 2007). Além disso, esses envoltórios podem reduzir as trocas de água e oxigênio da semente com o ambiente, o que dificulta ainda mais a germinação (Dantas *et al.*, 2000). Vale destacar que as

sementes desta espécie são fotoblásticas negativas e, portanto, não requerem luz para iniciar a metabolismo germinativo (Freitas *et al.*, 1990).

No Brasil e nos países da América do Sul, o processo de germinação das sementes de papuã acontece principalmente durante os meses que compreendem a primavera e o verão. Verifica-se que as sementes germinam sob temperaturas de 20 a 30°C (Dantas *et al.*, 2000), mas é possível que haja uma temperatura basal próxima a 10°C. Isso explicaria porque, na região Sul do Brasil, observa-se a emergência do papuã no início da primavera, quando as temperaturas do ar e do solo são superiores a 20°C.

Outro fator, além da temperatura, que influencia a germinação do papuã, é o teor de água no solo. Verificou-se que as sementes dessa espécie apresentam aumento linear da absorção de água no solo durante um período de 48 horas de embebição (Voll *et al.*, 1997). No Estado do Paraná, constatou-se que os picos de emergência ocorrem nos meses com maior temperatura e disponibilidade de água no solo (Rodrigues *et al.*, 2000). Noutro estudo, feito no Estado de São Paulo, também concluiu-se que há efeito da temperatura e da umidade do solo na emergência do papuã (Nicolai *et al.*, 2010).

O papuã apresenta ciclo anual estival, com desenvolvimento vegetativo na primavera e reprodutivo no verão. Em geral, no fim do outono, as plantas cessam o ciclo e morrem (Lorenzi, 2000). O tempo médio de vida dessa espécie é de aproximadamente 140 dias, podendo se alongar em regiões com a ocorrência de invernos amenos (Deuber, 1992). Por exemplo, em áreas irrigadas da região Centro-Oeste do Brasil, plantas de papuã são observadas nas áreas agrícolas praticamente em todas as estações do ano.

As populações de papuã são frequentemente densas, podendo atingir valores superiores a 1.000 plantas m<sup>-2</sup>. A densidade dessa espécie contempla

a “lei do rendimento final constante”, ou seja, em densidades acima de determinado limiar, a produção de massa vegetal por área é independente da densidade de plantas da espécie (Passini, 2002). Mas, é possível que nas populações com elevada densidade ocorra auto-desbaste, isto é, mortalidade de indivíduos devido a sua própria densidade (Yoda *et al.*, 1963).

O papuã (tipo C<sub>4</sub>) apresenta desenvolvimento pleno sob temperaturas relativamente elevadas e possui notável taxa de assimilação de carbono, com valores em torno de 8,4 mols m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Ao ser comparado com plantas daninhas com fotossíntese do tipo C<sub>3</sub>, o papuã teve maior fixação de carbono e eficiência fotossintética (Aspiazú *et al.*, 2010). Deste modo, a espécie obtém máxima fixação de carbono e acúmulo de energia em ambientes com elevada temperatura do ar e disponibilidade de radiação solar. Nesta situação, também deve exercer máxima interferência negativa nas culturas.

As espécies do gênero *Brachiaria* sp. apresentam elevada tolerância ao déficit hídrico (Guenni *et al.* 2002) e seu ponto de murcha permanente ocorre em potenciais do solo muito negativos. De fato, plantas de papuã tiveram menor taxa de transpiração e maior eficiência do uso da água do que plantas de picão-preto (*Bidens pilosa*) e trapoeraba (*Commelina benghalensis*) sob condição de déficit hídrico (Aspiazú *et al.*, 2010). Isso indica que o papuã tem elevada capacidade de captação de água no solo e pode se tornar ainda mais competitivo com as culturas por ocasião de estiagens.

O papuã comumente habita solos ácidos e pobres, ou ainda, áreas acidentadas e pedregosas. Com efeito, verificou-se que as plantas desse gênero apresentam elevada tolerância ao excesso de alumínio no solo durante todo o seu ciclo (Wenzl *et al.*, 2001). Além disso, cada indivíduo pode acumular até 130 mg de N, 20 mg de P e 220 mg de K, desde a emergência

até o pleno florescimento (Carvalho *et al.*, 2007). Portanto, é coerente inferir que a presença do papuã nas áreas agrícolas tende a reduzir consideravelmente a disponibilidade de nutrientes às culturas.

As características biológicas e ecofisiológicas do papuã citadas neste capítulo conferem-lhe capacidade de dispersão, colonização e perpetuação nos sistemas de cultivos. Encontra-se, por exemplo, em mais da metade das áreas cultivadas com soja e milho na região do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul (Bianchi, 1996). No Estado do Paraná, tem sido considerada com uma das plantas infestantes de maior incidência nas áreas cultivadas com feijão comum (Kranz, 1993). Provavelmente, o cultivo em escala de culturas de estação estival provocou vasta disseminação de sementes dessa espécie pelos agroecossistemas brasileiros.

A interferência negativa exercida pelo papuã sobre as culturas varia de acordo com o ciclo, a densidade e o estágio de desenvolvimento das espécies daninha e cultivada. Por exemplo, na cultura da soja se observa que densidades de 70 a 780 plantas  $m^{-2}$  de papuã decrescem o rendimento de grãos de 18 a 82% (Fleck, 1996). Em feijão comum, cada planta dessa espécie  $m^{-2}$  reduz entre 0,3 e 0,4% a produtividade de grãos da cultura, em relação à situação sem infestação (Vidal *et al.*, 2010a). Noutros estudos, realizados com arroz (Cobucci *et al.*, 2001) e milho (Vidal *et al.*, 2004), também constatou-se diminuição da produção pelo impacto do papuã.

As plantas de papuã geralmente não representam problemas em áreas manejadas adequadamente, uma vez que a sua infestação pode ser reduzida através de diversas táticas de controle. Por exemplo, a espécie tem sido bem controlada em sistemas conservacionistas do solo, onde a palha reduz a emergência de plântulas (Theisen *et al.*, 2000). Também, o uso de cultivares

com maior habilidade competitiva constitui-se em alternativa viável para reduzir os seus efeitos negativos (Fleck *et al.*, 2008). Assim, pode-se diminuir a interferência do papuã com métodos culturais de manejo, os quais adquirem maior eficácia quando integrados com outros métodos.

Ao se integrarem métodos para controlar papuã, não se pode descartar o emprego do controle químico. De fato, os métodos culturais não resultam em elevado nível de controle das plantas de papuã, ou apresentam limitações de execução em áreas extensas de lavoura. Assim, dificilmente poder-se-á prescindir da utilização dos herbicidas para controlar o papuã nas lavouras de feijão comum sob elevado nível de manejo. A seguir, serão descritos os principais herbicidas registrados no Brasil e usados para controlar essa espécie de forma seletiva para a cultura do feijão comum.

### **2.2.2 Controle químico do papuã em feijão comum**

Ao longo dos anos, foram desenvolvidos diversos herbicidas com seletividade para a cultura do feijão comum, muitos dos quais são registrados para o controle do papuã. Estes produtos constituem a principal estratégia de manejo dessa infestante nas lavouras tecnificadas, em função da sua elevada economicidade e praticidade. Além disso, especula-se que boa parte dos produtores de pequena escala também os utilizem em substituição à prática da capina do feijoeiro comum.

No Brasil há, atualmente, 12 ingredientes ativos registrados para controlar papuã na cultura do feijão comum, os quais geralmente apresentam mais de um nome comercial (MAPA, 2010). Todavia, alguns desses produtos são mais comumente utilizados em relação aos demais, provavelmente devido à maior facilidade de aquisição (Tabela 1). Salienta-se que também

estão disponíveis no mercado alguns produtos contendo mistura de herbicidas com registro para o controle do papuã no feijoeiro comum.

Na Tabela 1, também estão relacionados os valores das principais características físico-químicas de alguns herbicidas utilizados para o controle do papuã no feijoeiro comum. Essas informações serão utilizadas nessa dissertação para comparar os ingredientes ativos quanto ao seu modo de ação nas plantas e dinâmica no ambiente. Na Tabela 1, são descritas as definições de cada característica nas “notas de rodapé” da tabela para facilitar a compreensão do leitor sobre o assunto em questão.

### **2.3 Modelos bioeconômicos de gestão de infestantes**

O capítulo inicia apresentando os fundamentos e as limitações do uso dos níveis de dano na área de plantas daninhas, com maior detalhamento para o nível de dano econômico (NDE). Na sequência, discute-se uma nova abordagem da aplicação dos níveis de dano em modelos bioeconômicos de gestão de plantas daninhas nas áreas agrícolas. Ao final, aborda-se a possibilidade de controle eficaz das plantas daninhas com a utilização de doses reduzidas de herbicidas aplicados em pós-emergência.

TABELA 1. Principais herbicidas registrados no Brasil para controlar papuã com ação seletiva para a cultura do feijão comum e suas características físico-químicas.

Herbicidas	Características físico-químicas das moléculas <sup>a</sup>					
	Densidade <sup>b</sup> (kg m <sup>-3</sup> )	Massa <sup>b</sup> (kg mol <sup>-1</sup> )	S <sup>c</sup> (mol L <sup>-1</sup> )	Log K <sub>ow</sub> <sup>d</sup>	K <sub>oc</sub> <sup>e</sup>	pKa <sup>f</sup>
----- Aplicação em pré-emergência da cultura -----						
Dimethenamid	1,2	0,275	4,2	2,1	2,2	---
S-metolachlor	1,1	0,283	1,7	2,9	2,3	---
Pendimethalin	1,2	0,281	<0,1	5,2	4,2	---
Trifluralin	1,4	0,335	<0,1	5,1	3,8	---
----- Aplicação em pós-emergência da cultura -----						
Clethodim	1,4	0,359	15,3	4,2	2,7	4,5
Sethoxydim	1,0	0,327	0,8	1,6	1,9	4,2
Fluazifop-p-butyl	1,2	0,383	<0,1	<1,0	4,2	3,0

<sup>a</sup>Valores médios adaptados de Ahrens *et al.* (1994) e Vidal & Merotto Jr. (2001).

<sup>b</sup>Densidade molar é a razão entre a massa molar e o volume molar de cada mol de moléculas herbicidas.

<sup>c</sup>Solubilidade (S) é a máxima quantidade de moléculas herbicidas que podem ser dissolvidas em água, em determinada temperatura.

<sup>d</sup>Coefficiente de partição octanol:água (K<sub>ow</sub>) indica a afinidade que a molécula do herbicida tem em relação as fases polar (hidrofílica) ou apolar (lipofílica).

<sup>e</sup>Coefficiente de sorção ao carbono orgânico do solo (K<sub>oc</sub>) representa a relação entre a concentração do herbicida sorvido à fração orgânica do solo e a concentração do herbicida encontrada na solução de equilíbrio, para determinada quantidade do herbicida adicionado.

<sup>f</sup>Potencial de dissociação ácido:base (pKa) indica o valor do pH da solução do solo em que determinado herbicida apresenta aproximadamente 50% das suas moléculas na forma dissociada (carregada) e 50% na forma não dissociada (neutra).

### 2.3.1 Nível de dano econômico de infestantes

Nível de dano pode ser definido como qualquer limite a partir do qual se gera uma resposta. Na agricultura, esse termo tem sido utilizado sob distintas perspectivas, em especial para designar a densidade de um agente nocivo que causa dano a uma cultura. Muitos limiares de dano foram introduzidos para auxiliar na decisão do manejo de pragas, dentre os quais se destaca o nível de dano econômico (NDE) (Kogan, 1998). Vale destacar que esse conceito foi inicialmente desenvolvido para o manejo de insetos, sendo anos após aplicado para o manejo de outras pragas agrícolas.

A partir da década de 1970, o desenvolvimento de herbicidas de aplicação em pós-emergência possibilitou a adaptação do NDE para a área de plantas daninhas (Cousens, 1985; 1987). Desde então, fomentou-se a sua aplicação nos programas de manejo integrado dessas espécies, sobretudo para as culturas de arroz, milho, trigo e soja. Neste caso, as infestantes são monitoradas durante o ciclo da cultura e medidas de controle são usadas somente quando necessário (Fleck *et al.*, 2002b). Assim, esse critério técnico constitui uma relação de custo:benefício que permite avaliar a economicidade da tomada de decisão do controle das infestantes.

Sob o ponto de vista do NDE, uma espécie de planta daninha qualquer, ao interferir na produção de uma cultura, provoca nessa um dano, que pode ser definido como redução do seu rendimento. Esse dano, após ser quantificado, pode ser representado monetariamente como perda de receita bruta da cultura, recebendo a denominação de dano econômico (DE). O DE pode ser calculado com base no conhecimento de alguns parâmetros agrônômicos e econômicos, conforme apresentado na Equação 1:

$$DE = [(NCD)*(D)*(Q)*(P)] \quad (\text{Equação 1})$$

onde, 'DE' é o dano econômico (R\$ ha<sup>-1</sup>), 'NCD' é a função dano da infestante, ou o seu nível crítico de dano (perda planta<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>), 'D' é a densidade de plantas da infestante (plantas m<sup>-2</sup>), 'Q' é o rendimento de grãos potencial da cultura na ausência de infestantes (kg ha<sup>-1</sup>) e 'P' é o valor monetário obtido com a comercialização do produto colhido (R\$ ha<sup>-1</sup>).

A atividade agrícola, como qualquer empreendimento, deve remunerar o agricultor pelo seu investimento. Portanto, a aplicação de uma medida de controle de plantas daninhas envolve custos, que devem ser minimizados e, uma receita bruta, que deve ser maximizada. O lucro bruto de determinada medida de controle dessas plantas pode ser quantificado, tal como aumento da receita bruta da cultura, conforme descrito na Equação 2:

$$L = [(NCD)*(D)*(Q)*(P)] - (C) \quad (\text{Equação 2})$$

onde, 'L' é o lucro bruto (R\$ ha<sup>-1</sup>) e 'C' é o custo total de controle das plantas daninhas, incluindo-se a aplicação desta medida de controle.

O lucro bruto da cultura é maximizado quando as curvas da receita bruta da produção e do custo da medida utilizada para controlar as infestantes afastarem-se o máximo. Nesse ponto, a derivada do lucro bruto em função de determinada medida de controle (x) corresponde à zero, por representar exatamente o valor em que ocorre a inflexão da curva, conforme o cálculo apresentado na Equação 3:

$$[dL/d(x)] = P[dQ/d(x)] - [dC/d(x)] = 0 \quad (\text{Equação 3})$$

Nesse ponto, obtém-se o NDE, ou seja, a densidade de infestantes que proporciona o máximo retorno econômico para a cultura em função da aplicação da medida de controle. Na prática, esse limiar de prejuízo informa quando o impacto causado pela densidade de plantas daninhas apresenta valor igual ao custo do seu controle. Portanto, o NDE constitui-se em um critério econômico para auxiliar na decisão da tomada do controle de plantas daninhas, conforme descrito na Equação 4:

$$\text{NDE} = (C) / [(NCD) \cdot (D) \cdot (Q) \cdot (P)] \quad (\text{Equação 4})$$

Ao longo das últimas duas décadas têm-se ampliado na literatura os estudos de determinação de NDE para plantas daninhas nas principais culturas agrícolas (Portugal & Vidal, 2009). De fato, verifica-se na base de dados da plataforma de periódicos *Web of Science* que mais de uma centena de artigos abordam tal assunto (ISI, 2010). A análise de alguns desses estudos permite considerar alguns aspectos sobre o NDE de plantas daninhas avaliados para as principais culturas agrícolas (Tabelas 2 e 3).

Os estudos sobre NDE têm sido realizados na maioria dos casos para culturas de lavoura de estação estival, sobretudo para as culturas de arroz, girassol, milho e soja (Tabela 2). Em geral, o NDE encontra-se entre quatro a seis plantas  $\text{m}^{-2}$  para o girassol, menos de cinco plantas  $\text{m}^{-2}$  para milho e menos de uma planta  $\text{m}^{-2}$  para arroz e soja. Valores similares foram obtidos para as culturas de algodão, ervilha e feijão, onde os NDE foram inferiores a dez plantas  $\text{m}^{-2}$  na maior parte das situações.

TABELA 2. Nível crítico de dano (NCD) e nível de dano econômico (NDE) de plantas daninhas para culturas de lavoura de estação estival.

Cultura	Espécie daninha	NCD <sup>a</sup>	NDE <sup>b</sup>	Referência <sup>c</sup>	Ano
Algodão	<i>Zea mays</i>	5,0 a 9,0	0,02 a 0,08	Thomas <i>et al.</i>	2007
Algodão	<i>Zea mays</i>	4,0 a 8,0	0,02 a 0,07	Clewis <i>et al.</i>	2008
Arroz	<i>Echinochloa</i> spp.	0,3 a 24,6	0,1 a 13,4	Lindquist <i>et al.</i>	1996
Arroz	<i>Sagitaria montevidensis</i>	0,0 a 0,4	0,0 a 200,0	Gibson <i>et al.</i>	2001
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	0,3 a 12,7	0,3 a 38,0	Agostinetto <i>et al.</i>	2005
Arroz	<i>Echinochloa</i> spp.	4,7 a 29,3	0,6 a 3,1	Galon <i>et al.</i>	2007b
Beterraba	<i>Echinochloa-crus-galli</i>	1,9 a 12,7	0,05 a 0,2	Norris, R. F.	1992
Ervilha	<i>Avena sativa</i>	0,3 a 7,2	0,7 a 14,9	Lutman <i>et al.</i>	1994
Ervilha	<i>Cevada silvestre</i>	1,7 a 5,4	2,0 a 6,0	O'donovan & Blackshaw	1997
Feijão	<i>Avena sativa</i>	0,3 a 7,2	3,9 a 12,7	Lutman <i>et al.</i>	1994
Feijão	<i>Digitaria sanguinalis</i>	9,3 a 38,7	0,0 a 1,0	Aguyoh & Masiunas	2003a
Girassol	<i>Ammi majus</i>	1,1 a 1,8	4,0 a 6,0	Onofri & Tei	1994
Girassol	<i>Chenopodium album</i>	1,1 a 1,8	4,0 a 6,0	Onofri & Tei	1994
Girassol	<i>Sinapis arvensis</i>	1,1 a 1,8	4,0 a 6,1	Onofri & Tei	1994
Girassol	<i>Ridolfia segetum</i>	0,0 a 0,1	1,0 a 2,5	Carranza <i>et al.</i>	1995
Girassol	<i>Orobanche cernua</i>	0,2 a 0,4	1,5 a 3,5	Garcia-Torres <i>et al.</i>	1996
Milho	<i>Abutilon theophrasti</i>	3,7	0,3 a 1,7	Sattin <i>et al.</i>	1992
Milho	<i>Amaranthus retroflexus</i>	3,0 a 16,5	0,6 a 5,3	Knezevic <i>et al.</i>	1994
Milho	<i>Abutilon theophrasti</i>	1,8 a 60,3	0,1 a 14,0	Cardina <i>et al.</i>	1995
Milho	<i>Echinochloa crus galli</i>	0,3	6,4	Bosnic & Swanton	1997a
Milho	<i>Setaria</i> spp.	0,1 a 2,5	3,1 a 94,1	Lindquist <i>et al.</i>	1999
Milho	<i>Setaria viridis</i>	0,5 a 10,0	6,0 a 167,0	Cathcart & Swanton	2003
Milho	<i>Chenopodium album</i>	0,7 a 10,5	0,3 a 4,2	Fischer <i>et al.</i>	2004
Milho	<i>Abutilon theophrasti</i>	3,4	1,0 a 8,5	Werner <i>et al.</i>	2004
Milho	<i>Brachiaria plantaginea</i>	0,0 a 0,03	0,2 a 2,0	Vidal <i>et al.</i>	2004
Soja	<i>Abutilon theophrasti</i>	2,1 a 4,2	0,2 a 0,4	Bauer <i>et al.</i>	1991
Soja	<i>Amaranthus</i> sp.	6,5	0,2	Bauer <i>et al.</i>	1991
Soja	<i>Ambrosia trifida</i>	5,2 a 7,3	0,3	Baysinger & Sims	1991
Soja	<i>Helianthus annuus</i>	1,4	0,6	Bauer <i>et al.</i>	1991
Soja	<i>Abutilon theophrasti</i>	0,03	0,3	Bauer & Mortensen	1992
Soja	<i>Helianthus annuus</i>	0,05	0,2	Bauer & Mortensen	1992
Soja	<i>Sida rhombifolia</i>	0,2 a 2,2	2,0 a 50,0	Fleck <i>et al.</i>	2002b
Soja	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	9,9 a 28,6	0,0 a 0,1	Cowbrough <i>et al.</i>	2003
Soja	<i>Bidens</i> spp.	0,4 a 13,5	0,4 a 33,0	Rizzardi <i>et al.</i>	2003

<sup>a</sup>Perda (%) por planta daninha<sup>-1</sup> por m<sup>-2</sup>.

<sup>b</sup>Densidade populacional de plantas daninhas por m<sup>-2</sup>.

<sup>c</sup>Referências obtidas na base de dados da plataforma *Web of Science* com os periódicos *Planta Daninha*, *Weed Research*, *Weed Science* e *Weed Technology*, selecionando-se os principais estudos publicados no período entre 1990 e 2010.

TABELA 3. Nível crítico de dano (NCD) e nível de dano econômico (NDE) de plantas daninhas para culturas de lavoura de estação hibernal.

Cultura	Espécie daninha	NCD <sup>a</sup>	NDE <sup>b</sup>	Referência <sup>c</sup>	Ano
Canola	<i>Avena sativa</i>	0,0 a 2,3	2,3 a 72,5	Lutman <i>et al.</i>	1994
Cevada	<i>Avena sativa</i>	0,0 a 2,3	10,9 a 18,4	Lutman <i>et al.</i>	1994
Trigo	<i>Alopecurus myosuroides</i>	- <sup>d</sup>	25,0 a 35,0	Zanin <i>et al.</i>	1993
Trigo	<i>Avena sterilis</i>	-	7,0 a 12,0	Zanin <i>et al.</i>	1993
Trigo	<i>Bromus sterilis</i>	-	0,0 a 2,0	Zanin <i>et al.</i>	1993
Trigo	<i>Lolium multiflorum</i>	-	25,0 a 35,0	Zanin <i>et al.</i>	1993
Trigo	<i>Vicia sativa</i>	-	5,0 a 10,0	Zanin <i>et al.</i>	1993
Trigo	<i>Secale cereale</i>	0,4 a 19,9	0,9 a 11,8	Pester <i>et al.</i>	2000

<sup>a</sup>Perda (%) por planta daninha<sup>-1</sup> por m<sup>2</sup>.

<sup>b</sup>Densidade populacional de plantas daninhas por m<sup>2</sup>.

<sup>c</sup>Referências obtidas na base de dados da plataforma *Web of Science* com os periódicos *Planta Daninha*, *Weed Research*, *Weed Science* e *Weed Technology*, selecionando-se os principais estudos publicados no período entre 1990 e 2010.

Os NDE obtidos para culturas de estação hibernal, cevada e trigo, indicam que as mesmas apresentam elevada habilidade competitiva com as plantas daninhas (Tabela 3). De fato, os NDE obtidos nessas culturas geralmente apresentam valores com magnitude superior àqueles citados para os cereais de estação estival. Nestes casos, os NDE médios encontram-se entre 10 a 30 plantas<sup>-2</sup> para ambas as culturas, o que sugere maior potencial de uso desse critério nas mesmas. Todavia, essas culturas não são imunes à matointerferência e algumas espécies lhes são muito prejudiciais, como por exemplo *Bromus sterilis* em trigo (Tabela 3).

### 2.3.2 Principais limitações do nível de dano econômico

Muitas ações de extensão, iniciadas a partir da década de 1980, fomentaram a introdução do NDE em programas de manejo integrado das plantas daninhas (Buhler, 2002). Contudo, os agricultores e extensionistas têm sido pouco propensos a utilizá-lo como critério para auxiliar sobre o manejo das infestantes (Wilson *et al.*, 2009). Especula-se que isso ocorra por

diversos motivos de ordem agronômica, conceitual e (ou) econômica, os quais serão descritos a seguir em detalhes nesse capítulo.

**(i) Relações entre organismos.** Os níveis de dano foram inicialmente desenvolvidos para o manejo de insetos praga, para controlar a interferência de uma espécie de inseto sobre uma cultura. Neste caso, há interferência de um organismo consumidor sobre um produtor, ou seja, existe relação de causa e efeito entre a praga e o dano à cultura. Todavia, como as plantas daninhas também são organismos produtores, não há relação direta entre a densidade dessas plantas e o rendimento da cultura. Além disso, podem ocorrer interações com outros organismos (insetos, patógenos, etc), o que dificulta ainda mais a estimativa do dano causado pelas infestantes.

Tal aspecto conceitual supracitado constitui-se como o principal limitador da aplicação do NDE para o manejo de plantas daninhas nas áreas agrícolas (Vidal *et al.*, 2010a). Com efeito, os modelos de previsão do impacto dessas pragas sobre as culturas são semi-empíricos e, em geral, têm parâmetros com baixo significado biológico. Portanto, a baixa habilidade dos modelos em prever o efeito negativo das infestantes compromete a utilização dos níveis de dano na área de plantas daninhas.

**(ii) Populações poliespecíficas.** Os níveis de dano apresentam caráter exclusivamente mono específico, isto é, foram criados para auxiliar no manejo de uma espécie daninha em uma cultura. Deste modo, a aplicação desses critérios técnicos, tal como o NDE, somente teria validade para apoiar o controle de uma espécie daninha (Norris, 1999). Porém, nas condições reais do agroecossistema, as infestações das lavouras são constituídas por diversas espécies de plantas daninhas (Vidal *et al.*, 2010b). Assim, os estudos

monoespecíficos não refletem as situações usuais das áreas agrícolas, onde ocorrem interações das infestantes entre si e dessas com a cultura.

Existe, também, a possibilidade de se utilizarem modelos de previsão para quantificar o impacto de populações poliespecíficas de plantas daninhas sobre as culturas (Portugal & Vidal, 2009). Neste caso, pode-se estimar a interferência interespecífica das diversas infestantes entre si e dessas com as plantas cultivadas (Swanton & Weise, 1991). Todavia, esses métodos também são semi-empíricos e apresentam as mesmas limitações de previsibilidade descritas para os modelos monoespecíficos.

**(iii) Estabilidade das variáveis biológicas.** O valor das duas variáveis biológicas (NCD e Q) usadas no cálculo do NDE não apresenta estabilidade entre os anos e locais da mesma região. De fato, uma das dificuldades em se utilizarem níveis de dano é que o produtor não sabe qual será a produção na ausência dessas espécies (Fleck *et al.*, 2002b). Na prática, o valor dessa variável é apenas estimado, tendo como base o histórico de produtividade da lavoura ou a meta de produção para a qual ela é manejada.

O valor do NCD, utilizado para determinar o NDE da espécie daninha, também apresenta variação no tempo e no espaço e limita a utilização dos níveis de dano na área de plantas daninhas. Muitos estudos, tais como em Lindquist *et al.* (1996), Pester *et al.* (2000) e Vidal *et al.* (2010a), entre outros, demonstraram que o valor obtido para essa variável biológica apresenta variação acentuada nas condições do agroecossistema. Isso corrobora a hipótese da primeira limitação descrita neste capítulo, a qual afirma que não há relação direta entre a densidade de infestantes e o dano à cultura.

**(iv) Estabilidade das variáveis econômicas.** O valor das variáveis econômicas (C e P) usadas no cálculo do NDE também não apresenta

estabilidade entre estações de crescimento. Isso ocorre porque a maioria das matérias-primas industriais e as *commodities* agrícolas apresentam elevada volatilidade no mercado com o decorrer do tempo. Assim, no início da safra, essas variáveis podem apresentar nível de preço diferente daquele revelado na época da colheita, o que levaria à tomada de decisão do controle das plantas daninhas com uma previsão de lucro bruto incorreta.

**(v) Irrelevância do limiar de dano como critério.** As plantas daninhas são organismos vegetais que apresentam infestação elevada e crônica no agroecossistema (Vidal *et al.*, 2010c). Assim, poucos dias após a emergência da cultura, a lavoura apresenta densidade de infestação muito superior ao valor estimado de NDE, o que torna esse critério técnico irrelevante no apoio ao controle dessas espécies. Isso constitui a maior justificativa dos produtores para desuso do NDE, devido o seu conhecimento empírico da elevada infestação das lavouras com as infestantes.

**(vi) Implicações ecológicas a longo e médio prazos.** As infestações com densidade abaixo do NDE não serão controladas e, como consequência, seus indivíduos poderão contribuir para o aumento do banco de sementes do solo da área cultivada. Deste modo, é possível que, nas safras subsequentes, o problema com plantas daninhas nestas áreas seja ainda maior e cause prejuízo econômico ao produtor. Essa situação pode, inclusive, afetar as relações de arrendamento das propriedades agrícolas em função da utilização ou não do NDE para o manejo de infestantes. De fato, alguns contratos de arrendamento expressam cláusulas que prevêm multas aos locatários em decorrência da infestação da área com plantas daninhas.

### **2.3.3 Aplicação de níveis de dano em modelos bioeconômicos**

Nos tópicos anteriores, buscou-se avaliar a aplicabilidade e as possíveis limitações da aplicação do NDE para auxiliar a decisão do manejo de plantas daninhas nas áreas agrícolas. Pode-se constatar que, pelo menos, seis diferentes motivos têm limitado a utilização desse critério econômico para tal uso no agroecossistema (Item 2.3.2). Essas limitações constituem-se em um forte entrave para a aplicação do NDE nos modelos bioeconômicos de gestão de espécies daninhas nas principais culturas.

Há, assim, a necessidade de uma mudança com relação aos critérios de tomada de decisão do manejo de infestantes. Os modelos de gestão dessas espécies apresentam grande importância para diversas culturas e não podem ser comprometidos pela reduzida utilização do NDE. Deste modo, os cientistas da área de plantas daninhas devem criar alternativas viáveis para subsidiar de forma criteriosa a tomada da decisão do controle das infestantes, em especial nos sistemas de cultivo de alto valor econômico.

Uma alternativa para favorecer a utilização de modelos de gestão é a utilização do NCD para estimar o retorno econômico das opções de controle das plantas daninhas (Vidal *et al.*, 2010a). Neste caso, parte-se da premissa de que inevitavelmente haverá a decisão do controle, o qual ocorrerá com base no lucro oportunizado pela medida de controle. Deste modo, um modelo assim desenvolvido poderia prever o impacto das infestantes e indicar as medidas de controle que oportunizam o melhor retorno econômico.

### **2.3.4 Redução da dose de herbicidas**

O uso do método químico para o controle de plantas daninhas iniciou-se no início da década de 1950, quando compostos com ação herbicida passaram

a ser sintetizados (Timmons, 2005). A partir de então, novas moléculas foram desenvolvidas nas décadas subsequentes, disponibilizando produtos seletivos para muitas culturas (Appleby, 2005). Gradativamente, os métodos cultural e físico foram substituídos pelo químico e o controle das infestantes baseou-se na aplicação contínua e frequente de herbicidas.

Com o passar do tempo, alguns efeitos colaterais originaram-se do predomínio do método químico, como o aumento dos custos de controle e o acúmulo de resíduos no ambiente. Nos Estados Unidos, por exemplo, os herbicidas representam entre 20 a 30% dos custos totais de produção das principais culturas agrícolas (Derksen *et al.*, 2002). Noutro levantamento, feito na região Sul do Brasil, verificou-se que o controle químico de infestantes na cultura do feijão comum corresponde entre 5 e 10% dos custos totais nas áreas agrícolas sob elevado nível de manejo (CONAB, 2010).

Para mitigar estes problemas, foram introduzidas novas propostas para o uso de herbicidas na agricultura. Dentre as estratégias que visam reduzir os custos de produção e a contaminação do ambiente, inclui-se o uso de doses reduzidas de herbicidas (Fleck *et al.*, 2008). Muitas vezes, as doses dos herbicidas podem ser consideravelmente reduzidas e, ainda assim, propiciar controle eficaz das infestantes (Rizzardi *et al.*, 2004). Nesses casos, devem-se considerar os efeitos das práticas de controle e das condições do ambiente sobre a atividade e a persistência das subdoses dos herbicidas.

Muitos estudos têm avaliado a possibilidade de redução da dose recomendada de alguns herbicidas, tendo como base duas justificativas para efetuar tal prática. Na primeira, considera-se que as doses recomendadas estão fixadas, na maioria das vezes, em níveis muito altos para garantir o controle de plantas daninhas sob amplas condições de ambiente e

manejo das culturas (Zhang *et al.*, 2000). Na segunda, pressupõem-se que o uso conjugado dos métodos cultural e químico aumenta a eficácia do controle com doses reduzidas de herbicidas (Fleck *et al.*, 2008).

Níveis aceitáveis de controle de plantas daninhas são possíveis com a utilização de doses de herbicidas abaixo daquelas recomendadas nos rótulos dos produtos (Hamill *et al.*, 2004). A revisão de mais de 70 trabalhos sobre esse tema, realizados na América do Norte, Europa e Oceania, evidencia controle de, no mínimo, 70% em mais de 50% dos casos avaliados, com subdoses de herbicidas (Zhang *et al.*, 2000). No Brasil, também se comprovou ser viável reduzir doses de herbicidas para o controle eficaz da espécie *Brachiaria plantaginea* em soja (Fleck *et al.*, 2008).

Outros estudos, porém, mostram que a eficácia de doses reduzidas de herbicidas pode variar entre anos e locais e que os benefícios advindos desta prática podem não ser expressivos. Por exemplo, verificou-se que o controle de *Abutilon theophrasti* com subdoses de alachlor e atrazine diferiu entre práticas de manejo de milho (Roggenkamp *et al.*, 2000). Ademais, doses reduzidas proporcionam escapes de plantas daninhas, o que pode levar à seleção de biótipos dessas plantas resistentes aos herbicidas e, por sua vez, aumentar o banco de sementes da área (Busi & Powles, 2009).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Será apresentada, inicialmente, a caracterização dos locais onde foram realizados os experimentos e a descrição do clima e do solo da área onde foram realizados os estudos a campo. Depois, serão descritas as principais características morfológicas e ecofisiológicas das cultivares reagentes de feijão comum utilizadas nos experimentos. Por fim, serão apresentados os procedimentos específicos realizados nos experimentos, com o detalhamento de cada linha de estudo (LE) em um tópico adicional.

#### **3.1 Localização, clima e solo**

Inicialmente, três experimentos foram conduzidos a campo no ano agrícola 2008(09), na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS. As coordenadas do local são 30°05'22"S de latitude e 51°39'08"W de longitude. Após, no ano agrícola 2009(10), realizou-se um ensaio na casa de vegetação pertencente ao Laboratório da Flora Ruderal (LAFLOR/UFRGS), localizada na área da da Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre, RS. Ambos os municípios supracitados situam-se na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul.

O clima na Depressão Central é classificado como subtropical úmido, predominante na região Sul do Brasil. A precipitação pluvial anual média é de

cerca de 1.400 mm ano<sup>-1</sup> e a temperatura média é de 14 e 25°C, nos meses mais frios e mais quentes, respectivamente. Os elementos meteorológicos observados na EEA/UFRGS foram periodicamente coletados durante a estação de crescimento 2008(09) com auxílio da base física situada a aproximadamente 2.500 m da área experimental.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Streck *et al.*, 2002) e apresenta textura dos tipos argilo arenosa ou franco arenosa. Essa área vem sendo manejada em sistema convencional de preparo do solo (gradagens) por mais de 20 anos, com o cultivo em rotação de milho e soja na estação estival e cobertura com azevém durante a estação hiberna. Quinze subamostras de solo foram coletadas em pontos aleatórios na área, na camada de 0-10 cm, para análise laboratorial das características do mesmo.

### **3.2 Características das cultivares de feijão comum**

Os experimentos foram conduzidos com as cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' (Tabela 4). Ambos os genótipos são recomendados para o cultivo no Estado do Rio Grande do Sul e tem ampla adaptação e elevado rendimento potencial de grãos. A escolha dessas cultivares considerou principalmente o ciclo de desenvolvimento da cultura e as características das plantas de feijão comum. Almejou-se, com isso, colher ambos os feijoeiros comuns na mesma época e, ao mesmo tempo, gerar distinção na competitividade desses com as infestantes.

TABELA 4. Características das plantas das cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UFT-06'.

Características	Cultivares de feijão comum	
	IPR Graúna <sup>a</sup>	UFT-06 <sup>b</sup>
Grupo	Preto	Carioca
Porte	Ereto	Semi-ereto
Hábito	Determinado	Determinado
Flor <sup>c</sup> (dias)	38	32
Ciclo (dias)	84	80

<sup>a</sup>Adaptado de Instituto Agronômico do Paraná (2008).

<sup>b</sup>Adaptado de Universidade Federal Tecnológica do Paraná (2008).

<sup>c</sup>Dias para o início da emissão de flores ou para o início do florescimento.

### 3.3 Experimento em casa de vegetação

Neste experimento utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com tratamentos dispostos em arranjo bifatorial, com quatro repetições por tratamento. O fator 'herbicida' consistiu de cinco herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura e o fator 'dose' consistiu de quatro doses distintas por herbicida. Ademais, a cada bloco acrescentou-se uma unidade experimental sem tratamento, que foi utilizada como padrão para comparar o efeito dos tratamentos. Cada bloco do experimento apresentou, portanto, 21 unidades experimentais.

As doses de dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin equivaleram a 100, 150, 200 e 300% da máxima registradas para aplicação em pré-emergência da cultura do feijão comum. Para o herbicida alachlor, que não apresenta registro para o feijão comum no Brasil, utilizaram-se doses que corresponderam a 20, 30, 40 e 60% da máxima registrada para aplicação em pré-emergência da cultura da soja (Tabela 5). Nesse caso, foram mantidas proporções entre as doses selecionadas similares às utilizadas para os demais herbicidas empregados nesta LE.

TABELA 5. Tratamentos herbicidas aplicados no experimento em casa de vegetação. LAFLOR/UFRGS, Porto Alegre (RS), 2009(10).

Herbicidas	Percentual da dose máxima registrada (%)			
	100	150	200	300
	----- g i.a. ha <sup>-1</sup> -----			
Alachlor <sup>a</sup>	720	1.060	1.450	2.150
Dimethenamid	1.350	2.000	2.700	4.050
S-metolachlor	1.380	2.000	2.750	4.100
Pendimethalin	1.200	1.800	2.400	3.600
Trifluralin	1.200	1.800	2.400	3.600

<sup>a</sup>Valores das doses correspondem a 20, 30, 40 e 60% daquela máxima registrada para aplicação em pré-emergência na cultura da soja, respectivamente.

As unidades experimentais constaram de recipientes com capacidade volumétrica para 500 ml, preenchidos com solo coletado na área destinada aos ensaios em campo na EEA/UFRGS. A retirada do solo ocorreu na camada entre as profundidades de 0 a 10 cm do perfil, em um local não contaminado por herbicidas de aplicação em pré-emergência. O resultado da análise mostrou que o solo tinha 280 g kg<sup>-1</sup> de argilas, 15 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica, fósforo livre superior a 100 mg L<sup>-1</sup>, potássio trocável superior a 400 mg L<sup>-1</sup>, CTC efetiva igual a 15 cm<sub>c</sub> l<sup>-1</sup> e pH (em água) igual a 6,0.

O genótipo de feijão comum utilizado como reagente dos tratamentos herbicidas foi 'IPR Graúna' (Tabela 4). Colocaram-se oito sementes com biometria similar em cada recipiente, as quais foram distribuídas de forma equidistante e na profundidade de dois cm. Aos cinco dias após a emergência (DAE), realizou-se a retirada do excesso de plantas por recipiente, mantendo-se quatro plantas por unidade experimental. Durante o experimento, a temperatura do ar foi mantida entre 22 e 28°C por meio de um sistema de janelas zenitais instaladas nas laterais da casa de vegetação.

Os tratamentos foram aspergidos imediatamente após a semeadura da cultura do feijão comum, utilizando-se um pulverizador costal com CO<sub>2</sub>,

com um volume de calda de 180 l ha<sup>-1</sup>. A aplicação dos tratamentos foi feita em período com temperatura amena (24°C), elevada umidade do ar (84%) e umidade do solo na capacidade de campo. Logo após as aplicações, procedeu-se a irrigação das unidades experimentais com a simulação de uma precipitação pluvial de aproximadamente 20 mm, com o intuito de solubilizar as moléculas dos herbicidas na solução do solo.

### **3.3.1 Seletividade de herbicidas residuais (LE1)**

Inicialmente, os efeitos dos tratamentos herbicidas sobre a cultura foram determinados com a avaliação da emergência das plântulas de feijão comum aos cinco DAE, através da contagem visual do número de indivíduos emergidos em cada recipiente. Em seguida, avaliou-se também a fitointoxicação das plantas aos 20 DAE, valendo-se do método visual com escala percentual de injúrias (Camper, 1986). Por fim, realizou-se a coleta dessas plantas e determinou-se, após desidratação do material, a massa desidratada da parte aérea (MDPA) e das raízes (MDR).

Os dados coletados nas distintas avaliações foram analisados quanto à normalidade e homocedasticidade, sendo que, para a variável fitointoxicação, foram transformados por  $\text{raiz}(x+1)$ . Procedeu-se a análise de variância dos dados através do teste F, usando-se 5% de probabilidade do erro experimental como limite de significância, tanto para efeitos individuais dos fatores quanto para efeitos de interação dos mesmos. As análises foram realizadas com auxílio do programa SAS Versão 8.0, utilizando-se da função “proc glm”, que utiliza o método dos quadrados mínimos (SAS, 2000).

As médias dos tratamentos foram comparadas com base no valor da diferença mínima significativa (DMS), calculado pelo teste t de Student,

usando-se o nível de 5% de significância. Ademais, complementou-se também a análise de variância por meio da análise de regressão, ajustando-se funções de resposta das variáveis às doses dos herbicidas. As análises de regressão foram feitas com auxílio do programa SAS Versão 8.0, que avalia o nível de significância da equação pela função “proc reg” (SAS, 2000). Os dados da variável emergência de plantas de feijão comum foram ajustados ao modelo linear simples, de acordo com a Equação 5:

$$Y = [a + (b * X)] \quad \text{(Equação 5)}$$

onde, ‘Y’ e ‘X’ são, respectivamente, as variáveis dependente e independente da equação de regressão; ‘a’ é o parâmetro representa o intercepto da curva no eixo das abscissas (eixo Y) ; e, ‘b’ é o parâmetro que representa a o coeficiente angular ou declividade da curva.

Os dados das demais variáveis foram ajustados ao modelo de regressão não linear do tipo log logístico. Inicialmente, procedeu-se ao ajuste dos dados ao modelo log-logístico com quatro parâmetros, mas, a assíntota de mínima desta regressão não teve significância. Para mitigar esse problema, adotou-se então o modelo log-logístico com três parâmetros para ajustar os dados obtidos, conforme descrito na Equação 6:

$$Y = [a / (1 + ((X - C_{50})^b))] \quad \text{(Equação 6)}$$

onde, ‘Y’ e ‘X’ são, respectivamente, as variáveis dependente e independente da equação de regressão; ‘a’ é o parâmetro que representa a magnitude da assíntota de máximo valor da curva; ‘b’ é o parâmetro que indica o valor da tangente paralela ao ponto de inflexão; e, ‘C<sub>50</sub>’ é o parâmetro que representa a

dose herbicida necessária para reduzir a magnitude da variável dependente ao nível de 50% do valor da assíntota de máxima.

### **3.4 Experimentos a campo com herbicidas residuais**

Este tópico inicia apresentando os procedimentos comuns aos dois experimentos conduzidos a campo com herbicidas de aplicação em pré-emergência da cultura do feijão comum. Em seguida, serão descritas as características das LE (LE2, LE3 e LE4) que foram desenvolvidas com base nas informações obtidas com esses experimentos. Vale destacar que os referidos experimentos foram instalados “lado a lado” na área experimental e conduzidos conjuntamente desde a semeadura até a colheita.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com tratamentos dispostos em arranjo bifatorial, com três repetições para cada tratamento. O fator ‘herbicida’ consistiu de três herbicidas aplicados em pré-emergência do feijoeiro comum e o fator ‘dose’ consistiu de duas doses de cada herbicida. A área esteve permanentemente infestada por papuã (*Brachiaria plantaginea*). Para estabelecer padrões de comparação, adicionou-se a cada bloco uma testemunha com infestação (TCI) e outra sem infestação (TSI) dessa planta. Cada bloco apresentou, deste modo, 10 unidades experimentais.

As unidades experimentais corresponderam a parcelas com 10,0 x 2,0m, nas quais foram aplicados, de forma aleatória, os tratamentos herbicidas. As doses de dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin equivaleram a 100 e 120% daquelas máximas registradas para aplicação em pré-emergência no feijoeiro comum (Tabela 6). Esses herbicidas, assim como as suas doses testadas, foram selecionados em um estudo preliminar realizado

em ambiente protegido, onde não se verificou atividade herbicida nas plantas de feijão comum com o uso destes tratamentos (LE1).

TABELA 6. Tratamentos herbicidas aplicados nos experimentos a campo com herbicidas residuais. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Herbicidas	Percentual da dose máxima registrada (%)	
	100	120
	----- g i.a. ha <sup>-1</sup> -----	
Dimethenamid	1.350 <sup>a</sup>	1.650
S-metolachlor	1.380	1.650
Pendimethalin	1.200	1.450
Trifluralin	1.200	1.450

Os tratamentos foram aplicados logo após a semeadura da cultura, conforme o método descrito no item 3.3. Durante a aplicação dos tratamentos, a temperatura do ar era amena (16-18°C) e a umidade relativa do ar apresentava magnitude bem elevada (78-81%). A umidade volumétrica do solo no referido momento era de cerca de 20%, com pequenas diferenças entre as amostras coletadas na área experimental.

Os experimentos foram semeados após o preparo mecânico do solo, no início de setembro de 2008. Em um dos experimentos foi utilizada a cultivar reagente 'IPR Graúna', enquanto que, no outro experimento, empregou-se a cultivar 'UTF-06' (Tabela 4). Na operação de semeadura, foram colocadas 8 sementes m<sup>-1</sup> na fileira, com linhas espaçadas em 0,40 m, perfazendo-se uma população de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As plântulas emergiram entre o sexto e oitavo dias após a semeadura (DAS) da cultura.

A adubação do solo foi realizada na semeadura da cultura, por meio da distribuição em linha de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 05.20.30, o que propiciou o aporte de 20 Kg N, 80 Kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 120 Kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Em adição, aplicou-se em

cobertura mais 60 Kg N e 15 Kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> aos 22 e 48 DAE do feijão comum, o que equivaleu aos estádios V<sub>3</sub> e V<sub>6</sub> da cultura (Apêndice 3). Vale destacar que, em nenhum momento durante o ciclo do feijão comum foram observados sintomas visuais de deficiência por micronutrientes nas plantas.

O controle de insetos e doenças ocorreu de forma preventiva durante todo o ciclo da cultura. Inicialmente, as sementes foram tratadas com a mistura dos fungicidas carboxin e thiran (Vitavax Thiram<sup>®</sup>), na dose de 70 g 100 kg<sup>-1</sup>. Aos 32 e 56 DAE da cultura, aplicou-se em área total nos experimentos o inseticida clorpirifós (Lorsban<sup>®</sup>), na dose de 1,5 l ha<sup>-1</sup>; e, logo após, o fungicida tebuconazole (Folicur<sup>®</sup>), na dose de 1,0 l ha<sup>-1</sup>. Para realizar estas aplicações, utilizou-se um pulverizador costal, operando-se com pontas do tipo leque, série 110.02, calibrado para um volume de calda equivalente a 110 l ha<sup>-1</sup>.

A planta daninha papuã foi quimicamente controlada em todas as parcelas com o tratamento TSI. Nesta situação, aplicou-se periodicamente em pós-emergência o herbicida clethodim (Select<sup>®</sup>), na dose de 0,4 l ha<sup>-1</sup>, acrescido do adjuvante Assist a 0,5% v.v. O controle de espécies daninhas latifoliadas foi realizado em área total com a mistura dos herbicidas bentazon e fomesafen (Amplo<sup>®</sup>), com a aplicação da dose de 1,0 l ha<sup>-1</sup>, acrescido do adjuvante Assist<sup>®</sup> a 0,5% v.v., aos 22 e 45 DAE da cultura. Estas aplicações ocorreram conforme descrito para o demais tratamentos fitossanitários.

#### **3.4.1 Controle do papuã com herbicidas residuais (LE2)**

Os efeitos dos tratamentos herbicidas sobre o papuã foram avaliados no início e no final do PCPI na cultura do feijão comum, o que corresponde a 20 e 40 DAE, respectivamente. Nestas datas, foram avaliados, em cada parcela, a densidade de plantas, o controle visual aparente e a massa de

plantas frescas e desidratadas de papuã. A avaliação de controle dessa planta foi realizada como descrito no ítem 3.3.1.

Para determinar a densidade de plantas, contou-se o número de indivíduos da espécie daninha em uma área de 0,5 m<sup>2</sup>, dividida em dois locais representativos da infestação na parcela. Na sequência, realizou-se a coleta dessas plantas e determinou-se a massa das plantas frescas e, depois da desidratação do material em estufa por 60° C até atingir massa constante, aferiu-se a massa das plantas desidratadas do papuã.

Os dados obtidos nestas avaliações foram normalizados para percentual em relação à situação com infestação de papuã. Para isso, utilizou-se o valor médio obtido com o tratamento TCI como referencial padrão, procedendo-se com a transformação dos dados de acordo com a Equação 7:

$$Y (\%) = [(Xa - Xb) / Xa] * 100 \quad \text{(Equação 7)}$$

onde, 'Y' é o valor normalizado em relação à TCI (%); 'Xa' é o valor médio obtido para a TCI; e, 'Xb' é o valor de um certo tratamento.

Os efeitos dos tratamentos herbicidas sobre o rendimento agrônômico da cultura foram avaliados na colheita. Inicialmente, coletaram-se vinte plantas de feijão comum por parcela, determinando-se o número de legumes planta<sup>-1</sup>, número de grãos legume<sup>-1</sup> e massa média do grão. Após, colheu-se as duas linhas centrais da cultura de cada parcela (área útil), ou 4,8m<sup>2</sup> (6,0m x 0,8 m), onde se determinou a densidade de plantas e o rendimento de grãos.

Os dados das nove variáveis foram avaliados quanto as suposições para o procedimento da análise de variância, onde se verificou a condição de normalidade em todos os casos. Em seguida, verificou-se a homogeneidade

dos erros experimentais entre os dois experimentos, sendo constatada a possibilidade de análise conjunta dos mesmos. Assim, procedeu-se à análise de variância dos dados de todas as variáveis comuns, utilizando-se as mesmas condições descritas anteriormente no capítulo 3.3.1.

As médias dos tratamentos foram comparadas com base no valor da diferença mínima significativa (DMS), calculado pelo teste t de Student, usando-se o nível de 5% de significância. Nesta segunda LE, foram calculados distintos valores de DMS para comparar valores médios das interações entre cultivares, herbicidas e(ou) doses. As equações utilizadas para calcular a magnitude de cada um desses DMS estão descritas nos anexos dessa dissertação para a conferência do leitor (Apêndices 6 e 7).

### **3.4.2 Interferência do papuã no feijoeiro comum (LE3)**

Os tratamentos utilizados possibilitaram diferentes infestações de papuã nas parcelas de cada experimento. Assim, pode-se determinar a resposta do feijoeiro comum à interferência dessa planta daninha, de acordo com o método proposto na literatura por Vidal *et al.* (2004). Para isto, na presente LE, considerou-se cada unidade experimental como uma repetição, com intuito de gerar variância para a realização das análises estatísticas.

Avaliaram-se três diferentes variáveis da infestação de papuã, as quais incluíram a densidade de plantas, a massa das plantas frescas e das plantas desidratadas, como descrito no item 3.4.1. Da mesma forma, determinou-se a resposta das plantas de feijão comum à interferência desta infestante através do rendimento de grãos e dos seus componentes. Salienta-se que os dados obtidos não foram normalizados para as análises estatísticas.

Os dados das variáveis foram submetidos à análise de variância pelo teste F, de acordo com o item 3.3.1. Complementou-se a análise de variância por meio da análise de regressão, estimando-se funções de resposta das variáveis aos níveis de infestação do papuã. Os dados foram ajustados ao modelo linear simples, como descrito na Equação 5; ou, ao modelo logístico simples de dois parâmetros, conforme descrito na Equação 8:

$$Y = [(ae^{-bx})] \quad \text{(Equação 8)}$$

onde, 'Y' e 'X' são, respectivamente, as variáveis dependente e independente da equação; 'a' é o parâmetro que representa a assíntota de máximo valor da regressão obtida, 'b' é o parâmetro que representa a coeficiente de declividade da regressão obtida; e, 'e' é a função exponencial da equação.

Realizaram-se, também, análises de correlação fenotípica entre combinações das variáveis avaliadas, valendo-se da função 'proc corr' do programa SAS Versão 8.0 (SAS, 2000). O nível de significância dos coeficientes de correlação obtidos foram testados pelo teste t de Student, conforme o método descrito em Steel *et al.* (1997). Os coeficientes significativos foram comparados entre si pelo seu valor numérico.

Na análise de trilha, ou *Path Analysis*, verificou-se inicialmente a condição de linearidade e aditividade entre as variáveis, para eleger àquelas que atenderiam aos requisitos para a análise. Na sequência, as variáveis que atenderam às exigências foram utilizadas na confecção de um diagrama estrutural de relações de causa e efeito. Neste caso, utilizou-se como variável principal o rendimento de grãos e, como secundárias, os componentes da produtividade do feijoeiro comum.

Os efeitos das variáveis sobre o rendimento de grãos foram estimados pelo método de análise de regressão linear múltipla com valores padronizados, conforme descrito em Pedhazur (1982). Com isso, pode-se desdobrar os coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos, determinando-se as interrelações causais entre as variáveis (Tabela 7). Os coeficientes de trilha foram estimados pelo programa SAS Versão 8.0 (SAS, 2000), cujo programa utilizado encontra-se caracterizado integralmente no Apêndice 8.

TABELA 7. Equações usadas para estimar os efeitos diretos e indiretos do número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL) e massa média do grão (MDG) sobre o rendimento de grãos (RDG). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<b>Efeitos</b>	<b>Modelos das equações</b>
<b>----- Número de legumes por área -----</b>	
Efeito direto	$Ed\ NLA = Py_1^a$
Efeito indireto via NGL	$Ei\ NGL = (Py_2 * P_{21}) + (Py_3 * P_{32} * P_{31})$
Efeito indireto via MDG	$Ei\ MDG = Py_3 * P_{31}$
Efeito total (direto e indiretos)	$Et\ NLA = Ed\ NLA + Ei\ NGL + Ei\ MDG$
<b>----- Número de grãos por legume -----</b>	
Efeito direto	$Ed\ NGL = Py_2$
Efeito indireto via MDG	$Ei\ MDG = Py_3 * P_{32}$
Efeito total (direto e indireto)	$Et\ NGL = Ed\ NGL + Ei\ MDG$
<b>----- Massa média do grão -----</b>	
Efeito direto	$Ed\ MDG = Py_3$
Efeito total (direto)	$Et\ MDG = Ed\ MDG$

<sup>a</sup>Efeito direto do NLA sobre o RDG ( $Py_1$ ); efeito direto do NGL sobre o RDG ( $Py_2$ ); e, efeito direto do MDG sobre o RDG ( $Py_3$ ).

<sup>b</sup>Efeito direto do NLA sobre o NGL ( $P_{21}$ ); efeito direto do NLA sobre o MDG ( $P_{31}$ ); e, efeito direto do NGL sobre o MDG ( $P_{32}$ ).

### 3.4.3. Nível crítico de dano do papuã no feijoeiro comum (LE4)

Os herbicidas residuais possibilitam a emergência de diferentes densidades de papuã na área experimental, proporcionando distintos níveis de interferência sobre o feijoeiro comum. Com isso, pode-se determinar o valor do seu nível crítico de dano (NCD) na cultura, ou seja, a queda percentual da produção causada pelo impacto do papuã. A seguir são descritas as

formas de cálculo e as expressões matemáticas dos modelos utilizados para determinar o valor desse limiar de dano nesta LE.

Vale destacar que, na presente LE, as análises de regressão foram feitas com auxílio do programa SAS Versão 8.0, utilizando-se da função “proc reg” (SAS, 2000). Esse procedimento calcula a significância das regressões obtidas e, além disso, fornece o erro padrão para cada parâmetro da equação calculado na análise. Deste modo, pode-se comparar os valores numéricos dos parâmetros calculados pelo programa entre as diferentes regressões através de estatística descritiva.

#### **3.4.3.1 Modelo 1 (Modelo hiperbólico)**

Os dados de rendimento de grãos foram inicialmente normalizados em valor percentual em relação à situação sem infestação, conforme o método descrito no item 3.4.1 (Equação 7). Na sequência, procedeu-se o ajuste dos dados ao modelo da hipérbole retangular simples, de acordo com o método proposto na literatura por Cousens *et al.* (1985) e expresso em termos matemáticos conforme apresentado pela Equação 9:

$$Y = [(aX) / (b+X)] \quad \text{(Equação 9)}$$

onde, 'Y' e 'X' são, respectivamente, as variáveis dependente e independente da equação de regressão; 'a' é a assíntota de máxima, ou a máxima perda de produção de grãos por interferência e, 'b' é o valor do nível de infestação correspondente a 50% da assíntota de máximo valor. Para se obter o NCD, efetuou-se a razão entre os parâmetros 'a' e 'b' da equação.

### 3.4.3.2 Modelos 2 e 3 (Modelos lineares)

Os modelos 2 e 3 consistem de segmentos lineares obtidos a partir de regressões polinomiais logísticas. Para isso, utilizou-se a metodologia dos polinômicos segmentados para decompor as regressões não lineares em dois ou mais regressões lineares simples. O critério utilizado para demarcar exatamente os pontos de inflexão entre dois segmentos lineares foi o valor quadrado médio do resíduo (QMR) da regressão.

No modelo 2, utilizaram-se os dados originais de rendimento de grãos e das variáveis explicativas da infestação. Inicialmente, os dados foram ajustados ao modelo logístico simples de dois parâmetros, conforme o método anteriormente descrito no item 3.4.2 (Equação 8). Na sequência, procedeu-se a decomposição da regressão em dois segmentos lineares, de acordo com o método proposto na literatura em Vidal *et al.* (2004).

No modelo 3, também utilizaram-se os dados normalizados em valor percentual em relação à situação sem infestação, conforme o procedimento descrito no item 3.4.1 (Equação 7). Posteriormente, procedeu-se o ajuste dos dados ao modelo da hipérbole retangular simples, de acordo com o método apresentado no item 3.4.3.1 (Equação 9). Ao final, realizou-se a decomposição das regressões não lineares em dois segmentos lineares, de forma análoga ao método descrito em Vidal *et al.* (2010a).

A magnitude do NCD foi obtida pela razão dos parâmetros 'a' e 'b' das equações do primeiro segmento linear. Vale destacar que, no caso específico do modelo 3, o parâmetro 'a' equivaleu a zero e, portanto, a estimativa do valor desse limiar de dano correspondeu ao 'b'.

### 3.5 Experimento a campo com herbicidas gramínicas

O experimento foi conduzido com delineamento em blocos casualizados, com arranjo bifatorial e quatro repetições. O fator 'herbicida' consistiu de três herbicidas aplicados em pós-emergência do feijoeiro comum e o fator 'dose' consistiu de cinco doses por herbicida. Para estabelecer um padrão de comparação, adicionou-se a cada bloco duas parcelas testemunhas com infestação (TCI) permanente de plantas daninhas. Cada bloco apresentou, deste modo, 17 unidades experimentais sob análise.

Cada unidade experimental mediou 5,0 x 2,0 m, onde foram aplicados, de forma aleatória, os tratamentos herbicidas. As doses dos herbicidas clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl equivaleram a 10, 30, 50, 80 e 105% da máxima registrada para a cultura do feijão comum (Tabela 8). Esses herbicidas, assim como as suas doses testadas, foram selecionados para testar a hipótese de que existe diferença entre a dose ótima agrônômica e econômica para o controle de papuã em pós-emergência do feijoeiro comum.

TABELA 8. Tratamentos aplicados no experimento a campo com herbicidas gramínicas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Herbicidas <sup>a</sup>	Percentual da dose máxima registrada (%)				
	10	30	50	80	105
	----- g i.a. ha <sup>-1</sup> -----				
Clethodim	9,6	28,8	43,2	76,8	100,8
Sethoxydim	18,4	55,2	92,0	147,2	193,2
Fluazifop-p-butyl	25,0	75,0	125,0	200,0	262,5

O feijoeiro comum, no momento da aplicação dos tratamentos, encontrava-se no estágio V<sub>4</sub> (Apêndice 3). Os herbicidas foram aspergidos entre as 9:45 h e 10:55 h, quando a temperatura do ar variou de 18,8 a 20,5°C e a umidade do ar variou de 76,9 a 85,4%. O método de aplicação dos

herbicidas foi aquele já descrito no ítem 3.3, com velocidade de deslocamento constante de  $1 \text{ m s}^{-1}$  e volume de calda de  $115 \text{ l ha}^{-1}$ .

A cultivar de feijão comum utilizada foi a 'IPR Graúna' (Tabela 1). A semeadura do cultura foi realizada após o preparo mecânico do solo, no início de setembro de 2008. As práticas de manejo da cultura foram realizados conforme descrito no ítem 3.4. A planta daninha utilizada como modelo nessa LE foi o papuã, espécie gramínea que infestou predominantemente as unidades experimentais. Assim, as avaliações de controle determinaram os efeitos dos diferentes tratamentos herbicidas aplicados em pós-emergência sobre essa espécie daninha.

### **3.5.1 Controle do papuã com herbicidas graminicidas (LE5)**

A avaliação dos efeitos dos tratamentos sobre as plantas de papuã, realizada aos 28 dias após a aplicação (DAA) e a normalização dos dados seguiram o método descrito no ítem 3.4.1. O rendimento de grãos de feijão comum foi estimado em área amostrada de  $3,2 \text{ m}^2$ , englobando as duas fileiras centrais da cultura em cada unidade experimental. Os dados obtidos nessas avaliações foram analisados com abordagens de ordem agrônômica e econômica, conforme os procedimentos a seguir descritos.

#### **3.5.1.1 Abordagem de ordem agrônômica**

Os dados de produtividade de grãos do feijoeiro comum foram inicialmente convertidos para  $\text{kg ha}^{-1}$ . A análise de variância dos dados foi realizada conforme descrito no ítem 3.4.1. Após, ajustaram-se funções de resposta das variáveis da infestação do papuã às doses dos herbicidas, usando-se o procedimento da análise de regressão. Os dados foram ajustados

ao modelo de regressão não linear do tipo log-logístico com três parâmetros, de acordo com o método descrito no ítem 3.3.1 (Equação 6).

Calculou-se, por meio das equações de regressão obtidas, os valores das doses que proporcionam 50 ( $R_{50}$ ) e 95 ( $R_{95}$ ) de redução percentual da densidade ou da massa das plantas de papuã. O valor de  $R_{95}$  foi definido neste trabalho como a dose ótima agrônômica dos herbicidas, tendo-se como base a classificação proposta por Lorenzi (2006). Os valores dos parâmetros calculados foram comparados por meio da técnica da estatística descritiva, valendo-se do erro padrão dos coeficientes das equações.

#### **3.5.1.2 Abordagem de ordem econômica**

Os dados de produtividade de grãos do feijoeiro comum foram inicialmente convertidos em reais  $ha^{-1}$ , considerando-se o preço médio pago ao produtor de R\$ 1,2  $kg^{-1}$  do feijão comum. Após, realizou-se o cálculo matemático da margem líquida (reais  $ha^{-1}$ ) de cada tratamento herbicida, com base nos indexadores econômicos descritos nos Apêndices 26 e 27, de acordo com o procedimento descrito na Equação 13:

$$ML = (MB - CH - CP) \quad \text{(Equação 10)}$$

onde, 'ML' e 'MB' são as margens bruta e líquida da produção da cultura, respectivamente, e; 'CH' e 'CP' são os custos com herbicidas e os demais custos de produção do feijoeiro comum, respectivamente.

A análise de variância dos dados foi realizada conforme previamente descrito no ítem 3.4.1 deste capítulo. Desdobraram-se os graus de liberdade da análise de variância, ajustando-se funções de resposta entre a margem líquida

e as doses crescentes dos herbicidas. Os dados foram ajustados ao modelo linear simples, como descrito no item 3.3.1; ou, ao modelo quadrático com três parâmetros, de acordo com o cálculo da Equação 10:

$$Y = (aX^2 + bX + c) \quad (\text{Equação 11})$$

na qual, 'Y' é o valor da variável dependente, 'X' é o valor da variável independente, 'a' é o parâmetro que representa a concavidade da regressão polinomial; 'b' e 'c' são os parâmetros que representam a declividade e o ponto da regressão junto ao eixo das abscissas, respectivamente.

A função quadrática, ou função polinomial de 2º grau, apresenta como expressão gráfica uma parábola, cujos pontos de máximo valor podem ser calculados por equações recíprocas. Então, valeu-se dessas equações para quantificar a magnitude dos vértices extremos das regressões obtidas e definir as situações com maior retorno econômico. Assim, determinou-se o valor da dose ótima econômica (DOE) e da margem líquida ótima (MLO), respectivamente, de acordo com as equações 12 e 13:

$$\text{DOE} = [-b / (2*a)] \quad (\text{Equação 12})$$

$$\text{MLO} = [(b^2 - (4*a*c))] \quad (\text{Equação 13})$$

### **3.6 Modelo bioeconômico (LE6)**

Este capítulo apresenta a descrição dos procedimentos adotados durante as diferentes etapas de construção do modelo bioeconômico proposto como escopo desta dissertação. Vale destacar que parte dessas atividades foram realizadas na Estação Experimental do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), em Ponta Grossa, PR. A seguir, serão descritos

em detalhes os principais métodos empregados nas etapas de desenvolvimento, automatização e validação do modelo.

### **3.6.1 Desenvolvimento do modelo**

O modelo bioeconômico proposto foi constituído de três módulos de interação com o usuário para a auxiliar na escolha da estratégia de controle do papuã no feijoeiro comum. Esses módulos foram desenvolvidos a partir de diversos indexadores agronômicos e econômicos obtidos com a cultivar de feijão comum 'IPR Graúna'. Na sequência, serão descritos os procedimentos específicos para o desenvolvimento de cada módulo e das simulações realizadas com o modelo proposto.

O primeiro módulo consiste da previsão da magnitude da interferência do papuã na cultura do feijão comum, apresentando estimativas das perdas agronômica e monetária da cultura. Os cálculos de perda agronômica do cultura por interferência foram realizados com o modelo hiperbólico, conforme descrito anteriormente no ítem 3.4.3.1. Os indexadores utilizados para realizar os cálculos foram divididos em três cenários, a seguir: bom (NCD=0,5%), médio (NCD=0,7%) e ruim (NCD=0,9%).

As simulações foram feitas em planilhas de cálculo com auxílio do programa Microsoft Excel Versão 2007. Quatro níveis de rendimento de grãos, três preços do produto e quatro densidades do papuã foram usados para criar distintos cenários de perda de produtividade. Os valores obtidos nesses cenários simulados foram comparados entre si pela sua magnitude, uma vez que a modelagem não permite usar análises estatísticas.

O segundo módulo caracteriza-se por quantificar a eficácia do controle das plantas de papuã de acordo com os diferentes herbicidas disponíveis no banco de dados do modelo. As estimativas da magnitude da redução da população do papuã em função dos diferentes herbicidas e doses serão realizadas de acordo com o item 4.5.1.1. Com isso, foram obtidos diferentes valores para a estimativa da eficácia do controle do papuã de acordo com as doses utilizada de cada herbicida graminicida.

O terceiro módulo do modelo consiste da diferenciação monetária entre as opções disponíveis para o controle do papuã quanto ao seu retorno econômico para a cultura. Esse retorno, ou margem líquida, foi estimado para cada opção de controle do papuã, conforme a operação matemática antes descrita na Equação 10. Neste caso, também foram realizadas simulações em planilhas de cálculo para a análise dos diferentes cenários de lucro pelos usuários do modelo.

### **3.6.2 Automatização do modelo**

A etapa de automatização constou do desenvolvimento de um programa computacional (software) para realizar as simulações do modelo bioeconômico proposto. Para isso, utilizou-se a plataforma editora do pacote computacional da família HERB/HADSS<sup>®</sup>, que realiza os cálculos de forma análoga ao modelo proposto. Vale destacar que essa plataforma havia sido previamente traduzida para a língua portuguesa, a fim de facilitar a compreensão dos seus usuários no Brasil.

Os indexadores técnicos foram os mesmos empregados na etapa de desenvolvimento do modelo, sendo as simulações realizadas com as mesmas situações do item 3.6.1. Todavia, no programa computacional, as

características agronômicas da área cultivada e os indexadores econômicos são fornecidos pelo usuário (Figura 1). Assim, os valores desses indexadores podem ser sempre modificados pelo usuário de acordo com cada situação específica de cultivo ou preço dos herbicidas.

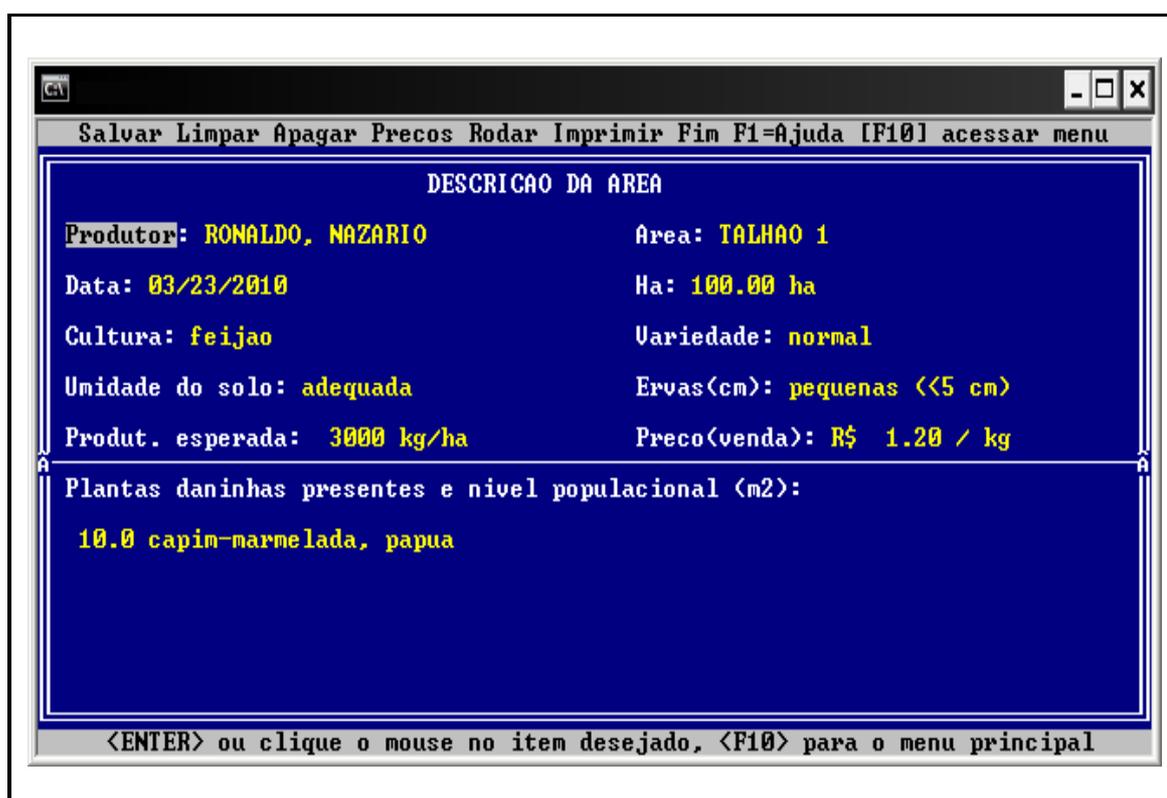


FIGURA 1. Características da área cultivada utilizadas nos cálculos realizados pelo programa SAGI 1.0. UFRGS/IAPAR, 2010(11).

Após a configuração dos indexadores agronômicos e econômicos na plataforma editora, realizaram-se diversas simulações para verificar a consistência dos resultados obtidos. Verificou-se, então, que os resultados gerados pelo referido software eram idênticos aos do modelo, em todas as comparações realizadas (Kalsing & Vidal, 2010a). Com isso, pode-se usar esse programa para automatizar as simulações do modelo, sendo denominado Sistema de Apoio à Gestão de Infestantes (SAGI) (Versão 1.0).

### **3.6.3 Validação do modelo**

A validação do modelo foi realizada comparando-se o comportamento do mesmo em relação aos dados de perda de produção por interferência na cultivar de feijão comum 'UTF-06'. Para isso, realizou-se uma análise de regressão entre os resultados reais e os previstos, ajustando-os ao modelo linear simples, conforme o item 3.3.1 (Equação 5). Portanto, o modelo deve ser 'validado' caso seja obtida uma regressão perfeita entre os valores dos resultados de perda real e perda prevista ( $X=Y$ ).

## **4 RESULTADOS**

No desenvolvimento deste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nas seis LE. Esses resultados foram divididos em partes para facilitar o entendimento do leitor, sendo cada LE e suas variáveis descritas em tópicos particulares. Cabe observar que os resumos das análises de variância dos dados de cada LE estão contidos nos apêndices dessa dissertação (Apêndices 10 a 13).

### **4.1 Seletividade de herbicidas residuais (LE1)**

Na LE1 buscou-se inicialmente prospectar herbicidas residuais, aplicados na condição de pré-emergência e com atividade seletiva para as plantas do feijoeiro comum. Para isso, realizou-se um experimento em ambiente protegido para avaliar duas variáveis quantitativas contínuas e duas discretas de plantas de feijão comum. Este tópico inicia apresentando os resultados comuns às quatro variáveis avaliadas e, posteriormente, os resultados particulares obtidos com as mesmas.

#### **4.1.1 Resultados gerais**

A análise de variância dos dados feita pelo teste F demonstrou interação significativa para todas as variáveis explicativas em estudo, entre os fatores 'herbicida' e 'dose' ( $p < 0,01$ ). Depois, com as análises de regressão,

pode-se determinar as situações em que houve resposta dessas variáveis ao aumento da dose dos herbicidas (Tabela 9). Nestes casos, fica evidente que os efeitos avaliados nas plantas de feijão comum estão significativamente relacionados com o incremento da dose dos herbicidas.

TABELA 9. Equações de regressão usadas para determinar o efeito de doses de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura sobre quatro variáveis da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna'. LAFLOR/UFRGS, Porto Alegre (RS), 2009(10).

Herbicidas	Parâmetros das Equações <sup>a</sup>			R <sup>2c</sup>	F <sup>d</sup>
	a	b	C <sub>50</sub> <sup>b</sup>		
<b>Emergência das plantas</b>					
Alachlor	6,9	-0,03	47,8	0,90	26,5 <sup>e</sup>
Dimethenamid	6,7	0,00	> 300,0	0,37	1,8 <sup>ns</sup>
S-metolachlor	6,6	0,00	> 300,0	0,07	0,2 <sup>ns</sup>
Pendimethalin	6,7	0,00	> 300,0	0,07	0,2 <sup>ns</sup>
Trifluralin	6,8	0,00	> 300,0	0,07	0,2 <sup>ns</sup>
<b>Fitointoxicação das plantas</b>					
Alachlor	66,3	-2,91	26,8	0,99	118,9 <sup>**</sup>
Dimethenamid	61,7	-4,00	264,2	0,99	432,8 <sup>**</sup>
S-metolachlor	60,8	-2,89	> 300,0	0,98	73,7 <sup>*</sup>
Pendimethalin	0,0	0,00	> 300,0	0,00	0,0 <sup>ns</sup>
Trifluralin	0,0	0,00	> 300,0	0,00	0,0 <sup>ns</sup>
<b>Massa desidratada da parte aérea</b>					
Alachlor	370,2	-2,76	37,1	0,99	232,6 <sup>**</sup>
Dimethenamid	368,5	-3,52	> 300,0	0,99	229,7 <sup>**</sup>
S-metolachlor	361,5	-6,05	> 300,0	0,88	7,6 <sup>ns</sup>
Pendimethalin	375,4	0,00	> 300,0	0,00	0,0 <sup>ns</sup>
Trifluralin	371,6	-0,02	> 300,0	0,00	0,0 <sup>ns</sup>
<b>Massa desidratada das raízes</b>					
Alachlor	123,1	-1,86	48,2	0,98	62,4 <sup>*</sup>
Dimethenamid	122,2	-5,53	> 300,0	0,99	1954,5 <sup>**</sup>
S-metolachlor	122,8	-8,92	> 300,0	0,99	265,4 <sup>**</sup>
Pendimethalin	122,1	0,00	> 300,0	0,00	0,0 <sup>ns</sup>
Trifluralin	121,6	-3,02	> 300,0	0,81	4,1 <sup>ns</sup>

<sup>a</sup>Equação de regressão do tipo linear [ $Y = a + (b \cdot X)$ ] para a variável emergência de plantas; e, do tipo log logístico [ $Y = a / (1 + ((X - C_{50})^b))$ ] para as variáveis fitointoxicação de plantas, massa desidratada da parte aérea e massa desidratada das raízes.

<sup>b</sup>Dose necessária para reduzir em 50% o valor da assíntota máxima das curvas de regressão, em valor percentual em relação a dose máxima registrada para a cultura da soja (alachlor) ou do feijão comum (dimethenamid, s-metolachlor, pendimethalin e trifluralin).

<sup>c</sup>Coefficiente de determinação entre doses dos herbicidas e respostas das variáveis.

<sup>d</sup>Magnitude do teste 'F' da análise entre doses dos herbicidas e respostas das variáveis.

<sup>e</sup>Valor não significativo (ns), valor significativo a 5% de probabilidade do erro experimental (\*) e valor significativo a 1% de probabilidade (\*\*) do erro experimental

#### **4.1.2 Emergência das plantas**

Verifica-se que, na avaliação aos cinco DAE, houve decréscimo linear da emergência de plantas de feijão comum em função do incremento da dose do herbicida alachlor (Figura 2A). Cerca de 50% da dose máxima registrada desse herbicida, ou  $1.800 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ , foi suficiente para reduzir a magnitude desta variável pela metade (Tabela 9). Este resultado indica haver acentuado efeito inibitório de alachlor sobre as plantas de feijão comum durante as fases de germinação e emergência da cultura.

Os demais herbicidas não afetaram a emergência de plantas de forma diferenciada em função da dose (Figura 2A). De fato, detectou-se não haver diferença significativa entre os valores da testemunha e quaisquer doses de dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin.

#### **4.1.3 Fitointoxicação das plantas**

A fitointoxicação das plantas de feijão comum foi incrementada com o aumento da dose de alachlor, dimethenamid e S-metolachlor, na avaliação visual realizada aos 20 DAE (Tabela 9). De fato, anotou-se que 40% da dose máxima registrada do herbicida alachlor, que equivale a  $1.080 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ , causou injúrias nas plantas de 50% (Figura 2B). Todavia, apesar de também causaram danos às plantas de feijão comum, dimethenamid e S-metolachlor não atingiram níveis de fitointoxicação dessa magnitude.

Para o pendimethalin e trifluralin, em quaisquer das doses avaliadas, não se notaram sintomas de injúrias das plantas na avaliação aos 20 DAE. Estes resultados sugerem que tais herbicidas residuais devem apresentar alta seletividade para a cultura do feijão comum (Figura 2B).

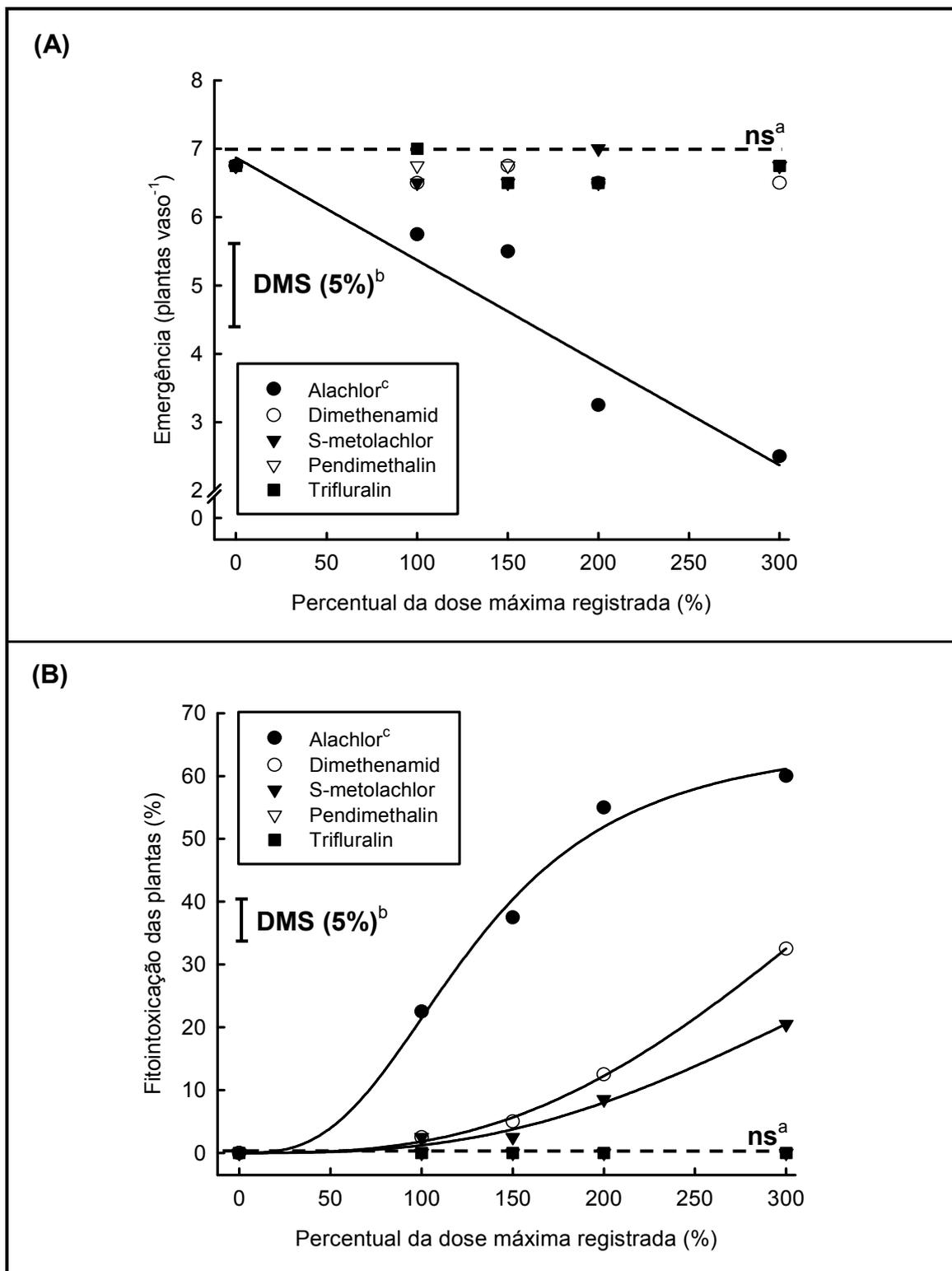


FIGURA 2. Emergência (A) e fitointoxicação (B) das plantas da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna' em função de doses de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura, aos cinco e vinte dias após a emergência, respectivamente. LAFLOR/UFRGS, Porto Alegre (RS), 2009(10).

<sup>a</sup>Resposta da variável ao aumento da dose do herbicida não significativa.

<sup>b</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias entre quaisquer tratamentos.

<sup>c</sup>Doses corresponderam a 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60% daquela máxima registrada para aplicação em pré-emergência na cultura da soja.

#### **4.1.4 Massa desidratada da parte aérea**

A MDPA das plantas de feijão comum foi reduzida exponencialmente com o aumento da dose dos herbicidas alachlor e dimethenamid, na avaliação realizada aos 20 DAE (Tabela 9). O primeiro herbicida, quando aspergido na dose equivalente a 37% da máxima registrada, ou 1.330 g i.a. ha<sup>-1</sup>, reduziu pela metade a magnitude dessa variável. O segundo composto, porém, necessitou de dose superior a 300% da máxima registrada (>2.160 g i.a. ha<sup>-1</sup>) para causar o mesmo efeito nas plantas (Figura 3A).

Pôde-se detectar, na mesma avaliação, que os herbicidas S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin não apresentaram resultados diferentes daqueles obtidos com a testemunha (Tabela 9). De fato, para os dois últimos produtos, não se observou redução significativa da MDPA em relação à testemunha em nenhuma das doses utilizadas neste trabalho. Mas, para S-metolachlor, foi verificada redução significativa da magnitude da MDPA na maior dose, o que sugere que a sua seletividade depende da dose (Figura 3A).

#### **4.1.5 Massa desidratada das raízes**

Constatou-se que, na avaliação aos 20 DAE, houve redução exponencial da magnitude da MDR das plantas de feijão comum o incremento da dose de alachlor, dimethenamid e S-metolachlor. Cerca de 48% da dose máxima registrada do herbicida alachlor, o que equivale a 1.728 g i.a. ha<sup>-1</sup>, reduziu essa variável em aproximadamente 50% (Tabela 9). Mas, apesar de também causarem danos às raízes de feijão comum, dimethenamid e S-metolachlor não provocaram injúrias com essa magnitude (Figura 3B).

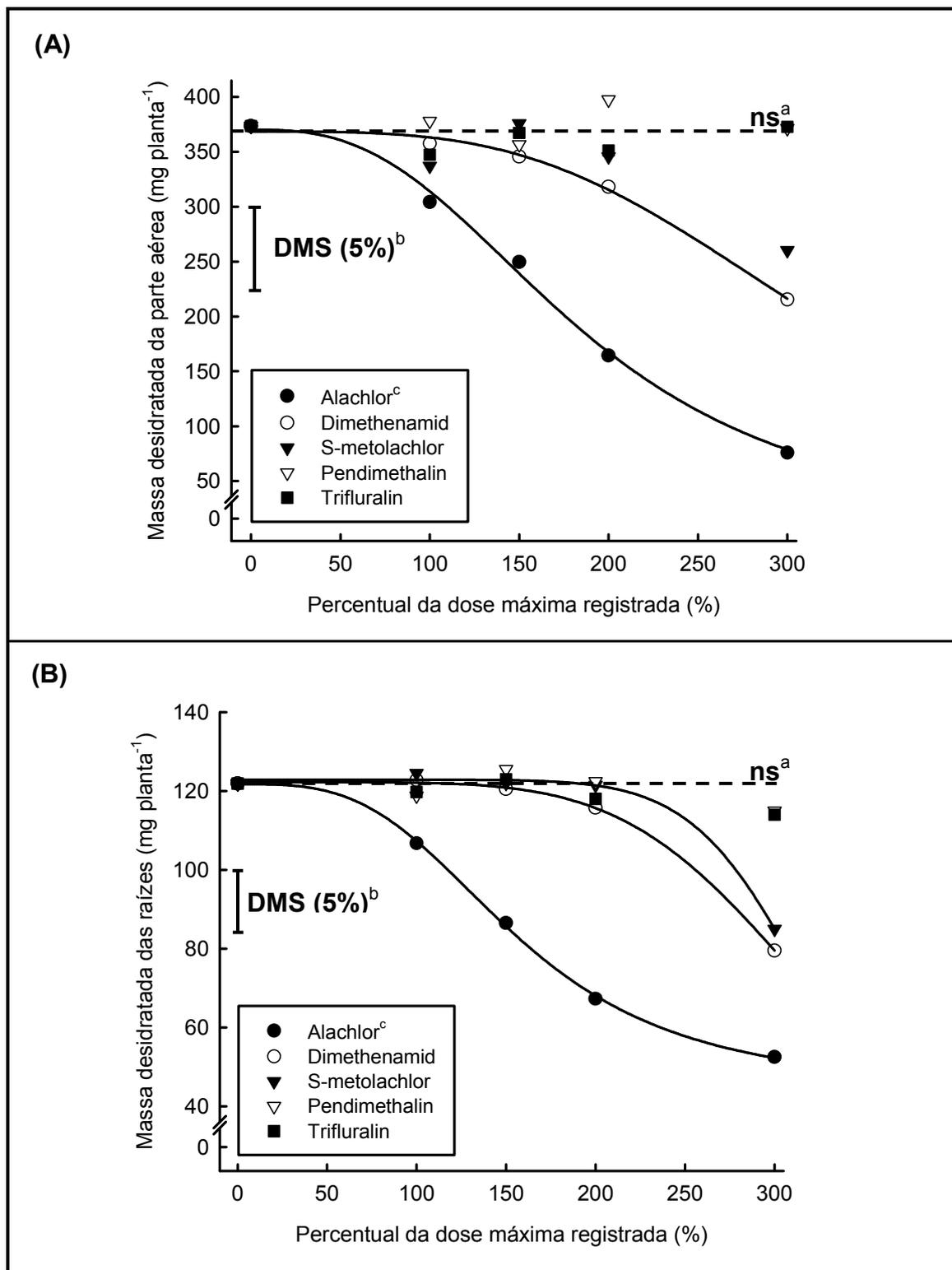


FIGURA 3. Massa desidratada da parte aérea (A) e das raízes (B) das plantas da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna' em função de doses de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura, aos vinte dias após a emergência, respectivamente. LAFLOR/UFRGS, Porto Alegre (RS), 2009(10).

<sup>a</sup>Resposta da variável ao aumento da dose do herbicida não significativa.

<sup>b</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias entre quaisquer tratamentos.

<sup>c</sup>Doses corresponderam a 0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60% daquela máxima registrada para aplicação em pré-emergência na cultura da soja.

Os herbicidas pendimethalin e trifluralin não afetaram significativamente a magnitude da variável MDR em relação à testemunha, independente das doses utilizadas neste estudo (Figura 3B). Estes resultados respaldam que tais compostos apresentaram seletividade para a cultura do feijão comum, de forma análoga às demais variáveis antes descritas.

## **4.2 Controle do papuã com herbicidas residuais (LE2)**

Na segunda LE avaliou-se a possibilidade de redução da infestação e da interferência do papuã no feijoeiro comum com a utilização de herbicidas com ação residual no solo. Para isso, no início e ao final do PCPI, foram avaliadas quatro variáveis relativas ao controle dessa planta daninha e cinco relativas ao desempenho da cultura. Vale lembrar ao leitor que na segunda LE foram realizados dois experimentos a campo, cujos dados das variáveis foram analisados em grupo.

### **4.2.1 Resultados gerais**

A análise conjunta dos dados realizada pelo teste F demonstrou interação significativa em seis variáveis sob estudo, entre os fatores 'cultivar' e 'herbicida' ( $p < 0,05$ ). Nestes casos, os valores dos tratamentos são advindos da média dos níveis do fator 'dose', ou seja, cada valor é composto pela média de 16 repetições. Nas outras variáveis verificou-se interação entre 'cultivar', 'herbicida' e 'dose' ( $p < 0,05$ ), onde os valores dos tratamentos constituem-se da média de 8 repetições.

#### 4.2.2 Controle de papuã

O controle do papuã variou com a interação entre cultivares e herbicidas, nas duas datas avaliadas (Tabela 10). Os herbicidas controlaram melhor o papuã com a maior dose usada (62%), comparada à menor dose (52%), na média das duas épocas de avaliação. Este resultado indica que os herbicidas apresentaram maior efeito sobre essa planta quando aplicados na dose correspondente a 120% da máxima registrada.

Trifluralin constituiu-se no herbicida com maior eficácia numérica no controle de papuã, que variou entre 73 e 89%, devido ao efeito da época de avaliação e da cultivar de feijão comum. Mas, a superioridade numérica desse herbicida em relação aos demais somente foi evidenciada estatisticamente na avaliação da infestação realizada aos 20 DAE. Dimethenamid apresentou os menores valores numéricos para o controle, os quais só foram diferentes aos dos outros herbicidas em 50% dos casos (Tabela 10).

TABELA 10. Controle de papuã nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Controle de papuã (%)			
	----- 20 DAE <sup>a</sup> -----		----- 40 DAE -----	
	IPR Graúna	UTF-06	IPR Graúna	UTF-06
Dimethenamid	18 bC <sup>b</sup>	43 aC	27 bC	56 abA
S-metolachlor	48 bB	72 aB	43 bB	71 aA
Pendimethalin	56 aB	40 bC	60 aA	43 bB
Trifluralin	73 bA	89 aA	73 aA	80 aA
<b>C. V.<sup>c</sup> (%)</b>	----- <b>33</b> -----	-----	----- <b>36</b> -----	-----
<b>DMS<sup>d</sup> (A) (5%)</b>	----- <b>9</b> -----	-----	----- <b>10</b> -----	-----
<b>DMS (B) (5%)</b>	----- <b>13</b> -----	-----	----- <b>15</b> -----	-----
<b>DMS (C) (5%)</b>	----- <b>26</b> -----	-----	----- <b>29</b> -----	-----

<sup>a</sup>Dias após a emergência da cultura. As avaliações realizadas aos 20 e 40 DAE corresponderam aos estádios V<sub>3</sub> e V<sub>5</sub> do feijoeiro comum, respectivamente.

<sup>b</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (P<0,05), sendo que letras minúsculas comparam médias na horizontal e letras maiúsculas comparam médias na vertical.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>d</sup>Diferença mínima significativa para comparar valores médios de: (A) cultivares em um mesmo herbicida; (B) herbicidas em uma mesma cultivar; e (C) quaisquer cultivares e herbicidas.

S-metolachlor e pendimethalin proporcionaram valores para o controle intermediários aos outros herbicidas, na maioria das comparações com os demais tratamentos (Tabela 10). Todavia, destaca-se que nem sempre se notou diferença significativa entre os efeitos obtidos com os mesmos.

#### 4.2.3 Densidade de plantas de papuã

Houve interação significativa entre ‘cultivares’ e ‘herbicidas’, em ambas as épocas de avaliação (Tabela 11). Aos 20 DAE, notou-se menor infestação nas áreas com a maior dose (25%) do que naquelas com a menor dose (32%), na média de todos os tratamentos avaliados. Todavia, aos 40 DAE, não se observou comportamento diferenciado da densidade de plantas de papuã em função da dose empregada dos herbicidas residuais.

TABELA 11. Densidade de plantas de papuã nas cultivares de feijão comum ‘IPR Graúna’ e ‘UTF-06’, em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Densidade de plantas de papuã (%) <sup>a</sup>			
	20 DAE <sup>b</sup>		40 DAE	
	IPR Graúna	UTF-06	IPR Graúna	UTF-06
Dimethenamid	56 aA <sup>c</sup>	22 bB	87 aA	37 aAB
S-metolachlor	41 aB	18 bB	54 aB	30 bB
Pendimethalin	25 bC	37 aA	32 bC	46 aA
Trifluralin	13 aD	9 aC	23 aC	13 bC
<b>C. V.<sup>d</sup> (%)</b>	<b>38</b>		<b>40</b>	
<b>DMS<sup>e</sup> (A) (5%)</b>	<b>5</b>		<b>5</b>	
<b>DMS (B) (5%)</b>	<b>8</b>		<b>11</b>	
<b>DMS (C) (5%)</b>	<b>15</b>		<b>23</b>	

<sup>a</sup>Valores padronizados em percentagem em relação à testemunha infestada com papuã. Aos 20 DAE: IPR Graúna (1.008,5 plantas m<sup>-2</sup>) e UTF-06 (682,5 plantas m<sup>-2</sup>); aos 40 DAE: IPR Graúna (789,8 plantas m<sup>-2</sup>) e UTF-06 (718,5 plantas m<sup>-2</sup>).

<sup>b</sup>Dias após a emergência da cultura. As avaliações realizadas aos 20 e 40 DAE corresponderam aos estádios V<sub>3</sub> e V<sub>5</sub> do feijoeiro comum, respectivamente.

<sup>c</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (p<0,05), sendo que letras minúsculas comparam médias na horizontal e letras maiúsculas comparam médias na vertical.

<sup>d</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>e</sup>Diferença mínima significativa para comparar valores médios de: (A) cultivares em um mesmo herbicida; (B) herbicidas em um mesmo cultivar; e (C) quaisquer cultivares e (ou) herbicidas.

Todos os herbicidas residuais reduziram a densidade do papuã em comparação à situação com infestação. Dentre eles, trifluralin geralmente obteve maior efeito inibitório em relação com os demais herbicidas, reduzindo a magnitude em relação à TCI para 9 a 23% (Tabela 11).

#### 4.2.4 Massa das plantas frescas de papuã

Constatou-se interação em função dos fatores ‘cultivares’ e ‘herbicidas’, nas duas datas avaliadas (Tabela 12). Notou-se que, na média dos herbicidas, não houve diferença na redução dessa variável entre as duas doses testadas, na avaliação da infestação feita aos 20 DAE. Mas, aos 40 DAE, detectou-se que os herbicidas na maior dose (54%) causaram maior redução da massa das plantas frescas do que na menor dose (44%).

TABELA 12. Massa das plantas frescas de papuã nas cultivares de feijão comum ‘IPR Graúna’ e ‘UTF-06’, em função de herbicidas aplicados em pré-emergência, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Massa das plantas frescas de papuã (%) <sup>a</sup>			
	20 DAE <sup>b</sup>		40 DAE	
	IPR Graúna	UTF-06	IPR Graúna	UTF-06
Dimethenamid	33 aA <sup>c</sup>	15 bB	88 aA	45 bB
S-metolachlor	23 aA	9 bB	58 aB	41 bB
Pendimethalin	24 bA	45 aA	41 bC	65 aA
Trifluralin	8 aB	7 aB	29 aD	28 aC
<b>C. V.<sup>d</sup> (%)</b>	<b>68</b>		<b>22</b>	
<b>DMS<sup>e</sup> (A) (5%)</b>	<b>7</b>		<b>5</b>	
<b>DMS (B) (5%)</b>	<b>10</b>		<b>8</b>	
<b>DMS (C) (5%)</b>	<b>20</b>		<b>15</b>	

<sup>a</sup>Valores padronizados em percentagem em relação à testemunha infestada com papuã. Aos 20 DAE: IPR Graúna (92,0 g m<sup>-2</sup>) e UTF-06 (47,5 g m<sup>-2</sup>); e, aos 40 DAE: IPR Graúna (235,4 g m<sup>-2</sup>) e UTF-06 (271,6 g m<sup>-2</sup>).

<sup>b</sup>Dias após a emergência da cultura. As avaliações realizadas aos 20 e 40 DAE corresponderam aos estádios V<sub>3</sub> e V<sub>5</sub> do feijoeiro comum, respectivamente.

<sup>c</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (p<0,05), sendo que letras minúsculas comparam médias na horizontal e letras maiúsculas comparam médias na vertical.

<sup>d</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>e</sup>Diferença mínima significativa para comparar valores médios de: (A) cultivares em um mesmo herbicida; (B) herbicidas em um mesmo cultivar; e (C) quaisquer cultivares e (ou) herbicidas.

O trifluralin geralmente reduziu mais a massa das plantas frescas em comparação aos demais herbicidas, tendo a magnitude do seu efeito situado entre 7 e 29% em relação à TCI. De fato, dimethenamid, S-metolachlor e pendimethalin apresentaram menor efeito inibitório do que o trifluralin, com valores entre 9 e 88% em relação à TCI. Porém, nem sempre se notou diferença entre os efeitos obtidos com os mesmos (Tabela 12).

#### 4.2.5 Massa das plantas desidratadas de papuã

Constatou-se interação significativa entre ‘cultivares’ e ‘herbicidas’, nas duas épocas de avaliação (Tabela 13). Não houve diferença entre o efeito das duas doses testadas dos herbicidas na redução do valor desta variável, em ambas as datas de avaliação (não apresentado).

TABELA 13. Massa das plantas desidratadas de papuã nas cultivares de feijão ‘IPR Graúna’ e ‘UTF-06’, em função de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura, na média de duas doses e em duas épocas de avaliação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Massa das plantas desidratadas de papuã (%) <sup>a</sup>			
	20 DAE <sup>b</sup>		40 DAE	
	IPR Graúna	UTF-06	IPR Graúna	UTF-06
Dimethenamid	39 aA <sup>c</sup>	15 bB	88 aA	45 bB
S-metolachlor	26 aB	9 bB	58 aB	41 bB
Pendimethalin	28 bAB	45 aA	41 bC	65 aA
Trifluralin	9 aC	7 aB	29 aD	28 aC
<b>C. V.<sup>d</sup> (%)</b>	<b>33</b>		<b>22</b>	
<b>DMS<sup>e</sup> (A) (5%)</b>	<b>8</b>		<b>6</b>	
<b>DMS (B) (5%)</b>	<b>11</b>		<b>8</b>	
<b>DMS (C) (5%)</b>	<b>21</b>		<b>16</b>	

<sup>a</sup>Valores padronizados em porcentagem em relação à testemunha infestada com papuã. Aos 20 DAE: IPR Graúna (21,4 g m<sup>-2</sup>) e UTF-06 (13,6 g m<sup>-2</sup>); e, aos 40 DAE: IPR Graúna (63,3 g m<sup>-2</sup>) e UTF-06 (55,5 g m<sup>-2</sup>).

<sup>b</sup>Dias após a emergência da cultura. As avaliações realizadas aos 20 e 40 DAE corresponderam aos estádios V<sub>3</sub> e V<sub>5</sub> do feijoeiro comum, respectivamente.

<sup>c</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (p<0,05), sendo que letras minúsculas comparam médias na horizontal e letras maiúsculas comparam médias na vertical.

<sup>d</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>e</sup>Diferença mínima significativa para comparar valores médios de: (A) cultivares em um mesmo herbicida; (B) herbicidas em um mesmo cultivar; e (C) quaisquer cultivares e (ou) herbicidas.

Todos os herbicidas residuais reduziram a massa das plantas desidratadas de papuã em relação à TCI. Contudo, trifluralin apresentou maior atividade herbicida em comparação aos demais herbicidas, reduzindo o valor desta variável entre 7 e 29% em relação à TCI (Tabela 13).

Dimethenamid, S-metolachlor e pendimethalin geralmente tiveram menor redução da massa das plantas desidratadas de papuã do que trifluralin, tendo o seu efeito variado entre 9 e 88% em relação à TCI. Mas, nem sempre se notou diferença entre os mesmos nos efeitos obtidos (Tabela 13).

#### **4.2.6 Densidade de plantas de feijão comum**

A densidade de plantas de feijão comum variou em função dos fatores 'cultivar', 'herbicida' e 'dose' (Tabela 14). A densidade, de forma geral, foi reduzida, situando-se entre 11,3 e 18,5 plantas  $m^{-2}$ . Destaca-se que não se observou injúria aparente dos herbicidas no feijoeiro comum.

Detectou-se diferença significativa entre as parcelas testemunhas 'com infestação' (TCI) e 'sem infestação' (TSI). De fato, constatou-se redução de cerca de 25 e 15% da densidade de plantas na TCI em relação à TSI, nas cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente (Tabela 14).

A densidade de plantas nos tratamentos herbicidas foi superior à densidade na TCI em uma situação, das oito possíveis, na cultivar IPR Graúna; e, em cinco casos, em UTF-06. Pendimethalin, na maior dose testada, foi o único tratamento que possibilitou maior densidade de plantas na cultivar IPR Graúna, quando comparado à TCI. Na cultivar UTF-06, os tratamentos com trifluralin e S-metolachlor, em ambas as doses e, dimethenamid, na maior dose, apresentaram valores superiores à TCI (Tabela 14).

A mesma análise indica que os herbicidas residuais apresentaram densidade de plantas inferior à TSI em sete situações, de oito possíveis, na cultivar IPR Graúna; e, em um caso, em UTF-06. Na primeira cultivar, apenas a área tratada com pendimethalin, na maior dose, apresentou densidade de plantas não diferente à densidade da TSI, enquanto que, na segunda cultivar, a maioria dos tratamentos não diferiu dessa testemunha (Tabela 14).

TABELA 14. Densidade de plantas das cultivares IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré- emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Densidade de plantas (plantas m <sup>-2</sup> )			
	----- IPR Graúna -----		----- UTF-06 -----	
	Dose 100%	Dose 120%	Dose 100%	Dose 120%
Dimethenamid	R * 12,8 aB <sup>a</sup>	U * 11,3 bC	R 13,1 bC	T 16,2* aA
S-metolachlor	S * 14,0 aA	U * 13,4 aB	R 16,0* aA	T 16,0* aA
Pendimethalin	R * 13,8 bA	T 18,1* aA	R 14,1 aB	U * 13,3 aB
Trifluralin	S * 12,2 bB	U * 14,0 aB	R 15,8* aA	T 16,4* aA
Test. com infestação	*14,3		*12,9	
Test. sem infestação	18,5* <sup>b</sup>		14,9*	
<b>C. V.<sup>c</sup> (%)</b>	----- <b>9,7</b> -----		-----	
<b>DMS<sup>d</sup> (A) (5%)</b>	----- <b>1,2</b> -----		-----	
<b>DMS (B) (5%)</b>	----- <b>0,8</b> -----		-----	
<b>DMS (C) (5%)</b>	----- <b>1,6</b> -----		-----	
<b>DMS (D) (5%)</b>	----- <b>2,3</b> -----		-----	
<b>DMS (E) (5%)</b>	----- <b>2,4</b> -----		----- <b>2,4</b> -----	

<sup>a</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (P<0,05), sendo que letras minúsculas a direita (a, b) comparam médias de doses de um mesmo herbicida, em uma mesma cultivar; letras maiúsculas a direita (A, B, C) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em uma mesma cultivar; e, letras maiúsculas a esquerda (R, S e T, U) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em cultivares diferentes.

<sup>b</sup>Asterisco ao lado direito dos valores significa diferença significativa (P<0,05) em relação à testemunha com infestação e asterisco ao lado esquerdo indica diferença significativa (P<0,05) em relação à testemunha sem infestação.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>d</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias de: (A) doses de um mesmo herbicida, numa mesma cultivar; (B) herbicidas em uma mesma dose, numa mesma cultivar; (C) doses de um herbicida em cultivares diferentes; (D) quaisquer cultivares, herbicidas e doses; e, (E) herbicidas em uma mesma dose com as testemunhas com ou sem infestação, numa mesma cultivar.

Comparando-se as doses de cada herbicida, em uma mesma cultivar, verifica-se que, em quatro comparações, a densidade de plantas foi maior em

duas situações na maior dose em relação à menor, na cultivar IPR Graúna; e, em apenas uma situação, em UTF-06. Destaca-se que as doses não diferiram entre si em apenas um caso na primeira cultivar, enquanto que, na segunda, não ocorreram diferenças em três casos (Tabela 14).

Ao se comparar os herbicidas aplicados na menor dose, nota-se que as áreas tratadas com pendimethalin e S-metolachlor tiveram maior densidade em relação aos demais herbicidas na cultivar IPR Graúna, assim como trifluralin e S-metolachlor, em UTF-06. Na maior dose, as parcelas aspergidas com pendimethalin tiveram os maiores efeitos em IPR Graúna, enquanto que, na cultivar UTF-06, obtiveram os menores efeitos (Tabela 14).

Comparando-se as duas cultivares de feijão comum, constata-se que, das oito comparações possíveis, a densidade foi maior em uma situação com a cultivar IPR Graúna do que com a UTF-06, menor em cinco situações e não foi diferente em apenas duas situações (Tabela 14). Assim, de forma geral, a área com a cultivar IPR Graúna teve menor densidade, em relação à UTF-06, nas condições climáticas e de manejo da cultura deste estudo.

#### **4.2.7 Número de legumes por área de feijão comum**

Para o número de legumes  $m^{-2}$  verificou-se interação significativa entre 'cultivares', 'herbicidas' e 'doses' (Tabela 15). Os valores médios desta variável apresentaram amplitude entre 50,6 a 250,6 legumes  $m^{-2}$ , ou seja, houve variação de cerca de cinco vezes entre os valores extremos.

TABELA 15. Número de legumes por área das cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Legumes por área (n° m <sup>-2</sup> )		
	IPR Graúna	UTF-06	
	Dose 100%	Dose 120%	Dose 100%
Dimethenamid	R * 110,1 aC <sup>a</sup>	U * 103,7 aB	R * 130,5 <sup>*</sup> bC
S-metolachlor	R * 122,8 bBC	T * 160,7 <sup>*</sup> aA	R * 152,4 <sup>*</sup> bB
Pendimethalin	R * 131,8 <sup>*</sup> bB	T * 172,8 <sup>*</sup> aA	S * 101,1 <sup>*</sup> aD
Trifluralin	R * 187,1 <sup>*</sup> aA	T * 172,5 <sup>*</sup> bA	R * 180,1 <sup>*</sup> aA
Testemunha com	*105,8		*50,6
Testemunha sem	250,3 <sup>*b</sup>		244,3 <sup>*</sup>
<b>C. V.<sup>c</sup> (%)</b>			<b>11,8</b>
<b>DMS<sup>d</sup> (A) (%)</b>			<b>10,1</b>
<b>DMS (B) (%)</b>			<b>14,3</b>
<b>DMS (C) (%)</b>			<b>20,2</b>
<b>DMS (D) (%)</b>			<b>28,6</b>
<b>DMS (E) (%)</b>			<b>31,1</b>

<sup>a</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (P<0,05), sendo que letras minúsculas a direita (a, b) comparam médias de doses de um mesmo herbicida, em uma mesma cultivar; letras maiúsculas a direita (A, B, C) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em uma mesma cultivar; e, letras maiúsculas a esquerda (R, S e T, U) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em cultivares diferentes.

<sup>b</sup>Asterisco ao lado direito dos valores significa diferença significativa (P<0,05) em relação à testemunha com infestação e asterisco ao lado esquerdo indica diferença significativa (P<0,05) em relação à testemunha sem infestação.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>d</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias de: (A) doses de um mesmo herbicida, numa mesma cultivar; (B) herbicidas em uma mesma dose, numa mesma cultivar; (C) doses de um herbicida em cultivares diferentes; (D) quaisquer cultivares, herbicidas e doses; e, (E) herbicidas em uma mesma dose com as testemunhas com ou sem infestação, numa mesma cultivar.

Verificou-se produção de 250 e 244 legumes  $m^{-2}$  na TSI, enquanto que, na TCI, notaram-se apenas 110 e 50 legumes  $m^{-2}$ , nas cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente (Tabela 15). Assim, houve redução da magnitude dessa variável em até 58% em IPR Graúna e 80% em UTF-06.

Nenhuma das parcelas aspergidas com herbicidas apresentou número de legumes  $m^{-2}$  igual ou superior à TSI. Todavia, a maioria destes tratamentos propiciou aumento dessa variável, em relação à TCI. De fato, verificou-se que o número de legumes  $m^{-2}$  nas parcelas com herbicidas residuais foi superior à testemunha infestada com papuã em cinco situações, das oito possíveis, na cultivar IPR Graúna; e, em sete situações, em UTF-06 (Tabela 15).

Nas áreas com a maior dose dos herbicidas, comparada à menor dose, houve maior número de legumes  $m^{-2}$  em dois casos, de quatro possíveis, nas cultivares IPR Graúna ou UTF-06 (Tabela 15). Destaca-se que S-metolachlor foi o único herbicida que incrementou o valor dessa variável de forma diferenciada em função da dose nas duas cultivares, ou seja, o efeito de dose dos demais herbicidas foi individualizado de acordo com cada cultivar.

As plantas das áreas com trifluralin apresentaram, de maneira geral, maior aumento da magnitude desta característica em relação às plantas das parcelas com os demais herbicidas. Trifluralin propiciou, na média das doses, aumento do número de legumes  $m^{-2}$  em 70 e 350%, em relação à TCI, nas cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente. Alguns herbicidas, quando aplicados na maior dose, não diferiram do trifluralin (Tabela 15).

#### 4.2.8 Número de grãos por legume de feijão comum

O número de grãos legume<sup>-1</sup> variou em função da interação das cultivares e dos herbicidas (Tabela 16). Verificou-se, na média dos tratamentos, que a maior dose dos herbicidas (3,8) teve efeito superior sobre a magnitude desta variável, comparada à menor dose (3,3).

Notou-se redução de cerca de 60 e 70 % do número de grãos legume<sup>-1</sup> nas plantas das parcelas com a TCI, em relação à TSI, para as cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente. Os herbicidas residuais propiciaram aumento do número de grãos legume<sup>-1</sup> em relação à TCI, na maioria das comparações entre essas nas duas cultivares (Tabela 16).

TABELA 16. Número de grãos por legume e massa do grão das cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura, na média de duas doses. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Grãos legume <sup>-1</sup> (nº)		Massa do grão (mg grão <sup>-1</sup> )	
	IPR Graúna	UTF-06	IPR Graúna	UTF-06
Dimethenamid	*2,9 bB <sup>a</sup>	4,0* aB	*170,4* aB	146,7 bA
S-metolachlor	*3,2* aAB	3,7* aB	*179,7* aA	150,6 bA
Pendimethalin	*3,7* aA	*2,3 bC	*184,0* aA	147,1 bA
Trifluralin	*3,9* bA	4,8* aA	*184,2* aA	150,7 bA
Test. com infestação	*2,3	*1,4	*158,7	*142,5
Test. sem infestação	5,4 <sup>b</sup>	4,6*	*192,6*	*151,6*
<b>C. V.<sup>c</sup> (%)</b>	----- <b>22,4</b> -----		----- <b>3,4</b> -----	
<b>DMS<sup>d</sup> (A) (5%)</b>	----- <b>0,5</b> -----		----- <b>3,3</b> -----	
<b>DMS (B) (5%)</b>	----- <b>0,7</b> -----		----- <b>4,7</b> -----	
<b>DMS (C) (5%)</b>	----- <b>1,3</b> -----		----- <b>9,4</b> -----	
<b>DMS (D) (5%)</b>	--- <b>0,8</b> -----	<b>1,6</b> -----	<b>6,0</b> -----	<b>11,0</b> -----

<sup>a</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (P < 5%), sendo que letras minúsculas a direita (a, b) comparam médias de doses de um mesmo herbicida, em uma mesma cultivar; letras maiúsculas a direita (A, B, C) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em uma mesma cultivar; e, letras maiúsculas a esquerda (R, S e T, U) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em cultivares diferentes.

<sup>b</sup>Asterisco ao lado direito dos valores significa diferença significativa (P < 5%) em relação à testemunha sem controle e asterisco ao lado esquerdo indica diferença significativa (P < 5%) em relação à testemunha com controle.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>d</sup>Diferença mínima significativa para comparar valores médios de: (A) cultivares em um mesmo herbicida; (B) herbicidas em uma mesma cultivar; (C) quaisquer cultivares e (ou) herbicidas; e, (D) herbicidas em uma mesma cultivar com as testemunhas sem controle ou com controle.

Nenhuma parcela aspergida com herbicidas residuais obteve plantas de feijão comum com número de grãos legume<sup>-1</sup> equivalente ou superior à TSI, no caso da cultivar IPR Graúna. Contudo, em UTF-06, nas áreas tratadas com trifluralin, dimethenamid e S-metolachlor, o número de grãos legume<sup>-1</sup> não diferiu do valor das parcelas livres de papuã (Tabela 16).

A maioria dos herbicidas apresentou comportamento diferenciado em função da cultivar, com exceção de trifluralin. Esse herbicida, de forma geral, teve maior efeito sobre o número de grãos legume<sup>-1</sup> em relação aos demais, na maioria das comparações entre os mesmos. Trifluralin proporcionou plantas com cerca de 70 e 340% de aumento dessa variável, em relação à TCI, para IPR Graúna e UTF-06, respectivamente (Tabela 16).

#### **4.2.9 Massa do grão de feijão comum**

Para a massa do grão se detectou interação significativa entre os fatores 'cultivar' e 'herbicida' (Tabela 16). Nas áreas com a maior dose herbicida, as plantas tiveram maior valor (165,2 mg) para a massa do grão de feijão comum em comparação à menor dose testada (163,1 mg), na média de todos os tratamentos avaliados nesta LE.

A amplitude de variação da massa do grão foi relativamente reduzida, comparada às outras variáveis. De fato, os valores desta variável estão contidos entre 147 e 196 mg grão<sup>-1</sup> (Tabela 16), o que representa uma variação entre os valores médios extremos de apenas 30%.

Houve redução da massa do grão na TCI, em relação à TSI, em ambas as cultivares de feijão comum. O valor desta variável foi 20 e 10% menor nas plantas da primeira testemunha, comparada à segunda testemunha, para IPR Graúna e UTF-06, respectivamente (Tabela 16).

As plantas nas parcelas com herbicidas apresentaram maior massa do grão em relação à TCI, na cultivar IPR Graúna. Todavia, esse aumento não foi suficiente para equivaler à TSI, ou seja, as áreas com herbicidas residuais apresentaram valores entre as duas testemunhas. Com UFT-06 ocorreu o contrário, uma vez que os herbicidas residuais apresentaram plantas com valores não diferentes tanto da TCI quanto da TSI (Tabela 16).

Evidenciaram-se poucas diferenças significativas entre os efeitos dos herbicidas residuais sobre a massa do grão. De fato, somente plantas das áreas tratadas com dimethenamid, na cultivar IPR Graúna, obtiveram menor massa do grão em relação aos demais herbicidas avaliados (Tabela 16).

#### **4.2.10 Rendimento de grãos de feijão comum**

O rendimento de grãos variou em função da interação dos fatores 'cultivar', 'herbicida' e 'dose' (Tabela 17). O rendimento, em geral, foi variável, situando-se entre 100 e 2.600 kg ha<sup>-1</sup>. Assim, a planta daninha causou variação de 26 vezes no valor desta variável.

Constatou-se produção de 2.600 e 1.700 kg ha<sup>-1</sup> na TSI, enquanto que, na TCI, obteve-se apenas 380 e 100 kg ha<sup>-1</sup>, para as cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente. Verifica-se, assim, redução do rendimento de grãos da cultura em até 88% na cultivar IPR Graúna e 96% na cultivar UTF-06.

TABELA 17. Rendimento de grãos das cultivares de feijão 'IPR Graúna' e 'UTF-06', em função de tratamentos herbicidas aplicados em pré-emergência. EEA/UFRRS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Tratamentos	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )				
	IPR Graúna	Dose 100%	Dose 120%	Dose 100%	UTF-06
Dimethenamid	R *566 aD <sup>a</sup>	U *475 bC	R *640 <sup>*</sup> bC	T *978 <sup>*</sup> aB	
S-metolachlor	R *745 <sup>*</sup> bC	T *1.026 <sup>*</sup> aB	R *743 <sup>*</sup> bB	T *1.054 <sup>*</sup> aB	
Pendimethalin	R *860 <sup>*</sup> bB	T *1.216 <sup>*</sup> aA	S *338 aD	U *333 aC	
Trifluralin	R *1.421 <sup>*</sup> aA	U *1.164 <sup>*</sup> bA	R *1.385 <sup>*</sup> aA	T *1.374 <sup>*</sup> aA	
Testemunha com infestação					*101
Testemunha sem infestação					1.710 <sup>*</sup>
<b>C. V. <sup>c</sup> (%)</b>					<b>18</b>
<b>DMS<sup>d</sup> (A) (%)</b>					<b>137</b>
<b>DMS (B) (%)</b>					<b>97</b>
<b>DMS (C) (%)</b>					<b>194</b>
<b>DMS (D) (%)</b>					<b>275</b>
<b>DMS (E) (%)</b>					<b>242</b>
					<b>274</b>

<sup>a</sup>Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste t (P<0,05), sendo que letras minúsculas a direita (a, b) comparam médias de doses de um mesmo herbicida, em uma mesma cultivar; letras maiúsculas a direita (A, B, C) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em uma mesma cultivar; e, letras maiúsculas a esquerda (R, S e T, U) comparam médias de herbicidas em uma mesma dose, em cultivares diferentes.

<sup>b</sup>Asterisco ao lado direito dos valores significa diferença significativa (P<0,05) em relação à testemunha com infestação e asterisco ao lado esquerdo indica diferença significativa (P<0,05) em relação à testemunha sem infestação.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados obtido na análise de variância.

<sup>d</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias de: (A) doses de um mesmo herbicida, numa mesma cultivar; (B) herbicidas em uma mesma dose, numa mesma cultivar; (C) doses de um herbicida em cultivares diferentes; (D) quaisquer cultivares, herbicidas e doses; e, (E) herbicidas em uma mesma dose com as testemunhas com ou sem infestação, numa mesma cultivar.

A maioria dos herbicidas residuais propiciou aumento do rendimento de grãos da cultura em relação à TCI. Apenas as plantas nas parcelas aspergidas com dimethenamid, em IPR Graúna e, pendimethalin, em UTF-06, não obtiveram valor distinto dessa testemunha. Convém destacar que nenhuma das parcelas contendo herbicidas residuais, independente da dose ou da cultivar, obteve rendimento de grãos equivalente à TSI (Tabela 17).

Os tratamentos com trifluralin proporcionaram maior incremento do rendimento de grãos em relação aos demais herbicidas, na maioria das comparações entre os mesmos. Notou-se que, na média das doses, houve incremento de mais de três e 13,5 vezes do valor dessa variável, para as cultivares IPR Graúna e UFT-06, respectivamente (Tabela 17).

Comparando-se as duas cultivares de feijão comum, constata-se que, das oito comparações possíveis, o rendimento de grãos foi maior em duas situações na cultivar IPR Graúna do que na UFT-06, menor em duas situações e não foi diferente em quatro situações (Tabela 17). Isso indica que o efeito dos herbicidas sobre esta característica diferiu pouco entre as cultivares, ou que elas responderam de forma semelhante à mato-interferência.

#### **4.3 Interferência do papuã no feijoeiro comum (LE3)**

Na LE3 quantificou-se o impacto do nível de infestação do papuã sobre o rendimento de grãos de feijão comum e seus componentes da produção. Para isso, utilizaram-se dados de dois experimentos, nos quais foram avaliadas três variáveis da infestação desta infestante e cinco relativas ao desempenho da cultura. Os resultados obtidos nestes experimentos serão apresentados a seguir em dois grupos, que incluem as análises de regressão e as análises de trilha, respectivamente.

### 4.3.1 Impacto do papuã em feijão comum

O uso de doses de herbicidas residuais resultou em distintas densidades de papuã entre as unidades experimentais. Verificou-se que a densidade dessa infestante variou entre zero a mais de 1000 plantas  $m^{-2}$  entre as parcelas, nas duas cultivares de feijão comum (Figura 4). Convém destacar que as densidades de papuã não foram estáticas durante todo o ciclo da cultura, ou seja, houve reinfestação das parcelas com o passar do tempo.

Em ambos os experimentos, não se observaram injúrias visuais nas plantas de feijão comum nas parcelas onde foram aspergidos os diferentes herbicidas residuais. Em outras palavras, nenhum herbicida, mesmo quando aplicado na maior dose testada, causou fitointoxicação aparente visual das plantas em relação à testemunha. Isto sugere que as diferenças observadas não foram determinadas pelos herbicidas residuais, ou que estes produtos exerceram apenas efeito indireto sobre a cultura.

As diferentes populações de papuã distribuídas na área experimental exerceram distintos níveis de interferência sobre a cultura e, por consequência, interferiram no desempenho da cultura. De fato, verificou-se que o incremento de densidade do papuã causou de 83% a 90% da variação da produção de grãos, nas duas cultivares de feijão comum (Figura 4). Isto evidencia que praticamente toda variabilidade do rendimento de grãos e seus componentes associou-se ao efeito do nível de infestação desta planta infestante.

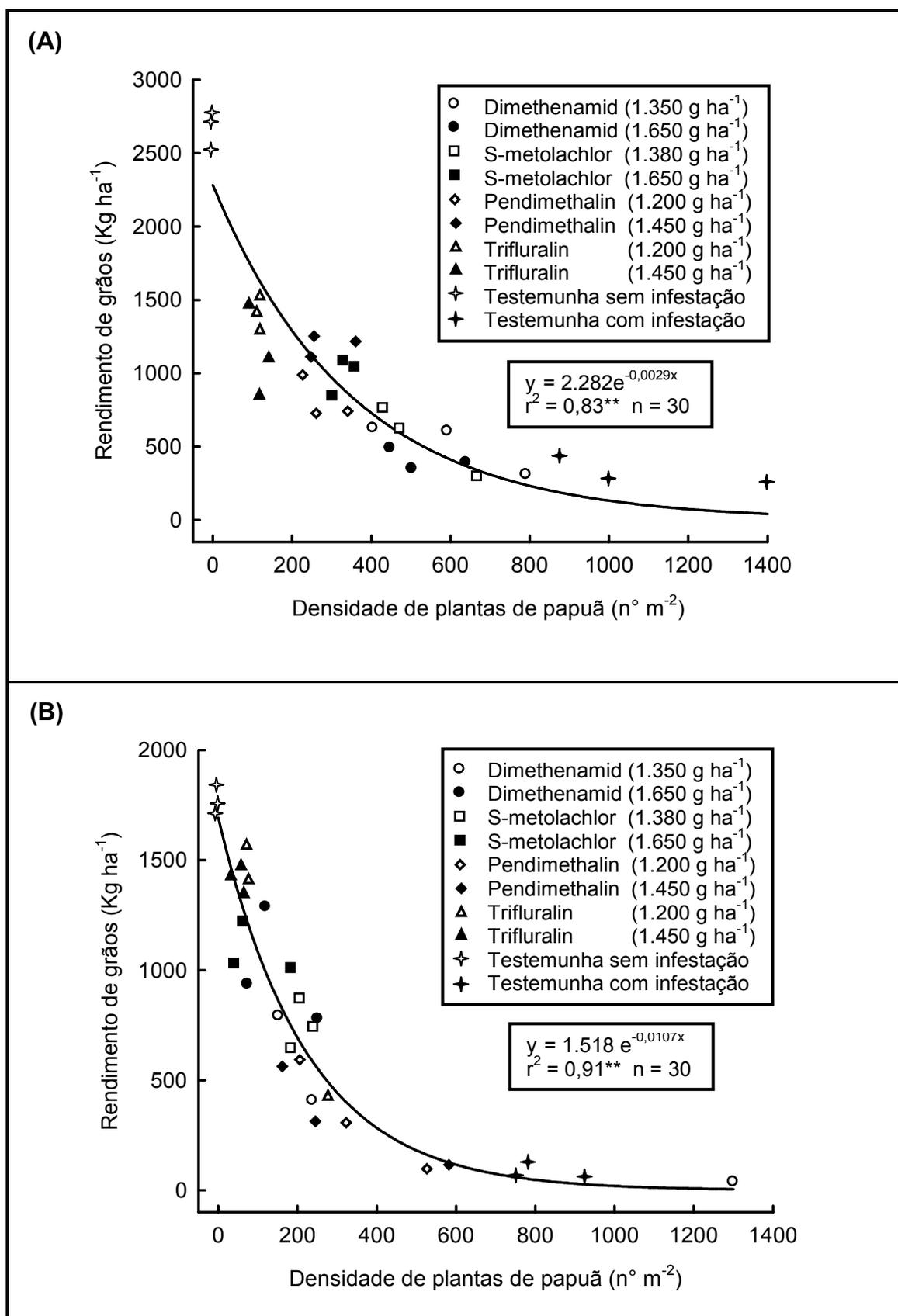


FIGURA 4. Rendimento de grãos nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' (A) e 'UTF-06' (B) em função da densidade de papuã, aos 20 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

A análise de variância dos dados pelo teste F demonstrou efeito significativo do nível de infestação do papuã sobre o rendimento de grãos de feijão comum e seus componentes. Deste modo, realizaram-se análises de regressão entre os níveis crescentes desta espécie daninha e as respostas das plantas do feijoeiro comum (Tabelas 18 e 19). Estes resultados indicam que os efeitos avaliados nas plantas de feijão comum estão significativamente relacionados com o aumento do nível de infestação do papuã.

#### **4.3.1.1 Impacto na densidade de plantas**

A densidade de plantas de feijão comum não foi alterada devido ao nível de infestação de papuã. De fato, não se detectou significância mínima nos parâmetros das regressões ajustadas entre os níveis de infestação desta planta daninha e a população da cultura. Neste caso, associou-se o valor da densidade de plantas (plantas  $m^{-2}$ ) ao número de legumes planta<sup>-1</sup>, o que resultou na variável número de legumes  $m^{-2}$ .

#### **4.3.1.2 Impacto no número de legumes por área**

Constatou-se diminuição exponencial do número de legumes  $m^{-2}$  em função do aumento do nível de infestação de papuã na cultura, para as duas cultivares de feijão comum (Tabelas 18 e 19). Verificou-se redução do valor desta variável em até 58% na cultivar IPR Graúna e até 80% em UTF-06 em relação à situação sem infestação (Figuras 5 e 6). Assim, esta infestante determinou grande parte da variação no número legumes  $m^{-2}$ .

Cerca de 600 e 300 plantas  $m^{-2}$  de papuã, aos 20 DAE, foram suficientes para diminuir o número legumes  $m^{-2}$  na ordem de 50% ( $C_{50}$ ), nas cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente. Observa-se que, nesta avaliação,

aproximadamente 14 e 6 g m<sup>-2</sup> da massa das plantas desidratadas causaram efeito equivalente, para as mesmas cultivares (Tabela 18). IPR Graúna foi, assim, menos afetada pela matointerferência, comparada à UTF-06.

TABELA 18. Valores dos parâmetros das equações<sup>a</sup> de regressão usadas para determinar a interferência do papuã sobre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', aos 20 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Variáveis	Cultivares	Parâmetros <sup>a</sup>			r <sup>2</sup>
		a	b	C <sub>50</sub> <sup>b</sup>	
----- <b>Rendimento de grãos</b> -----					
Densidade	IPR Graúna	2.282	-0,003	242,6	0,83**
	UTF-06	1.691	-0,005	155,4	0,91**
Massa fresca	IPR Graúna	2.054	-0,042	16,5	0,64**
	UTF-06	1.518	-0,069	9,9	0,83**
Massa desidratada	IPR Graúna	2.042	-0,155	3,3	0,65**
	UTF-06	1.516	-0,247	2,8	0,83**
----- <b>Número de legumes m<sup>-2</sup></b> -----					
Densidade	IPR Graúna	219	-0,001	623,4	0,72**
	UTF-06	216	-0,002	299,6	0,84**
Massa fresca	IPR Graúna	196	-0,012	58,9	0,48*
	UTF-06	198	-0,031	22,6	0,80**
Massa desidratada	IPR Graúna	200	-0,049	14,2	0,53**
	UTF-06	199	-0,110	6,3	0,80**
----- <b>Número de grãos legumes<sup>-1</sup></b> -----					
Densidade	IPR Graúna	4,7	-0,001	388,3	0,69**
	UTF-06	5,1	-0,002	375,8	0,72**
Massa fresca	IPR Graúna	4,3	-0,009	74,0	0,51**
	UTF-06	4,8	-0,024	29,8	0,70**
Massa desidratada	IPR Graúna	4,4	-0,040	17,4	0,54**
	UTF-06	4,8	-0,085	8,2	0,70**
----- <b>Massa do grão</b> -----					
Densidade	IPR Graúna	190	-0,029	>1400,0	0,75**
	UTF-06	152	-0,012	>1400,0	0,84**
Massa fresca	IPR Graúna	187	-0,334	> 94,4	0,64**
	UTF-06	151	-0,164	> 77,2	0,78**
Massa desidratada	IPR Graúna	188	-1,450	> 22,6	0,67**
	UTF-06	151	-0,561	> 23,2	0,75**

<sup>a</sup>Equação logística [ $y = (ae^{-bx})$ ] para rendimento de grãos, número de legumes m<sup>-2</sup> e número de grãos legume<sup>-1</sup>; e, equação linear simples [ $y = (a - bx)$ ] para peso do grão.

<sup>b</sup>Infestação necessária para reduzir em 50% o valor da assíntota máxima das curvas de regressão, em valor numérico correspondente à variável da planta daninha sob análise.

<sup>c</sup>Coefficiente de associação (ou coeficiente de determinação) entre as variáveis sob análise.

<sup>d</sup>Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Os valores de  $C_{50}$  obtidos aos 40 DAE foram, de forma geral, superiores numericamente em relação aos obtidos aos 20 DAE. Isto mostra que maior nível de infestação foi necessário para reduzir o número de legumes  $m^{-2}$  na segunda época avaliação, comparada à primeira época (Tabela 19).

TABELA 19. Valores dos parâmetros das equações<sup>a</sup> de regressão usadas para determinar a interferência do papuã sobre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', aos 40 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Variáveis	Cultivares	Parâmetros <sup>a</sup>			$r^2$
		a	b	$C_{50}$ <sup>b</sup>	
----- Rendimento de grãos -----					
Densidade	IPR Graúna	2.351	-0,003	257,8	0,93**
	UTF-06	1.702	-0,003	213,5	0,94**
Massa fresca	IPR Graúna	2.506	-0,009	79,1	0,97**
	UTF-06	1.896	-0,007	94,0	0,88**
Massa desidratada	IPR Graúna	2.507	-0,031	22,2	0,97**
	UTF-06	1.892	-0,027	26,1	0,88**
----- Número de legumes $m^{-2}$ -----					
Densidade	IPR Graúna	226	-0,001	622,5	0,82**
	UTF-06	219	-0,002	388,8	0,86**
Massa fresca	IPR Graúna	238	-0,004	173,8	0,86**
	UTF-06	249	-0,005	138,9	0,88**
Massa desidratada	IPR Graúna	238	-0,014	48,8	0,86**
	UTF-06	248	-0,018	39,4	0,87**
----- Número de grãos legumes <sup>-1</sup> -----					
Densidade	IPR Graúna	4,9	-0,001	368,4	0,82**
	UTF-06	5,3	-0,002	355,6	0,74**
Massa fresca	IPR Graúna	5,2	-0,004	197,7	0,90**
	UTF-06	5,7	-0,409	169,9	0,66**
Massa desidratada	IPR Graúna	5,2	-0,013	16,5	0,87**
	UTF-06	5,7	-0,015	10,1	0,78**
----- Massa do grão -----					
Densidade	IPR Graúna	192	-0,034	> 1.000,0	0,76**
	UTF-06	152	-0,013	> 976,0	0,75**
Massa fresca	IPR Graúna	194	-0,125	> 266,4	0,74**
	UTF-06	154	-0,041	> 304,1	0,70**
Massa desidratada	IPR Graúna	194	-0,444	> 74,6	0,74**
	UTF-06	154	-0,154	> 85,5	0,70**

<sup>a</sup>Equação logística [ $y = (ae^{-bx})$ ] para rendimento de grãos, número de legumes  $m^{-2}$  e número de grãos legume<sup>-1</sup>; e, equação linear simples [ $y = (a - bx)$ ] para peso do grão.

<sup>b</sup>Infestação necessária para reduzir em 50% o valor da assíntota máxima das curvas de regressão, em valor numérico correspondente à variável da planta daninha sob análise.

<sup>c</sup>Coefficiente de associação (ou coeficiente de determinação) entre as variáveis sob análise.

<sup>d</sup>Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

### 4.3.1.3 Impacto no número de grãos por legume

O incremento do nível de infestação do papuã reduziu de forma exponencial o número de grãos  $\text{legume}^{-1}$  nas duas cultivares de feijão comum, em ambas as avaliações (Tabelas 18 e 19). Notou-se que o papuã determinou variação entre aproximadamente 60 e 70% do valor desta variável, em ambas as cultivares de feijão comum (Figuras 5 e 6). Estes resultados assemelham-se àqueles apresentados para o número de legumes  $\text{m}^{-2}$ .

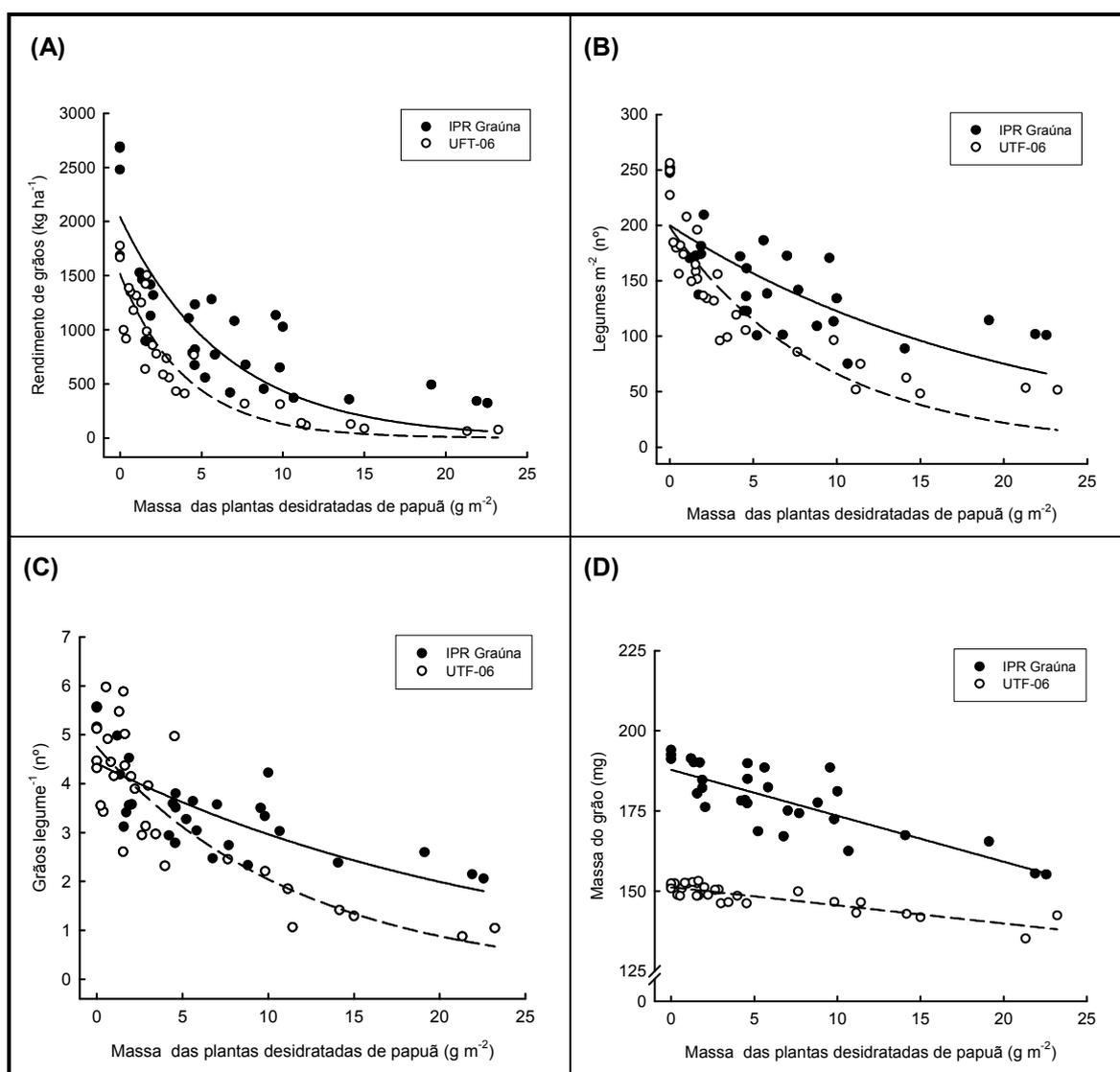


FIGURA 5. Rendimento de grãos (A), número de legumes  $\text{m}^{-2}$  (B), número de grãos  $\text{legume}^{-1}$  (C) e massa do grão (D) nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Os valores do  $C_{50}$ , com a massa das plantas frescas e desidratadas, foram numericamente superiores na cultivar IPR Graúna, em relação à UTF-06, nas duas épocas de avaliação (Tabelas 18 e 19). Nestes casos, a magnitude deste parâmetro foi até duas vezes superior para a primeira cultivar, comparada à segunda, o que indica diferenciação no grau de interferência do papuã sobre o número de grãos  $\text{legume}^{-1}$  em função da cultivar.

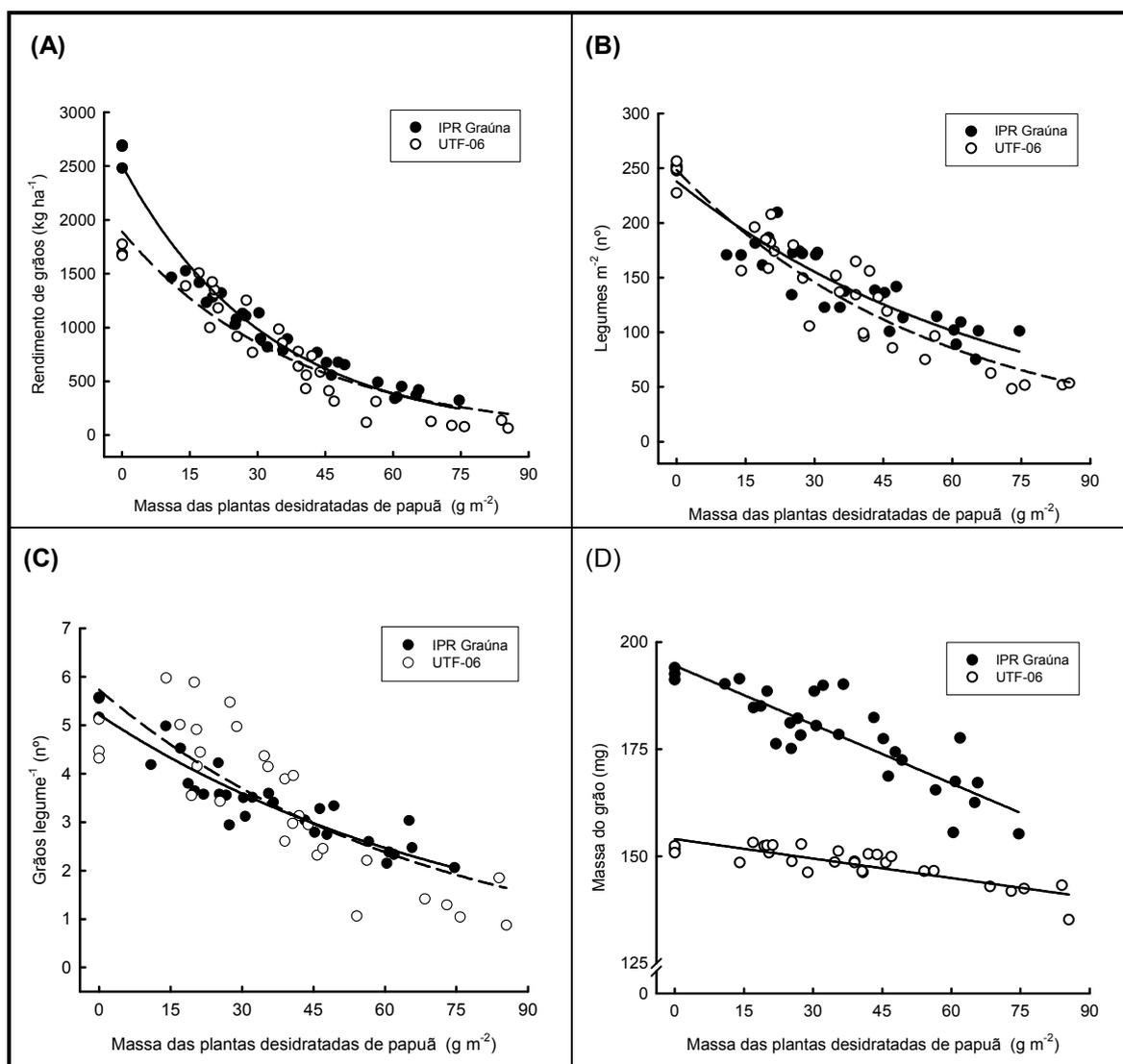


FIGURA 6. Rendimento de grãos (A), número de legumes  $\text{m}^{-2}$  (B), número de grãos  $\text{legume}^{-1}$  (C) e massa do grão (D) nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' em função da massa desidratada das plantas de papuã, aos 40 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Verificou-se que, para a densidade do papuã, os valores obtidos para o parâmetro  $C_{50}$  situaram-se entre 350 e 390 plantas  $m^{-2}$ , nas duas cultivares e em ambas as épocas de avaliação (Tabelas 18 e 19). Este resultado sugere que a massa das plantas de papuã foi mais importante do que a densidade de plantas na redução do número de grãos legume<sup>-1</sup> de feijão comum.

#### **4.3.1.4 Impacto na massa do grão**

Constatou-se que a massa do grão das cultivares de feijão comum foi reduzida de forma linear com o incremento da infestação de papuã, nas duas épocas de avaliação (Tabelas 18 e 19). Verificou-se redução do valor desta variável em até 20% na cultivar IPR Graúna e até 10% em UTF-06 em relação à situação sem infestação (Figuras 5 e 6). Este componente foi o menos afetado pela interferência, em comparação aos demais.

Não se obteve uma estimativa precisa do parâmetro  $C_{50}$  para a massa do grão de feijão comum. De fato, a interferência exercida pelo papuã, mesmo nos maiores níveis de infestação, não foi suficiente para reduzir o valor deste componente do rendimento na ordem de 50%. Neste caso, optou-se por apresentar os valores mínimos deste parâmetro, cujos valores obtidos foram pouco contrastantes entre as diferentes cultivares de feijão comum.

As declividades das regressões indicam que, em todas as situações, ocorreu redução mais acentuada da massa do grão na cultivar IPR Graúna, em relação à UTF-06 (Tabelas 18 e 19). Isto demonstra que a interferência exercida pelo papuã proporcionou maior redução da massa do grão nesta primeira cultivar, em comparação à segunda cultivar. Neste caso, também se constata diferenciação no grau de interferência em função do cultivar.

#### 4.3.1.5 Impacto no rendimento de grãos

A produção final, expressa em rendimento de grãos por unidade de área, foi reduzida de forma exponencial nas duas cultivares testadas, em função da infestação do papuã (Tabelas 18 e 19). Verificou-se redução da produtividade em até 88% na cultivar IPR Graúna e 96% na cultivar UTF-06, em relação à situação sem infestação de papuã (Figuras 5 e 6). Assim, o feito dessa planta determinou grande parte do rendimento de grãos da cultura.

Neste estudo, o rendimento potencial de grãos diferiu entre as duas cultivares de feijão comum testadas. Verificou-se produtividade máxima de cerca de 2.600 kg ha<sup>-1</sup> para IPR Graúna e, de 1.700 kg ha<sup>-1</sup> para UTF-06, o que representa variação de aproximadamente 50%. No entanto, ambos os genótipos responderam semelhantemente à interferência do papuã em termos de redução percentual da produtividade (Figuras 5 e 6).

O valor do C<sub>50</sub>, com base na avaliação feita aos 20 DAE, correspondeu a aproximadamente 250 plantas m<sup>-2</sup> para a cultivar IPR Graúna, enquanto que, para UTF-06, equivaleu a 150 plantas m<sup>-2</sup>. Nesta avaliação, as massas das plantas frescas e desidratadas também apresentaram C<sub>50</sub> superior nesta primeira cultivar, em comparação à segunda (Tabela 18). IPR Graúna foi, portanto, menos afetada pela interferência, em relação à UTF-06.

Na avaliação aos 40 DAE, os valores de C<sub>50</sub> foram, de maneira geral, distintos daqueles obtidos aos 20 DAE. Verifica-se que, para as massas das plantas frescas e desidratadas do papuã, os valores de C<sub>50</sub> foram inferiores na cultivar IPR Graúna, comparada à UTF-06. Mas, para a densidade do papuã, os valores deste coeficiente foram sempre numericamente superiores para a cultivar IPR Graúna, em comparação à UTF-06 (Tabela 19).

#### 4.3.1.6 Coeficientes de correlação entre as variáveis

Os coeficientes obtidos nas análises de correlação apresentaram valores negativos e altamente significativos. A magnitude desses coeficientes mostrou-se elevada na maioria das combinações entre as variáveis e os valores situaram-se entre -0,69 e -0,99 (Tabela 20). Estes valores negativos indicam que o aumento da infestação do papuã afetou inversamente o rendimento de grãos de feijão comum e os seus componentes.

As variáveis da infestação do papuã tiveram correlações elevadas com o rendimento de grãos de feijão comum, demonstrando que influenciaram, de algum modo, o valor desta característica. Os componentes da produtividade número de legumes  $m^{-2}$ , número de grãos legume $^{-1}$  e massa do grão também se associaram fortemente ao rendimento de grãos. Isso confirma o elevado grau de interferência do papuã sobre a cultura. (Tabela 20).

TABELA 20. Coeficientes de correlação entre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' e a infestação de papuã, aos 20 e 40 dias após e emergência. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Variáveis	Cultivares	DAE <sup>a</sup>	NLA <sup>b</sup>	NGL	MDG	RDG
			Coeficientes de correlação (r)			
Densidade	IPR Graúna	20	-0,86 <sup>**c</sup>	-0,83 <sup>**</sup>	-0,87 <sup>**</sup>	-0,91 <sup>**</sup>
	UTF-06	20	-0,91 <sup>**</sup>	-0,85 <sup>**</sup>	-0,92 <sup>**</sup>	-0,95 <sup>**</sup>
	IPR Graúna	40	-0,90 <sup>**</sup>	-0,91 <sup>**</sup>	-0,88 <sup>**</sup>	-0,96 <sup>**</sup>
	UTF-06	40	-0,93 <sup>**</sup>	-0,86 <sup>**</sup>	-0,87 <sup>**</sup>	-0,97 <sup>**</sup>
Massa fresca	IPR Graúna	20	-0,69 <sup>**</sup>	-0,71 <sup>**</sup>	-0,81 <sup>**</sup>	-0,81 <sup>**</sup>
	UTF-06	20	-0,89 <sup>**</sup>	-0,84 <sup>**</sup>	-0,89 <sup>**</sup>	-0,91 <sup>**</sup>
	IPR Graúna	40	-0,93 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>**</sup>	-0,86 <sup>**</sup>	-0,98 <sup>**</sup>
	UTF-06	40	-0,94 <sup>**</sup>	-0,81 <sup>**</sup>	-0,84 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>**</sup>
Massa desidratada	IPR Graúna	20	-0,73 <sup>**</sup>	-0,73 <sup>**</sup>	-0,83 <sup>**</sup>	-0,80 <sup>**</sup>
	UTF-06	20	-0,89 <sup>**</sup>	-0,84 <sup>**</sup>	-0,87 <sup>**</sup>	-0,91 <sup>**</sup>
	IPR Graúna	40	-0,95 <sup>**</sup>	-0,93 <sup>**</sup>	-0,86 <sup>**</sup>	-0,99 <sup>**</sup>
	UTF-06	40	-0,94 <sup>**</sup>	-0,88 <sup>**</sup>	-0,85 <sup>**</sup>	-0,94 <sup>**</sup>

<sup>a</sup>Dias após a emergência da cultura (DAE).

<sup>b</sup>Número de legumes  $m^{-2}$  (NLA), número de grãos legume $^{-1}$  (NGL), massa do grão (MDG) e rendimento de grãos (RDG) da cultura do feijão comum.

<sup>c</sup>Nível de significância não significativo (ns), significativo a 5% de probabilidade (\*) e significativo a 1% de probabilidade (\*\*).

### 4.3.2. Análises de trilha dos caracteres

Não se obteve ajuste nas regressões entre a densidade da cultura e os demais componentes da produção. De fato, os parâmetros das equações obtidas nestas análises de regressão apresentam nível de significância inferior ao limiar estabelecido nesta LE. Esta constatação evidencia que o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares avaliadas não foram alterados em função da densidade de feijão comum.

As regressões obtidas entre os demais caracteres avaliados foram altamente significativas (Tabela 21). Constatou-se que esses caracteres alteraram-se simultaneamente, ou seja, o incremento na magnitude de qualquer um teve efeito positivo sobre os demais. Estes resultados indicam uma relação de causa e efeito daqueles componentes da produção entre si e dos mesmos sobre o rendimento de grãos de feijão comum.

TABELA 21. Valores dos parâmetros das equações de regressão linear usadas para determinar a relação entre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Componentes	Cultivares	Parâmetros <sup>a</sup>		r <sup>2b</sup>	F <sup>c</sup>
		a	b		
<b>Rendimento de grãos</b>					
Legumes m <sup>-2</sup>	IPR Graúna	-911	11	0,89	129,6**
	UTF-06	-339	8	0,87	142,7**
Grãos legume <sup>-1</sup>	IPR Graúna	-1.218	643	0,87	79,4**
	UTF-06	-288	319	0,76	124,6**
Massa do grão	IPR Graúna	-7.025	45	0,57	43,3*
	UTF-06	-14.377	102	0,60	11,0
<b>Número de legumes m<sup>-2</sup></b>					
Grãos legume <sup>-1</sup>	IPR Graúna	7	41	0,66	30,5**
	UTF-06	41	28	0,48	57,5**
Massa do grão	IPR Graúna	-420	3	0,53	34,6**
	UTF-06	-1.580	12	0,61	45,0**
<b>Número de grãos legume<sup>-1</sup></b>					
Massa do grão	IPR Graúna	-9	<1	0,61	43,9**
	UTF-06	-36	<1	0,54	32,9**

<sup>a</sup>Equação de regressão do tipo linear [y = a - (b x)].

<sup>b</sup>Coefficiente de determinação entre as variáveis analisadas.

<sup>c</sup>Valor do teste 'F' da análise de variância entre as variáveis analisadas.

<sup>d</sup>Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

A análise de correlação entre caracteres indica que, nas duas cultivares, o número de legumes  $m^{-2}$  e número de grãos  $legume^{-1}$  obtiveram as maiores correlações com o rendimento de grãos. Por outro lado, a massa do grão apresentou os menores valores de correlações com o rendimento de grãos dentre todos os componentes da produção. Ressalta-se ainda as elevadas correlações obtidas entre os componentes da produção, o que evidencia que os mesmos alteraram-se conjuntamente (Tabela 22).

TABELA 22. Coeficientes de correlações entre o rendimento de grãos e seus componentes nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06'. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2009(10).

Variável	Cultivar	NGL <sup>a</sup>	MDG	RDG
NLA <sup>a</sup>	IPR Graúna	0,82 <sup>**b</sup>	0,73 <sup>**</sup>	0,94 <sup>**</sup>
	UTF-06	0,72 <sup>**</sup>	0,79 <sup>**</sup>	0,93 <sup>**</sup>
NGL	IPR Graúna	-	0,79 <sup>**</sup>	0,94 <sup>**</sup>
	UTF-06	-	0,74 <sup>**</sup>	0,90 <sup>**</sup>
MDG	IPR Graúna	-	-	0,76 <sup>**</sup>
	UTF-06	-	-	0,78 <sup>**</sup>
RDG <sup>a</sup>	IPR Graúna	-	-	-
	UTF-06	-	-	-

<sup>a</sup>Número de legumes  $m^{-2}$  (NLA), número de grãos  $legume^{-1}$  (NGL), massa do grão (MDG) e rendimento de grãos (RDG) da cultura do feijão comum.

<sup>b</sup>Valor significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

A análise de trilha permitiu detalhar as influências dos componentes da produção sobre o rendimento de grãos. Nesta análise, pode-se verificar que o número legumes  $m^{-2}$  e o número de grãos  $legume^{-1}$  causaram os maiores efeitos diretos e indiretos sobre o rendimento de grãos. Estes resultados são similares aos relatados na análise de correlação, ratificando que estes caracteres foram os mais determinantes do rendimento (Tabela 23).

TABELA 23. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos componentes número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL) e massa do grão (MDG) sobre o rendimento de grãos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<b>Efeito</b>	<b>Cultivar</b>	<b>Coefficiente</b>
<b>----- Efeito do número de legumes por área (NLA) -----</b>		
Direto	IPR Graúna	0,5628 <sup>**</sup>
	UTF-06	0,6828 <sup>**</sup>
Indireto via NGL	IPR Graúna	0.4060
	UTF-06	0.3139 <sup>**</sup>
Indireto via MDG	IPR Graúna	-0.0260 <sup>ns</sup>
	UTF-06	-0.0636 <sup>ns</sup>
Total (direto e indireto) (r) <sup>b</sup>	IPR Graúna	0.9428 <sup>**</sup>
	UTF-06	0.9331 <sup>**</sup>
<b>----- Efeito do número de grãos por legume (NGL) -----</b>		
Direto	IPR Graúna	0,5212 <sup>**</sup>
	UTF-06	0,5286 <sup>**</sup>
Indireto via MDG	IPR Graúna	-0.0252 <sup>ns</sup>
	UTF-06	-0.0630 <sup>ns</sup>
Total (direto e indireto) (r)	IPR Graúna	0.9334 <sup>**</sup>
	UTF-06	0.9014 <sup>**</sup>
Residual	IPR Graúna	0.4374
	UTF-06	0,4358
<b>----- Efeito da massa do grão (MDG) -----</b>		
Direto	IPR Graúna	-0,0702 <sup>ns</sup>
	UTF-06	-0,1815 <sup>ns</sup>
Total (direto) (r)	IPR Graúna	0.7622 <sup>**</sup>
	UTF-06	0.7865 <sup>**</sup>
Residual	IPR Graúna	0.6920
	UTF-06	0,6050

O número de legumes  $m^{-2}$  apresentou elevado efeito indireto sobre o rendimento de grãos através do número de grãos  $legume^{-1}$ , em ambas as cultivares de feijão comum avaliadas. De fato, mais de 40% do efeito total deste primeiro caractere correspondeu ao efeito indireto, o que demonstra haver uma forte associação entre estes caracteres. Salienta-se que este foi o único efeito indireto significativo do modelo (Figura 23).

A massa do grão não causou efeito direto sobre o rendimento de grãos em ambas as cultivares de feijão comum. De fato, os coeficientes de trilha deste caractere não atingiram a significância mínima exigida, o que indica reduzida contribuição para o rendimento de grãos. Verifica-se ainda que os

efeitos indiretos via massa do grão também não foram significativos em função fraca associação deste caractere com os demais (Figura 23).

#### **4.4 Nível crítico de dano do papuã no feijoeiro comum (LE4)**

Na LE4 avaliou-se o nível crítico de dano (NCD) do papuã na cultura do feijão comum. Para isso, utilizaram-se os dados três variáveis da infestação dessa planta e da produtividade do feijoeiro comum obtidos em dois experimentos distintos. A seguir, são descritos os principais resultados relevantes obtidos com essa LE. Além disso, existem informações adicionais nos anexos (Apêndices 14 a 25).

##### **4.4.1 Resultados comuns**

Os valores do teste F, obtidos nas análises de regressão não lineares, foram altamente significativos ( $p < 0,01$ ) em todas as cultivares de feijão comum, variáveis explicativas e modelos propostos. Os valores do teste t, obtidos na segmentação das regressões nos modelos 2 e 3, também apresentaram elevado nível de significância em todos os casos. Isso demonstra que as variáveis explicativas da infestação do papuã estão significativamente relacionadas com a perda de produção da cultura (Tabela 24).

Os coeficientes de associação ( $r^2$ ) indicam que, na maioria dos casos, houve boa capacidade de previsão das perdas de produção do feijoeiro comum por meio das equações de regressão. De fato, esses coeficientes tiveram valores relativamente elevados (0,68 a 0,98), o que demonstra que os dados ajustaram-se aos três modelos propostos. Este resultado confirma que todas as equações de regressão estimadas foram passíveis de serem utilizadas para o cálculo do NCD no presente estudo (Tabela 24).

TABELA 24. Valores dos parâmetros das equações<sup>a</sup> de três modelos utilizados para determinar o nível crítico de dano (NCD) do papuã nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06', com base em diferentes variáveis explicativas da infestação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Modelo <sup>a</sup>	Cultivar	DAE <sup>b</sup>	n <sup>c</sup>	Parâmetros <sup>a</sup>		r <sup>2d</sup>	NCD <sup>f</sup>
				a	b		
<b>Densidade de plantas de papuã</b>							
M1	IPR Graúna	20	27	94,3 (1,5)	127,1 (7,4)	0,91 <sup>**e</sup>	0,7 (0,2)
	UTF-06	20	27	120,9 (2,9)	210,2 (12,3)	0,90 <sup>**</sup>	0,6 (0,2)
	IPR Graúna	40	27	101,6 (1,1)	181,1 (6,1)	0,97 <sup>**</sup>	0,6 (0,1)
	UTF-06	40	27	137,8 (3,0)	372,4 (21,6)	0,94 <sup>**</sup>	0,4 (0,2)
M2	IPR Graúna	20	9	2.611,7 (39,0)	-10,6 (0,1)	0,92 <sup>**</sup>	0,4 (0,1)
	UTF-06	20	24	1.577,1 (23,0)	-4,2 (0,1)	0,82 <sup>**</sup>	0,3 (0,1)
	IPR Graúna	40	8	2.569,7 (36,8)	-9,0 (1,4)	0,92 <sup>**</sup>	0,4 (0,1)
	UTF-06	40	25	1.573,8 (17,6)	-2,9 (0,1)	0,90 <sup>**</sup>	0,2 (<0,1)
M3	IPR Graúna	20	9	---	0,4 (<0,1)	0,93 <sup>**</sup>	0,4 (<0,1)
	UTF-06	20	24	---	0,3 (<0,1)	0,81 <sup>**</sup>	0,3 (<0,1)
	IPR Graúna	40	7	---	0,4 (<0,1)	0,93 <sup>**</sup>	0,4 (<0,1)
	UTF-06	40	25	---	0,2 (<0,1)	0,87 <sup>**</sup>	0,2 (<0,1)
<b>Massa das plantas frescas de papuã</b>							
M1	IPR Graúna	20	27	82,7 (1,4)	3,7 (0,3)	0,84 <sup>**</sup>	22,4 (4,8)
	UTF-06	20	27	108,1 (2,7)	8,6 (0,6)	0,83 <sup>**</sup>	12,6 (2,5)
	IPR Graúna	40	27	117,7 (1,3)	91,5 (2,5)	0,98 <sup>**</sup>	1,3 (0,1)
	UTF-06	40	27	325,8 (35,0)	643,0 (90,1)	0,91 <sup>**</sup>	0,5 (0,3)
M2	IPR Graúna	20	10	2.524,9 (56,6)	-208,3 (11,1)	0,86 <sup>**</sup>	8,2 (1,2)
	UTF-06	20	21	1.510,1 (29,0)	-82,8 (4,2)	0,68 <sup>**</sup>	5,5 (0,8)
	IPR Graúna	40	7	2.582,9 (46,1)	-21,5 (0,7)	0,95 <sup>**</sup>	0,8 (0,1)
	UTF-06	40	24	1.804,2 (20,7)	-8,1 (0,2)	0,91 <sup>**</sup>	0,4 (0,1)
M3	IPR Graúna	20	10	---	8,4 (1,1)	0,87 <sup>**</sup>	8,4 (1,1)
	UTF-06	20	21	---	6,0 (0,8)	0,80 <sup>**</sup>	6,0 (0,8)
	IPR Graúna	40	7	---	0,8 (0,1)	0,95 <sup>**</sup>	0,8 (0,1)
	UTF-06	40	25	---	0,4 (0,3)	0,87 <sup>**</sup>	0,4 (0,3)
<b>Massa das plantas desidratadas de papuã</b>							
M1	IPR Graúna	20	27	83,3 (1,4)	1,0 (0,1)	0,85 <sup>**</sup>	83,3 (19,6)
	UTF-06	20	27	108,0 (2,7)	2,4 (0,2)	0,82 <sup>**</sup>	45,0 (8,5)
	IPR Graúna	40	27	117,9 (1,3)	25,8 (0,7)	0,98 <sup>**</sup>	4,6 (0,4)
	UTF-06	40	27	324,3 (35,2)	178,3 (25,3)	0,91 <sup>**</sup>	1,8 (0,9)
M2	IPR Graúna	20	9	2.587,9 (45,8)	-843,9 (32,3)	0,90 <sup>**</sup>	32,6 (3,7)
	UTF-06	20	21	1.503,7 (29,8)	-293,4 (15,8)	0,68 <sup>**</sup>	19,5 (2,9)
	IPR Graúna	40	7	2.568,7 (31,2)	-71,4 (2,4)	0,94 <sup>**</sup>	2,8 (0,3)
	UTF-06	40	25	1.788,6 (20,7)	-28,3 (0,6)	0,91 <sup>**</sup>	1,6 (0,1)
M3	IPR Graúna	20	10	---	31,1 (4,0)	0,87 <sup>**</sup>	31,1 (4,0)
	UTF-06	20	21	---	22,2 (2,7)	0,58 <sup>**</sup>	22,2 (2,7)
	IPR Graúna	40	7	---	3,0 (1,0)	0,96 <sup>**</sup>	3,0 (1,0)
	UTF-06	40	25	---	1,5 (0,1)	0,91 <sup>**</sup>	1,5 (0,1)

<sup>a</sup>Modelo 1 (M1) indica a equação hiperbólica  $[y=(ax)/(b+x)]$  com base nos dados normalizados; Modelo 2 (M2) indica a equação linear simples  $[y=(a-bx)]$  com base nos dados originais; e, Modelo 3 (M3) indica a equação linear simples  $[y=(bx)]$  com base nos dados normalizados. Valores representados entre parênteses indicam o erro padrão para cada parâmetro estimado.

<sup>b</sup>Dias após a emergência da cultura do feijão comum.

<sup>c</sup>Número de dados incluídos em cada análise de regressão.

<sup>d</sup>Coefficiente de associação dos dados em cada análise de regressão.

<sup>e</sup>Coefficiente significativo a 1% de probabilidade (\*\*) do erro experimental.

<sup>f</sup>Perda percentual da produtividade de grãos causada pela interferência do papuã.

#### 4.4.2 Modelo 1 (Modelo hiperbólico)

O modelo hiperbólico previu adequadamente a perda de produção da cultura do feijão comum (Figuras 7 a 9). Os valores obtidos de  $r^2$  foram, na média das variáveis da infestação, de 0,93, 0,90 e 0,89, respectivamente, para a densidade de plantas (DP), massa das plantas frescas (MPF) e massa das plantas desidratadas de papuã (MPD). Cabe observar que a qualidade do ajuste diferiu em função da cultivar de feijão comum e da época de avaliação da infestação do papuã (Tabela 24).

Os valores de  $a_{M1}$  (parâmetro  $a$  calculado com base no Modelo 1), apresentaram magnitude relativamente elevada e, na maioria das situações, foram superestimados (>100%) pelo modelo. De fato, somente na avaliação realizada aos 20 DAE e na cultivar IPR Graúna se obtiveram regressões com estimativa da assíntota inferior a 100% (Tabela 24). Cabe salientar que, no presente trabalho, não se limitou o valor da assíntota para se preservar a integridade da estimativa dos demais parâmetros do modelo.

Os valores de  $b_{M1}$  (parâmetro  $b$  calculado com base no Modelo 1), que indica a infestação do papuã que reduz a produção da cultura em 50%, diferiram numericamente entre as cultivares. Para a variável DP, aos 20 DAE, o valor desse parâmetro foi de 127 e 210 plantas  $m^{-2}$  de papuã, para as cultivares IPR Graúna e UTF-06, respectivamente. A mesma análise, feita com a MPD, indica que o valor do  $b_{M1}$  equivaleu a 1,0 e 2,4 g  $m^{-2}$  de papuã, para as mesmas cultivares descritas, respectivamente (Tabela 24).

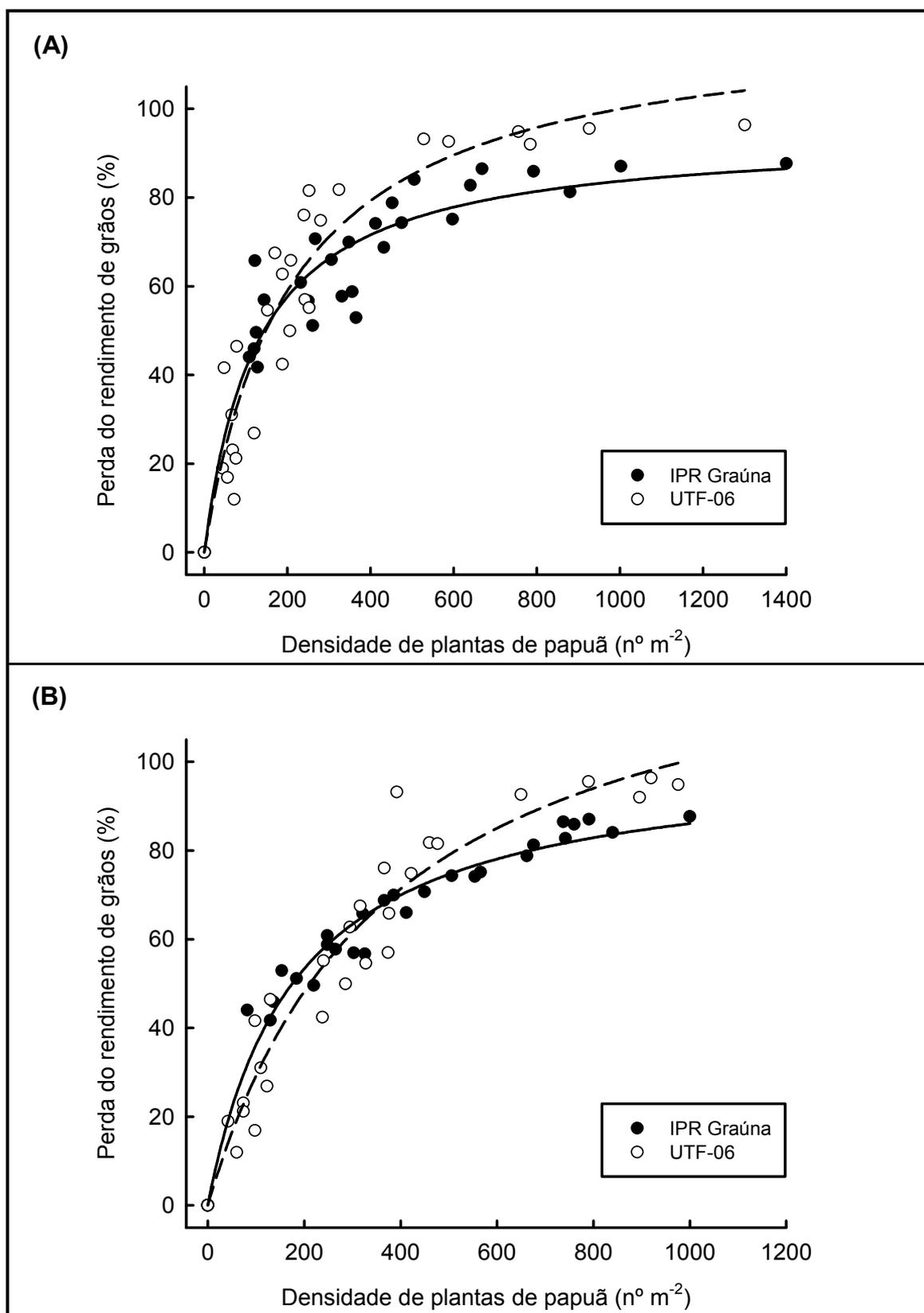


FIGURA 7. Perda do rendimento de grãos de feijão comum nas cultivares 'IPR Graúna' (●) e 'UTF-06' (○) em função da densidade de plantas papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

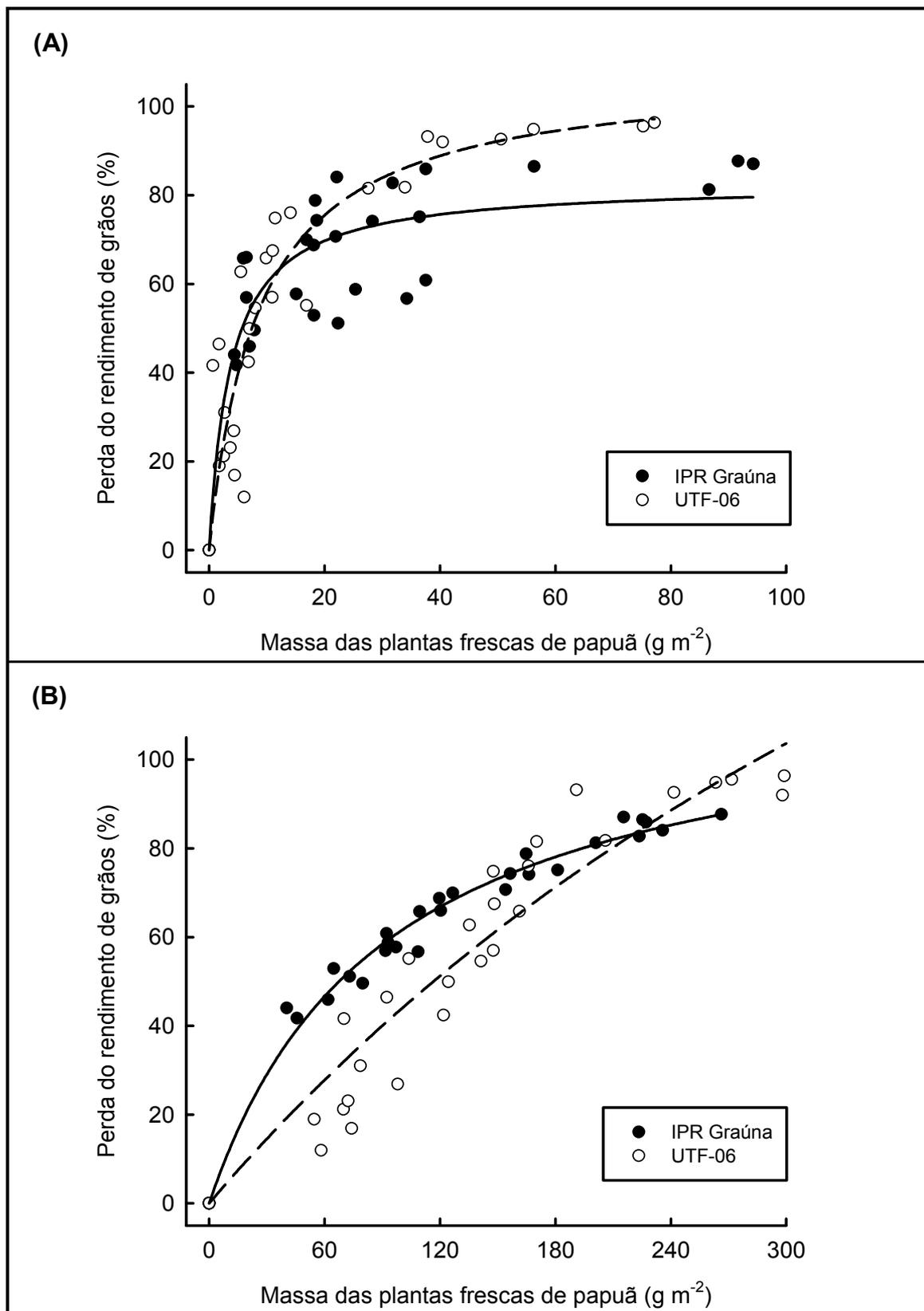


FIGURA 8. Perda do rendimento de grãos de feijão comum nas cultivares 'IPR Graúna' (●) e 'UTF-06' (○) em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

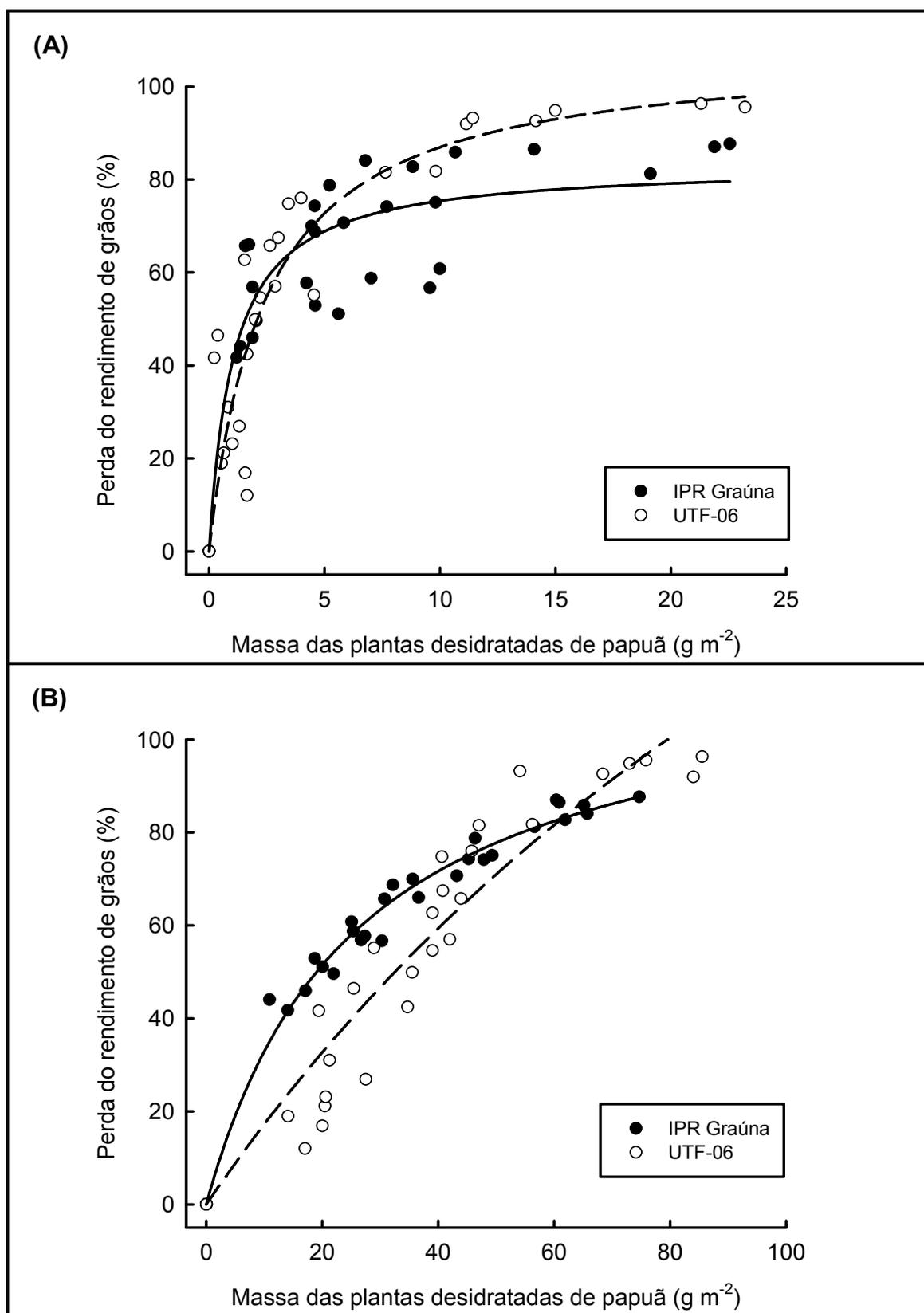


FIGURA 9. Perda do rendimento de grãos de feijão comum nas cultivares 'IPR Graúna' (●) e 'UTF-06' (○) em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

O nível crítico de dano ( $NCD_{M1}$ ), obtido pela razão entre  $a_{M1}$  e  $b_{M1}$ , variou entre 0,4 a 0,7; 0,5 a 22,4; e, 1,8 a 83,3, para as variáveis explicativas DP, MPF e MPD, respectivamente. Os  $NCD_{M1}$  calculados com base na DP não apresentaram diferenças numéricas entre si; mas, aqueles calculados com base nas variáveis MPF e MPD as apresentaram. Nesses casos, notou-se que os  $NCD_{M1}$  foram maiores na cultivar IPR Graúna do que em UTF-06, assim como foram maiores nas avaliações da infestação do papuã feitas aos 20 DAE, em relação àquelas realizadas aos 40 DAE (Tabela 24).

#### 4.4.3 Modelos 2 e 3 (Modelos lineares)

Quando os dados foram ajustados aos modelos lineares também se observou adequada capacidade de previsão das perdas de produção de grãos do feijoeiro comum (Apêndice 14 a 24). De fato, os valores de  $r^2$  obtidos foram elevados, situando-se entre 0,58 e 0,98, além de apresentarem elevado nível de significância ( $p < 0,01$ ) (Tabela 24). Destaca-se que o valor do ajuste dos dados aos modelos lineares variou de acordo com a cultivar de feijão comum e época de avaliação da infestação do papuã

No modelo 2, o parâmetro  $a_{M2}$ , que estima a máxima produção de grãos, diferiu entre as duas cultivares testadas. Esse parâmetro foi estimado em cerca de 2.600 kg ha<sup>-1</sup> para IPR Graúna e em 1.700 kg ha<sup>-1</sup> para UTF-06, o que representa uma variação superior a 50%. Este resultado reflete a produtividade de grãos potencial de cada genótipo, em razão deste modelo usar somente os dados originais das variáveis (Tabela 24). Vale lembrar que, diferentemente do modelo 2, o modelo 3 apresenta dados normalizados e, como consequência, o valor do parâmetro  $a_{M3}$  equivale a zero.

O impacto unitário ( $b_{M2}$ ) e percentual ( $b_{M3}$ ) da DP, MPF e MPD do papuã sobre o rendimento de grãos diferiu entre cultivares e épocas de avaliação. Observou-se que tanto os valores de  $b_{M2}$  como os de  $b_{M3}$  foram maiores para a cultivar IPR Graúna, em comparação à UTF-06, o que indica diferenciação no grau de interferência do papuã em função da cultivar. Da mesma forma, constatou-se que a magnitude desses parâmetros foi maior nas avaliações realizadas aos 20 DAE, em relação aos 40 DAE (Tabela 24).

Os valores dos  $NCD_{M2}$ , com base no modelo 2, apresentaram magnitude variando entre 0,2 a 0,4; 0,4 a 8,2; e, 1,6 a 32,6, respectivamente, para as variáveis DP, MPF e MPD do papuã. Os  $NCD_{M3}$ , com base no modelo 3, não diferiram daqueles obtidos para o modelo 2, ou seja, ambos os modelos assemelharam-se na estimativa desse índice. Vale destacar que, assim como no modelo hiperbólico, os valores obtidos com base nos modelos 2 e 3 diferiram entre cultivares e épocas de avaliação (Tabela 24).

#### **4.4.4 Comparação entre cultivares**

Os três modelos testados previram maior impacto do papuã sobre a cultivar IPR Graúna do que em UTF-06. De fato, ao se comparar as cultivares, verificou-se que os valores estimados para o NCD foram sempre superiores na primeira cultivar, em relação à segunda. Tomando-se como exemplo a variável MPD, avaliada aos 20 DAE, os valores do NCD foram cerca de 85%, 67% e 40% superiores para IPR Graúna, comparada à UTF-06, para os modelos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 24).

O valor do parâmetro  $b_{M1}$ , calculado com base no Modelo 1, pode ser usado de forma análoga ao NCD para comparar o impacto do papuã sobre as duas cultivares de feijão comum. Com efeito, notou-se que para todas as

situações avaliadas, o valor do  $b_{M1}$  teve menor valor para a primeira cultivar, em comparação à segunda (Tabela 24). Portanto, nas condições deste estudo, a cultivar UTF-06 sempre teve maior habilidade competitiva com as plantas de papuã em comparação à cultivar IPR Graúna.

#### **4.4.5 Comparação entre variáveis explicativas**

A utilização da DP do papuã, avaliada aos 20 e 40 DAE, como variável explicativa das perdas de rendimento de grãos permitiu ajuste satisfatório para ambas as cultivares de feijão comum. O ajuste propiciado por essa variável, avaliado com base na magnitude do  $r^2$ , variou de 0,81 a 0,97 entre datas de avaliação e cultivares testadas (Tabela 24). Esses resultados mostram que a utilização da DP foi apropriada para se estimar a magnitude da interferência do papuã na cultura do feijão comum.

As variáveis MPF e MPD também propiciaram ajustes adequados, com valores de  $r^2$  variando de 0,58 a 0,98. Todavia, na maioria dos casos, os valores obtidos para o  $r^2$  nestas variáveis foram um pouco menores do que os obtidos para a variável DP de papuã (Tabela 24). Esses resultados denotam que as variáveis MPF e MPD tenderam a ser menos precisas para determinar as perdas de produção de grãos da cultura, em relação à DP.

A magnitude do ajuste da DP, MPF e MPD variou entre as avaliações da presença do papuã realizadas no início e no final do PCPI de infestação na cultura do feijão comum. Com efeito, verificou-se que, em média, o valor do  $r^2$  foi cerca de 12% superior nas avaliações realizadas aos 40 DAE, em comparação aos 20 DAE (Tabela 24). Essa variação do ajuste entre as épocas de avaliação sugere que a interferência imposta pelo papuã sobre a cultura modificou-se com o passar do tempo.

Na presente trabalho, observou-se modificação da massa individual do papuã em função da sua densidade populacional ao longo da estação de crescimento (Tabela 25). De fato, na primeira avaliação da infestação, realizada aos 20 DAE, não se notou relação de influência entre essas duas variáveis da infestação do papuã. Mas, na segunda avaliação da infestação, realizada aos 40 DAE, verificou-se relação exponencial entre a massa por planta e a densidade das plantas (Figura 10).

Vale destacar que, nas parcelas com elevada densidade populacional, observou-se até mesmo mortalidade visual aparente de plantas de papuã ao longo da estação de crescimento. Nestas situações, a população dessa infestante foi dinâmica ao longo do tempo, devido a ocorrência de morte de indivíduos em função da sua própria densidade. Assim, tanto a modificação da massa individual das plantas e quanto a mortalidade de plantas podem ter influenciado o ajuste dos dados entre épocas de avaliação.

TABELA 25. Valores dos parâmetros da equação<sup>a</sup> utilizada para determinar a relação entre a massa individual das plantas desidratadas de papuã e a sua densidade de plantas, em convivência com as cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06'. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Cultivar	DAE <sup>b</sup>	Parâmetros <sup>a</sup>		r <sup>2c</sup>	F <sup>d</sup>
		a	b		
IPR Graúna	20	0,01 (<0,01)	0,01 (<0,01)	0,00	1,0 <sup>ns</sup>
UTF-06	20	0,01 (<0,01)	0,05 (<0,01)	0,04	2,8 <sup>ns</sup>
IPR Graúna	40	0,29 (0,06)	0,19 (0,03)	0,63	44,0 <sup>**e</sup>
UTF-06	40	2,81 (0,54)	0,52 (0,12)	0,82	48,1 <sup>**</sup>

<sup>a</sup>Equação de regressão do tipo exponencial simples [ $Y=(aX^{-b})$ ], onde 'Y' e 'X' são as variáveis e 'a' e 'b' são os parâmetros da equação. Valores representados entre parênteses indicam o erro padrão para cada parâmetro estimado.

<sup>b</sup>Dias após a emergência da cultura do feijão comum.

<sup>c</sup>Coefficiente de associação dos dados em cada análise de regressão.

<sup>d</sup>Valor do teste 'F' para a regressão entre a massa e a densidade das plantas.

<sup>e</sup>Não significativo (ns) e significativo a 1% de probabilidade (\*\*) do erro experimental.

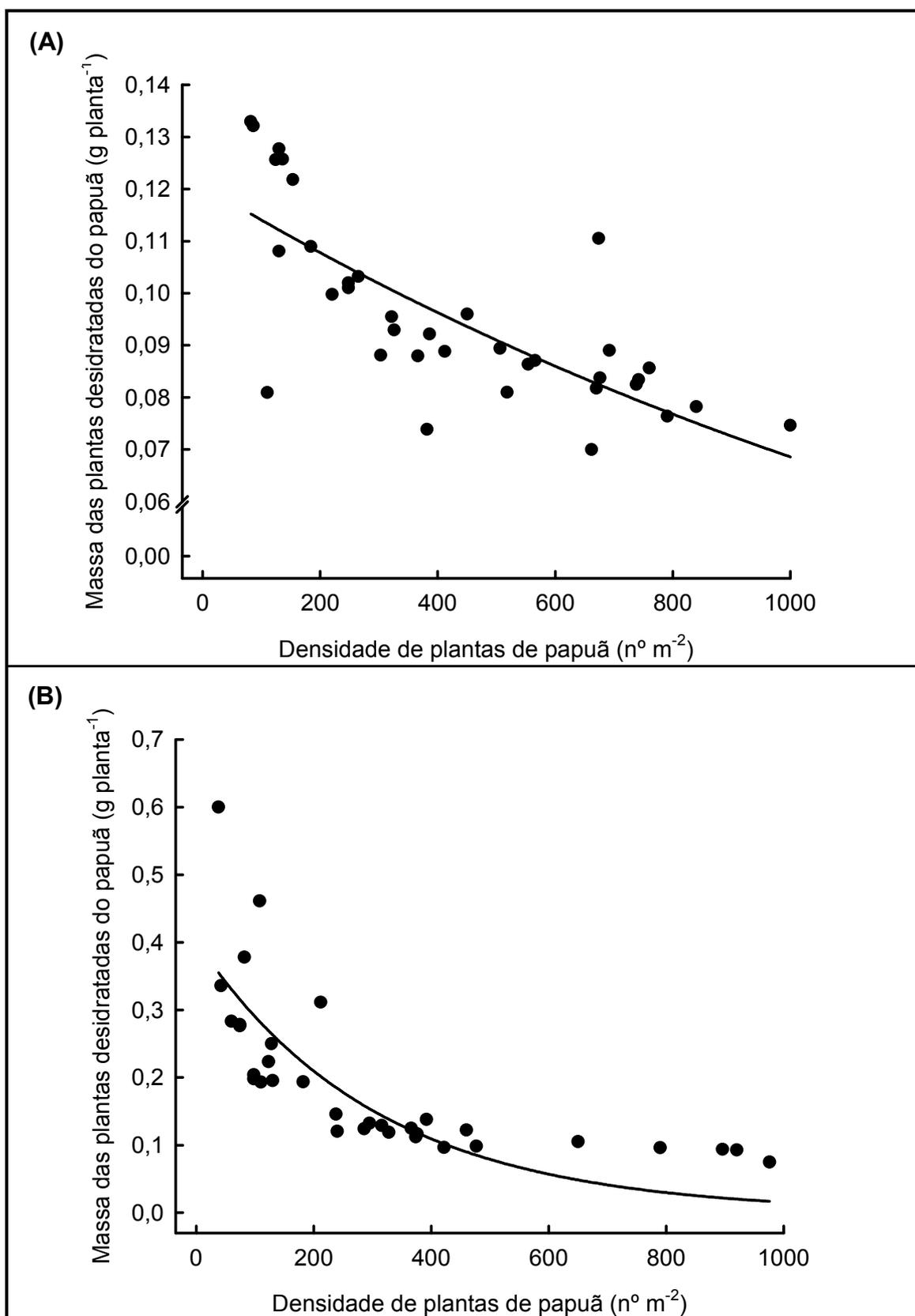


FIGURA 10. Redução da massa das plantas desidratadas do papuã em função da sua densidade de plantas, nas cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' (A) e 'UTF-06' (B), aos 40 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

#### **4.4.6 Comparação entre modelos matemáticos**

Os três modelos avaliados previram satisfatoriamente as perdas de produção da cultura do feijão comum. De fato, o ajuste propiciado pelos modelos foi relativamente elevado, com valores de  $r^2$  de 0,90, 0,87 e 0,86, para os modelos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 24). Esses resultados mostram que a utilização tanto do modelo hiperbólico como dos modelos lineares foi apropriada para se estimar a interferência na cultura.

O ajuste dos dados obtidos ao modelo 1 foi numericamente superior em relação aos modelos 2 e 3. Ao se compararem os quatro casos possíveis dentro de cada variável explicativa, constatou-se que o modelo 1 foi superior em três situações, para a variável DP e, em duas situações, para as variáveis MPF e MPD (Tabela 24). Vale salientar que, apesar de haver diferença numérica entre três modelos, a magnitude da diferença entre o maior e o menor valor foi de apenas 0,04 (4%).

#### **4.5 Controle do papuã com herbicidas gramínicos (LE5)**

Na LE5 avaliou-se a possibilidade de utilização de doses reduzidas de herbicidas aplicados em pós-emergência da cultura para controlar a infestação do papuã. Para isso, realizou-se um experimento, no qual se investigou a eficácia do controle da infestante em função de diversas doses de herbicidas gramínicos. Os resultados obtidos neste experimento serão apresentados a seguir em dois grupos, que incluem as análises de ordem agrônoma e econômica, respectivamente.

#### **4.5.1 Análises de ordem agrônômica**

A análise de variância dos dados através do teste F demonstrou interação significativa ( $p \leq 0,01$ ), entre os fatores 'herbicida' e 'dose', para todas as variáveis explicativas. Com isso, realizaram-se regressões entre as doses dos herbicida e a resposta das variáveis, ajustando-se os dados ao modelo log logístico de três parâmetros (Tabela 26). As análises de regressão permitiram determinar o impacto dos herbicidas testados sobre o papuã, assim como calcular a magnitude dos índices  $R_{50}$  e  $R_{95}$ .

Os valores do teste F, obtidos nas análises de regressão, apresentaram elevado nível de significância ( $p \leq 0,01$ ) para todas as variáveis explicativas da infestação do papuã e herbicidas testados. Os valores obtidos para os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) foram elevados para todas regressões entre doses dos herbicidas e resposta das variáveis. Esses resultados mostram que houve boa capacidade de determinação da eficácia dos herbicidas por meio das equações do modelo log logístico (Tabela 26).

##### **4.5.1.1 Densidade de plantas de papuã**

A densidade do papuã foi alterada de forma diferenciada em função do aumento da dose dos herbicidas (Tabela 26). Verificou-se que o incremento da dose de quaisquer herbicidas avaliados reduziu de forma sigmoideal a magnitude dessa variável explicativa (Figura 11A). Esses resultados indicam que a população desta infestante apresentou suscetibilidade diferencial em função da dose aplicada dos herbicidas gramínicos.

TABELA 26. Valores dos parâmetros da equação<sup>a</sup> utilizada para determinar o efeito de doses crescentes de herbicidas aplicados em pós-emergência da cultura sobre três variáveis explicativas da infestação do papuã e valores das doses necessárias para redução de 50 (R<sub>50</sub>) e 95% (R<sub>95</sub>) da magnitude das variáveis explicativas da infestação do papuã. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Herbicidas	Parâmetros da equação <sup>a</sup>			R <sub>50</sub> <sup>c</sup>	R <sub>95</sub> <sup>c</sup>	r <sup>2d</sup>	F <sup>e</sup>
	a	b	C <sub>50</sub> <sup>b</sup>				
<b>Densidade de plantas de papuã</b>							
Clethodim	323,4 (13,5)	1,6 (0,2)	18,7 (2,0)	18,0	>100,8	0,98	209,3 <sup>***f</sup>
Sethoxydim	320,9 (9,1)	1,4 (0,1)	22,8 (1,8)	42,2	>193,2	0,99	397,5 <sup>**</sup>
Fluazifop-p-butyl	327,5 (26,3)	1,7 (0,4)	21,2 (4,3)	53,0	>262,5	0,98	54,0 <sup>**</sup>
<b>Massa das plantas frescas de papuã</b>							
Clethodim	712,3 (38,7)	7,8 (0,9)	18,5 (1,5)	17,8	39,7	0,99	783,1 <sup>**</sup>
Sethoxydim	789,2 (130,5)	10,1 (2,4)	16,1 (4,7)	29,6	84,3	0,98	196,2 <sup>**</sup>
Fluazifop-p-butyl	665,7 (40,4)	5,1 (1,0)	19,0 (2,1)	47,5	85,0	0,99	258,7 <sup>**</sup>
<b>Massa das plantas desidratadas de papuã</b>							
Clethodim	180,9 (0,3)	2,8 (<0,1)	17,9 (0,1)	17,2	49,3	0,99	> 999,9 <sup>**</sup>
Sethoxydim	181,3 (3,3)	2,4 (0,1)	18,3 (0,7)	33,7	116,7	0,99	> 999,9 <sup>**</sup>
Fluazifop-p-butyl	181,4 (6,1)	3,2 (0,4)	16,2 (1,1)	40,5	101,5	0,99	437,2 <sup>**</sup>

<sup>a</sup>Equação de regressão do tipo log logístico [Y = a / (1 + ((X - C<sub>50</sub>)<sup>b</sup>))], onde 'Y' e 'X' são as variáveis e 'a', 'b' e 'C<sub>50</sub>' são os parâmetros da equação. Valores entre parênteses representam o erro padrão do parâmetro.

<sup>b</sup>Dose necessária para reduzir em 50% a magnitude da assíntota de máximo valor da curva de regressão, em valor percentual em relação a dose máxima registrada dos herbicidas testados para a cultura do feijão comum.

<sup>c</sup>Dose necessária para reduzir em 50 (R<sub>50</sub>) e 95% (R<sub>95</sub>) a magnitude da assíntota de máximo valor da curva de regressão, com valor representado em gramas do ingrediente ativo por hectare para cada um dos herbicidas testados.

<sup>d</sup>Coefficiente de determinação entre as doses dos herbicidas e as respostas das variáveis.

<sup>e</sup>Valor do teste 'F' para a regressão entre as doses dos herbicidas e as respostas das variáveis.

<sup>f</sup>Valor significativo a 1% de probabilidade (\*\*).

Os efeitos obtidos com os três herbicidas testados não apresentaram diferenças estatísticas entre si. De fato, detectou-se que os parâmetros da equação 'a', 'b' e 'C<sub>50</sub>' não diferiram numericamente entre os herbicidas clethodim, sethoxydim e fluzifop-p-butyl. Cabe destacar que esses parâmetros foram obtidos em análises com valores de dose normalizados em percentual em relação a dose máxima registrada (Tabela 26).

Nas parcelas onde não se aspergiram herbicidas (TCI) ocorreram em média 325 plantas m<sup>-2</sup> de papuã. Notou-se que, de forma geral, a partir da dose equivalente a 10% da máxima registrada, houve redução pronunciada do valor dessa variável em relação à TCI. Não se detectaram diferenças significativas entre as doses de 80 e 105% da máxima registrada, em todas as comparações entre os herbicidas testados (Figura 11A).

O valor do índice R<sub>50</sub>, com base na densidade de plantas do papuã, diferiu entre os três herbicidas. Com efeito, para se obter esse índice, necessitou-se de aproximadamente 18, 42 e 53 g i.a. ha<sup>-1</sup>, para o clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl, respectivamente. Estes resultados contrastam com o valores do parâmetro C<sub>50</sub>, onde as valores obtidos para os herbicidas não diferiram percentualmente entre si (Tabela 26).

Não se obteve uma estimativa precisa da dose ótima com base na variável densidade do papuã. De fato, a atividade exercida pelos herbicidas, mesmo nas maiores doses testadas, não foi suficiente para reduzir o valor dessa variável na ordem de 95% (R<sub>95</sub>). Neste caso, optou-se por apresentar os valores mínimos obtidos, cujas magnitudes foram numericamente contrastantes entre os três herbicidas (Tabela 26).

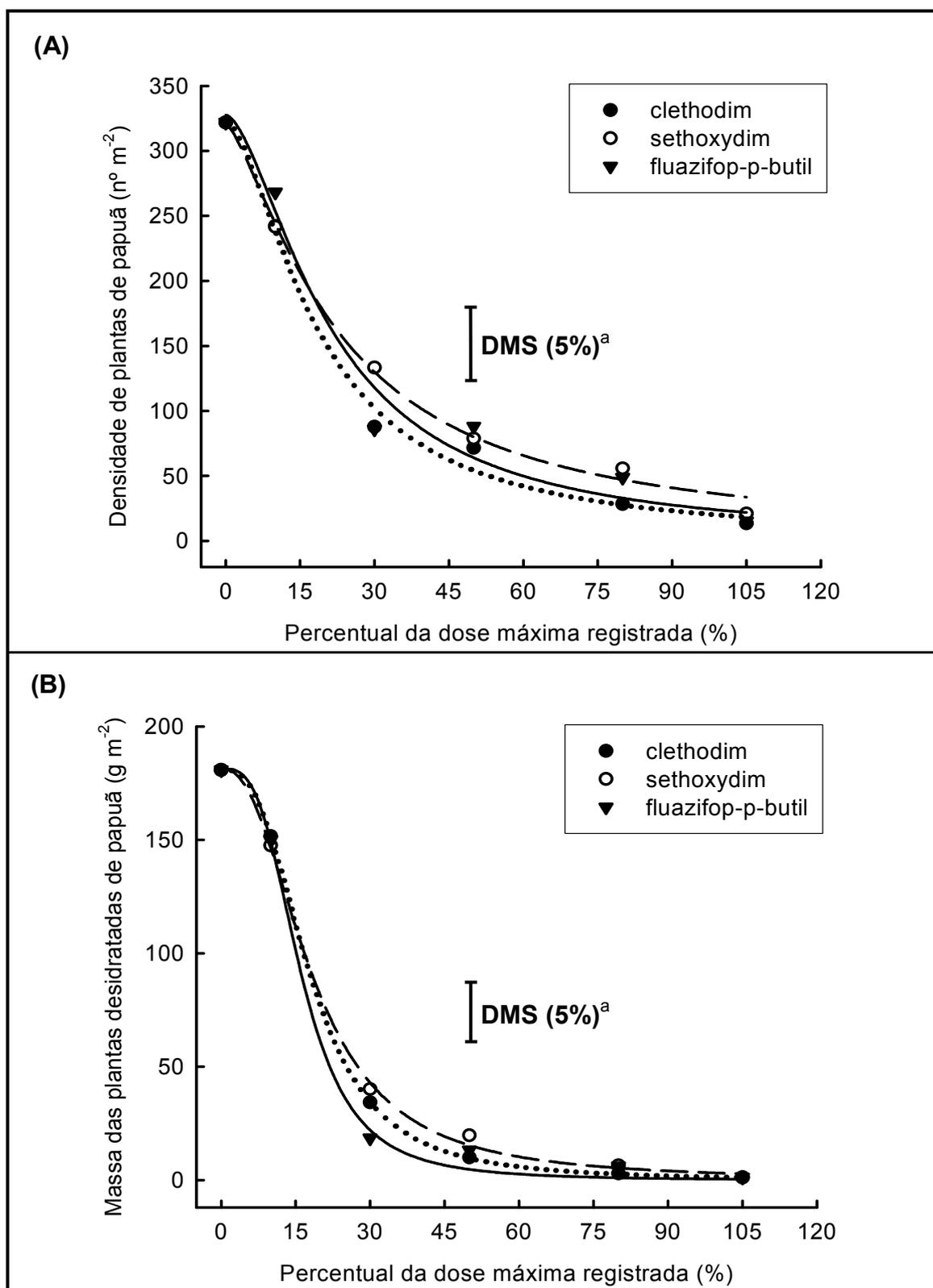


FIGURA 11. Densidade de plantas (A) e massa das plantas desidratadas (B) de papua em função dos herbicidas clethodim (●), sethoxydim (○) e fluazifop-p-butyl (▼), aplicados em 6 doses<sup>b</sup>, aos 28 dias após a aplicação. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias entre quaisquer tratamentos.

<sup>b</sup>Doses corresponderam a 0, 10, 30, 50, 80 e 105% daquela máxima registrada para aplicação em pós-emergência na cultura do feijão comum.

#### 4.5.1.2 Massa das plantas frescas e desidratadas de papuã

A massa das plantas de papuã apresentou resposta sigmoideal para o aumento da dose dos herbicidas. Os valores dos parâmetros da regressão não diferiram entre os produtos testados, ou seja, as curvas de dose e resposta não tiveram comportamento distinto (Figura 11B). Esses resultados reforçam que os herbicidas não diferiram entre si na redução da infestação do papuã quando aplicados em uma dose percentual equivalente.

Notou-se que, na média das parcelas sem aplicação dos herbicidas, houve acúmulo de 700 e 180 g m<sup>-2</sup>, para a massa das plantas de papuã frescas e desidratadas, respectivamente. Observou-se que, em todos os casos, a partir da dose equivalente a 10% da máxima registrada, houve redução da magnitude dessas variáveis em relação à TCI. Cabe destacar que as doses dos herbicidas correspondentes a 50, 80 e 105% da máxima registrada não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 11B).

O valor do índice R<sub>50</sub>, com base na massa das plantas frescas do papuã, foi atingido com cerca de 18, 30 e 47 g. i.a. ha<sup>-1</sup>, para o clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl, respectivamente. O valor do mesmo índice, calculado para a massa das plantas desidratadas, foi de 17, 33 e 40 g. i.a. ha<sup>-1</sup>, para os mesmos herbicidas, respectivamente (Tabela 26). É pertinente salientar, porém, que esses valores não apresentam diferenças estatísticas entre si quando convertidos em valor percentual da dose plena do herbida.

A dose ótima (R<sub>95</sub>) para clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl foi, respectivamente, 40, 84 e 85 g i.a. ha<sup>-1</sup>, tendo-se como base a massa das plantas frescas; e, 50, 117 e 102 g i.a. ha<sup>-1</sup>, tendo-se como base a massa das plantas desidratadas do papuã (Tabela 26). Isso mostra que a dose

dos herbicidas que proporciona controle otimizado do papuã apresenta magnitude inferior a dose máxima registrada pelo fabricante.

#### 4.5.1.3 Rendimento de grãos do feijoeiro comum

O incremento da dose dos três herbicidas aumentou de forma sigmoideal o rendimento de grãos da cultura. Todavia, não se detectaram diferenças significativas entre os efeitos desses herbicidas, quando comparados entre si em uma dose equivalente (Figura 12). Esses resultados sugerem que a magnitude do rendimento de grãos aumentou proporcionalmente com o incremento da dose de quaisquer herbicidas graminicidas.

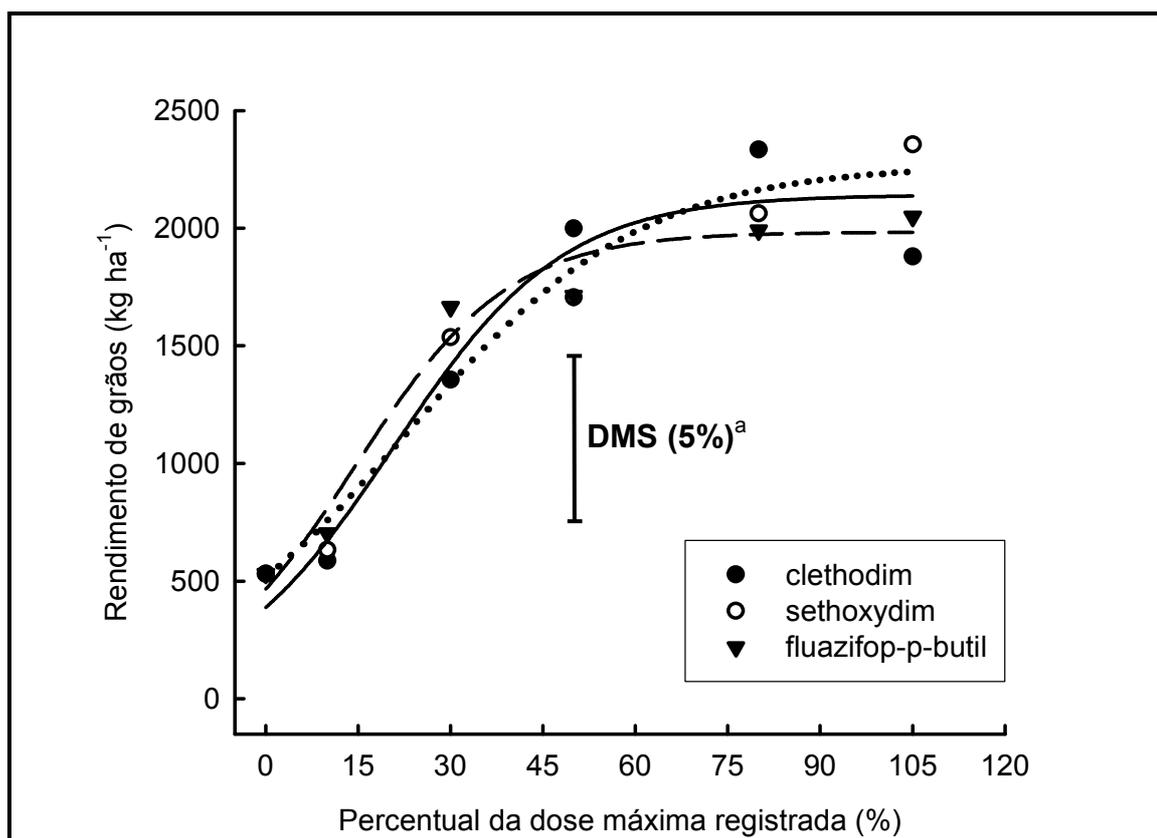


FIGURA 12. Rendimento de grãos da cultivar de feijão comum 'IPR Graúna' em função dos herbicidas clethodim (●), sethoxydim (○) e fluazifop-p-butyl (▼), aplicados em 6 doses<sup>b</sup>. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias entre quaisquer tratamentos.

<sup>b</sup>Doses corresponderam a 0, 10, 30, 50, 80 e 105% daquela máxima registrada para aplicação em pós-emergência na cultura do feijão comum.

O rendimento de grãos de feijão comum apresentou elevada amplitude, situando-se entre 480 a 2.200 kg ha<sup>-1</sup>. Deste modo, na média dos herbicidas, houve aumento de mais de quatro vezes na magnitude dessa variável atribuída ao incremento da dose aspergida. Cabe salientar que as doses correspondentes a 50, 80 e 105% da máxima registrada não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 12).

#### **4.5.2 Análises de ordem econômica**

A análise de variância dos dados da margem líquida do feijão comum através do teste F demonstrou interação significativa entre os fatores 'herbicida' e 'dose' ( $p \leq 0,01$ ). Deste modo, realizaram-se regressões entre as doses de cada herbicida e a resposta dessa variável, ajustando-se os dados ao modelo polinomial quadrático (Tabela 27). As análises de regressão permitiram determinar o efeito dos herbicidas na margem líquida da cultura, assim como calcular o valor da dose ótima dos mesmos.

Os níveis de significância do teste F para a regressão polinomial quadrática foram muito elevados ( $p < 0,01$ ). Deste modo, pode-se afirmar que o incremento da margem líquida do feijão comum está altamente relacionada com o aumento das doses dos três herbicidas. Os valores do  $r^2$  também foram elevados para todos o herbicidas testados, o que sugere boa explicação da variação da margem líquida pelo modelo (Tabela 27).

TABELA 27. Valores dos parâmetros da equação<sup>a</sup> utilizada para determinar a margem líquida da cultura do feijão comum, cultivar IPR Graúna, em função de doses crescentes de três herbicidas gramínicos e valores calculados para a dose ótima econômica (DOE) e margem líquida ótima (MLO). EEA/UFRRGS, Eldorado do Sul (RS), 2009(10).

Herbicidas	Parâmetros da equação <sup>a</sup>			DOE <sup>b</sup>	MLO <sup>c</sup>	r <sup>2d</sup>	F <sup>e</sup>
	a	b	c				
Clethodim	-0,3 (<0,1)	46,2 (5,2)	-1.610,2 (104,8)	77,0 (3,7)	442,1 (21,8)	0,98	104,7 <sup>**f</sup>
Sethoxydim	-0,2 (<0,1)	41,1 (2,4)	-1.556,3 (48,0)	97,8 (4,6)	530,1 (37,5)	0,99	513,2 <sup>**</sup>
Fluazifop-p-butyl	-0,3 (<0,1)	45,8 (4,4)	-1.516,1 (87,3)	80,5 (5,5)	324,5 (23,6)	0,98	117,7 <sup>**</sup>

<sup>a</sup>Equação de regressão do tipo polinomial quadrática [ $Y = aX^2 + bX + c$ ], onde 'Y' e 'X' são as variáveis e 'a', 'b' e 'c' são os parâmetros da equação. Valores entre parênteses representam a estimativa do erro padrão de cada parâmetro.

<sup>b</sup>Dose ótima econômica do herbicida ( $Y = -b / 2a$ ), em valor percentual da dose registrada (%).

<sup>c</sup>Margem líquida ótima da cultura do feijão comum [ $Y = -(b^2 - 4ac) / 4a$ ], em valor monetário (reais ha<sup>-1</sup>).

<sup>d</sup>Coefficiente de determinação entre as doses dos herbicidas e as respostas das variáveis.

<sup>e</sup>Valor do teste 'F' para a regressão entre as doses dos herbicidas e as respostas das variáveis.

<sup>f</sup>Não significativo (ns), significativo a 5% de probabilidade (\*) e significativo a 1% de probabilidade (\*\*).

#### 4.5.2.1 Margem líquida do feijoeiro comum

A margem líquida da cultura apresentou resposta quadrática para o aumento da dose dos herbicidas (Figura 13). Não se verificaram diferenças significativas entre os parâmetros das regressões, ou seja, as curvas de dose e resposta não variaram entre si em função dos herbicidas. Isso corrobora que a magnitude da margem líquida aumentou proporcionalmente com o incremento da dose de quaisquer herbicidas gramínicos.

Verificou-se que, na média dos herbicidas testados, a margem líquida variou entre R\$-1.550 e R\$ 500 ha<sup>-1</sup>, ou seja, houve variação de mais de quatro vezes entre os valores extremos. Observou-se que, em todos os casos, a partir da menor dose testada neste estudo, houve aumento pronunciado da magnitude dessa variável em relação à TCI. Cabe salientar que, as doses correspondentes a 50, 80 e 105% daquela máxima registrada não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 27).

A dose necessária para otimizar a margem líquida do feijoeiro comum foi de cerca de 77, 98 e 81%, para os herbicidas clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl, respectivamente. Essas doses propiciaram, respectivamente, margem líquida de R\$ 442,1, 530,1, 324,5 ha<sup>-1</sup>, as quais equivaleram a maior receita econômica obtida para cada herbicida. Portanto, a dose mais econômica dos três herbicidas testados esteve sempre abaixo daquela máxima recomendada para a cultura do feijão comum (Tabela 27).

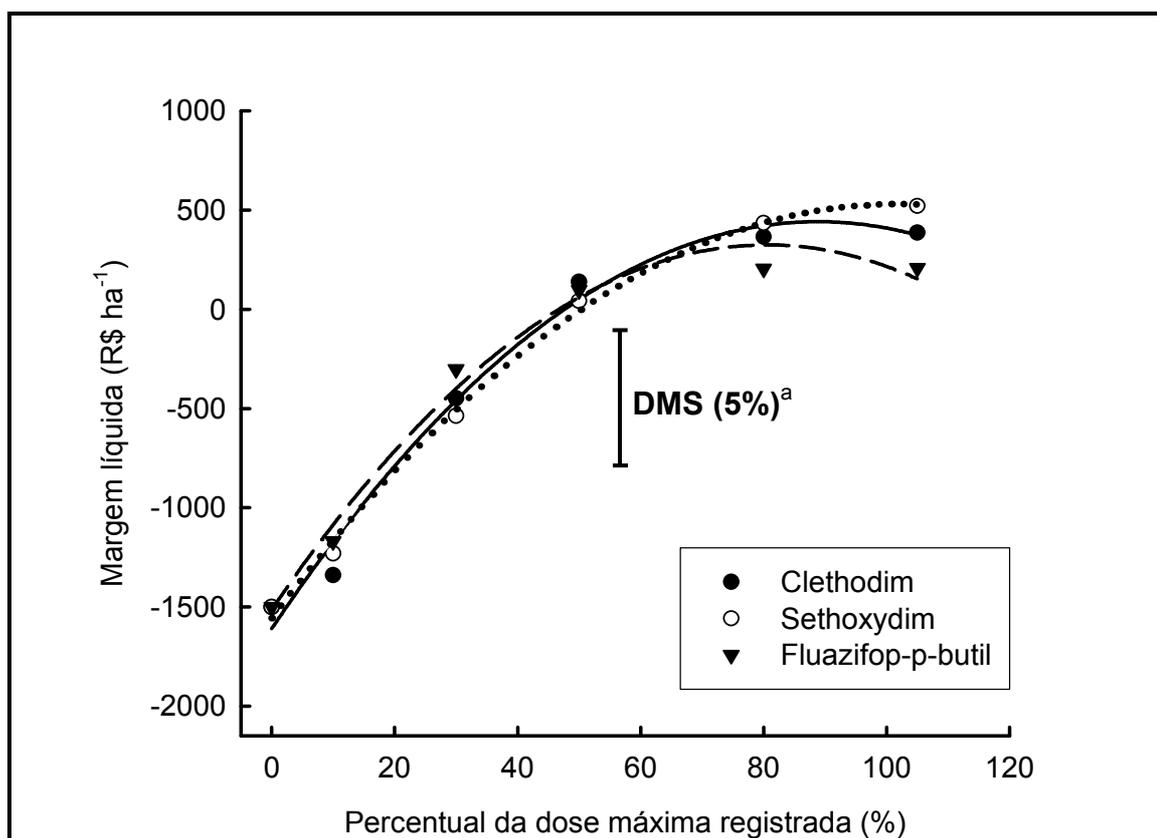


FIGURA 13. Margem líquida da cultura do feijão comum, cultivar 'IPR Graúna', em função dos herbicidas clethodim (●), sethoxydim (○) e fluazifop-p-butyl (▼), aplicados em 6 doses<sup>b</sup>. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Diferença mínima significativa para comparar médias entre quaisquer tratamentos.

<sup>b</sup>Doses corresponderam a 0, 10, 30, 50, 80 e 105% daquela máxima registrada para aplicação em pós-emergência na cultura do feijão comum.

#### 4.6 Modelo bioeconômico (LE6)

Na quarta e quinta LE foram determinados diversos indexadores agrônômicos e econômicos. Esses indexadores foram utilizados na confecção de funções para estimar o impacto do papuã na cultura e o efeito de tratamentos herbicidas no seu controle. Essas funções, por sua vez, foram reunidas em um 'modelo bioeconômico' na sexta LE, a fim de apoiar a gestão de papuã na cultura do feijão comum.

#### 4.6.1 Função dano do papuã

A função 'dano do papuã', ou o NCD, foi estimada satisfatoriamente através do modelo hiperbólico (Figura 7A). De fato, os valores dos coeficientes de correlação ( $r^2$ ) obtidos foram muito elevados, independente da época de avaliação da infestação do papuã (Tabela 24). Este resultado indica que as equações de regressão obtidas na LE4 são passíveis de serem utilizadas como função 'dano do papuã' no modelo.

O valor do NCD, calculado com base na variável DP do papuã avaliada no início do PCPI (20 DAE), situou-se entre 0,6 e 0,7% e não diferiu entre as duas cultivares (Tabela 24). No modelo, foram definidos três distintos cenários para o NCD do papuã no feijoeiro comum, a seguir: bom (0,5%), normal (0,7%) e ruim (0,9%). Destaca-se que esses valores foram definidos com base o valor NCD médio (0,7%) obtido neste trabalho, assim como o valor do seu erro padrão ( $\pm 0,2\%$ ) (Tabela 28).

Ao final do PCPI, ou 40 DAE, verificou-se que o NCD do papuã no feijoeiro comum variou de 0,4 a 0,6% e, que seu valor não foi numericamente distinto entre as duas cultivares (Tabela 24). Deste modo, no modelo proposto, definiu-se um valor médio (0,5%) de NCD para simular o impacto das plantas de papuã remanescentes após o controle. Deste modo, utilizou-se este índice para quantificar o impacto de cada planta de papuã que sobreviveu após a adoção de determinada opção de controle (Tabela 29).

#### 4.6.2 Função controle do papuã

A função 'controle do papuã', que estima a resposta dessa planta ao aumento da dose dos herbicidas testados, foi determinada com boa precisão através do modelo log logístico (Figura 11A). Com efeito, verificou-se que os

valores do  $r^2$  foram elevados para as regressões entre doses dos herbicidas e resposta da variável DP do papuã (Tabela 26). Esses resultados mostram haver elevada capacidade de previsão da eficácia das doses dos herbicidas por meio das equações de regressão do tipo log logístico.

Os efeitos obtidos com as doses dos três herbicidas testados não apresentam diferenças numéricas entre si. De fato, detectou-se que os parâmetros da equação 'a', 'b' e 'C<sub>50</sub>' não diferiram numericamente entre clethodim, sethoxydim e fluzifop-p-butyl (Tabela 26). No modelo, optou-se por utilizar as equações obtidas para cada herbicida testado, a fim de determinar a melhor estimativa possível da redução da DP do papuã.

TABELA 28. Estimativas de perda agronômica (Kg ha<sup>-1</sup>) e monetária (R\$ ha<sup>-1</sup>) do feijoeiro comum por interferência do papuã simuladas para diferentes rendimentos de grãos, preço do produto, densidades de papuã e cenários de perda. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2010.

Rendimento kg ha <sup>-1</sup>	Preço R\$ sc <sup>-1</sup>	Densidade <sup>a</sup> Plts m <sup>-2</sup>	Estimativas de perda por interferência do papuã <sup>b</sup>					
			Bom kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	Normal kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	Ruim kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>
600	50	5	15	12	20	17	26	21
		10	28	24	39	33	49	41
		25	66	55	89	74	109	91
	50	118	99	153	128	183	152	
	5	15	18	20	25	26	32	
	10	28	36	39	49	49	62	
100	75	25	66	83	89	111	109	136
		50	118	148	153	191	183	228
		5	15	24	20	34	26	43
	10	28	47	39	65	49	82	
	25	66	110	89	148	109	182	
	50	118	197	153	255	183	304	
1.200	50	5	29	24	40	34	52	43
		10	57	47	78	65	99	82
		25	132	110	177	148	218	182
	50	237	197	306	255	365	304	
	5	29	37	40	51	52	64	
	10	57	71	78	98	99	123	
100	75	25	132	165	177	221	218	272
		50	237	296	306	383	365	456
		5	29	49	40	67	52	86
	10	57	95	78	130	99	164	
	25	132	221	177	295	218	363	
	50	237	395	306	510	365	609	

<sup>a</sup>Nível de infestação do papuã avaliado no início do período crítico de prevenção da interferência de plantas daninhas na cultura (20 DAE).

<sup>b</sup>Estimativa da perda de produção calculada com base no modelo hiperbólico  $[Y=(NCD*X)/(1+(NCD/a)*X)]$ , onde 'Y' e 'X' são as variáveis e 'NCD' e 'a' são os parâmetros da equação. Os cenários indicam a magnitude do nível crítico de dano (NCD), a seguir: bom (0,5%), normal (0,7%) e ruim (0,9%).

continuação TABELA 28. Estimativas de perda agrônômica (Kg ha<sup>-1</sup>) e monetária (R\$ ha<sup>-1</sup>) do feijoeiro comum por interferência do papuã simuladas para diferentes rendimentos de grãos, preço do produto, densidades de papuã e cenários de perda. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2010.

Rendimento kg ha <sup>-1</sup>	Preço R\$ sc <sup>-1</sup>	Densidade <sup>a</sup> Plts m <sup>-2</sup>	Cenários de perda por interferência do papuã <sup>b</sup>					
			Bom		Normal		Ruim	
			kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>
2.400	50	5	58	49	81	67	103	86
		10	114	95	156	130	197	164
		25	265	221	354	295	436	363
		50	474	395	612	510	730	609
		5	58	73	81	101	103	129
		10	114	142	156	195	197	246
3.600	75	25	265	331	354	443	436	545
		50	474	592	612	765	730	913
		5	58	97	81	135	103	172
		10	114	190	156	261	197	329
		25	265	441	354	590	436	726
		50	474	790	612	1.020	730	1.217
3.600	50	5	88	73	121	101	155	129
		10	171	142	235	195	296	246
		25	397	331	531	443	654	545
		50	711	592	918	765	1.096	913
		5	88	110	121	152	155	193
		10	171	214	235	293	296	370
3.600	75	25	397	496	531	664	654	817
		50	711	889	918	1.148	1.096	1.369
		5	88	146	121	202	155	258
		10	171	285	235	391	296	493
		25	397	662	531	885	654	1.089
		50	711	1.185	918	1.530	1.096	1.826

<sup>a</sup>Nível de infestação do papuã avaliado no início do período crítico de prevenção da interferência de plantas daninhas na cultura (20 DAE).

<sup>b</sup>Estimativa da perda de produção calculada com base no modelo hiperbólico [ $Y = (NCD \cdot X) / (1 + (NCD/a) \cdot X)$ ], onde 'Y' e 'X' são as variáveis e 'NCD e 'a' são os parâmetros da equação. Os cenários indicam a magnitude do nível crítico de dano (NCD), a seguir: bom (0,5%), normal (0,7%) e ruim (0,9%).

#### 4.6.3 Desenvolvimento do modelo bioeconômico

As funções 'dano do papuã' e 'controle do papuã' foram aplicadas na confecção de um modelo bioeconômico, que auxilia na gestão do papuã na cultura do feijão comum. Esse modelo foi constituído por dois distintos tipos de análises, ambas baseadas em simulações matemáticas de ordem biológica e econômica (Tabelas 28 e 29). Pode-se verificar, nessas simulações, a estimativa das perdas da cultura por interferência do papuã e da eficácia dos herbicidas utilizados para controlá-la.

Aumentos na densidade do papuã, ou ainda, no seu impacto negativo por unidade de planta daninha, incrementaram a magnitude da perda da produção da cultura do feijão comum. Além disso, o acréscimo no preço do produto colhido também promoveu incremento das perdas monetárias dessa cultura em função da interferência do papuã. Estes resultados indicam que o modelo foi capaz de simular a magnitude da interferência do papuã sob os pontos de vista agrônomo e econômico (Tabela 28).

As perdas de produção e monetária da cultura do feijão comum devido à interferência do papuã apresentaram valores numericamente distintos entre os três cenários avaliados no modelo. Com efeito, verificou-se que, na condição do cenário 'bom' (NCD=0,5%), essas perdas foram duas vezes menores em relação ao cenário 'ruim' (NCD=0,9%), em todas as situações avaliadas no modelo bioeconômico proposto (Tabela 28). Assim, verifica-se que o impacto individual do papuã têm elevada influência na estimativa das perdas do feijoeiro comum devido à interferência dessa planta.

TABELA 29. Estimativa da eficácia agrônômica e da margem líquida dos tratamentos herbicidas aplicados em pós-emergência do feijoeiro comum no controle de diferentes populações de papuã. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2010.

Herbicida	Dose <sup>a</sup>	Densidade <sup>b</sup>		Margem líquida <sup>c</sup>	
		Antes <sup>d</sup>	Depois	Antes	Depois
		----- Ptls m <sup>-2</sup> -----		----- R\$ ha <sup>-1</sup> -----	
Clethodim	10	5	3,8	872,4	909,6
	30	5	1,4	872,4	923,2
	50	5	1,1	872,4	919,6
	80	5	0,4	872,4	911,8
	105	5	0,2	872,4	906,0
Sethoxydim	10	5	3,8	872,4	910,9
	30	5	2,1	872,4	920,4
	50	5	1,2	872,4	922,5
	80	5	0,9	872,4	917,4
	105	5	0,3	872,4	915,3
Fluazifop-p-butyl	10	5	4,2	872,4	906,7
	30	5	1,3	872,4	925,8
	50	5	1,4	872,4	919,1
	80	5	0,8	872,4	914,9
	105	5	0,2	872,4	911,6
Clethodim	10	10	7,5	797,4	875,7
	30	10	2,7	797,4	911,0
	50	10	2,2	797,4	909,6
	80	10	0,9	797,4	907,8
	105	10	0,4	797,4	904,1
Sethoxydim	10	10	7,5	797,4	877,1
	30	10	4,1	797,4	901,8
	50	10	2,5	797,4	911,4
	80	10	1,7	797,4	909,6
	105	10	0,6	797,4	912,3
Fluazifop-p-butyl	10	10	8,3	797,4	869,2
	30	10	2,7	797,4	913,7
	50	10	2,7	797,4	906,8
	80	10	1,5	797,4	908,1
	105	10	0,5	797,4	909,5

<sup>a</sup>Dose em valor percentual em relação a dose máxima registrada dos herbicidas para aplicação em pós-emergência da cultura do feijão comum.

<sup>b</sup>Valores da eficácia agrônômica dos herbicidas graminicidas calculados com base nos indexadores técnicos obtidos na LE5 (Apêndices 26 e 27).

<sup>c</sup>Valores da margem líquida dos tratamentos calculados com base nos indexadores técnicos obtidos na LE4 e LE5, considerando-se o rendimento de grãos de 2.400 Kg ha<sup>-1</sup> e preço da produção de R\$ 75 saca<sup>-1</sup>.

<sup>d</sup>“Antes” e “depois” da tomada do controle do papuã no feijoeiro comum.

continuação TABELA 29. Estimativa da eficácia agrônômica e da margem líquida dos tratamentos herbicidas aplicados em pós-emergência do feijoeiro comum no controle de diferentes populações de papuã. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2010.

Herbicida	Dose <sup>a</sup>	Densidade <sup>b</sup>		Margem líquida <sup>c</sup>	
		Antes <sup>d</sup>	Depois	Antes	Depois
		----- Ptls m <sup>-2</sup> -----		----- R\$ ha <sup>-1</sup> -----	
Clethodim	10	25	18,8	572,4	774,0
	30	25	6,8	572,4	874,1
	50	25	5,6	572,4	879,7
	80	25	2,2	572,4	896,0
	105	25	1,1	572,4	898,4
Sethoxydim	10	25	18,8	572,4	775,9
	30	25	10,4	572,4	845,9
	50	25	6,1	572,4	878,4
	80	25	4,3	572,4	886,2
	105	25	1,6	572,4	903,6
Fluazifop-p-butyl	10	25	20,8	572,4	756,8
	30	25	6,7	572,4	877,7
	50	25	6,8	572,4	869,9
	80	25	3,8	572,4	887,7
	105	25	1,2	572,4	903,1
Clethodim	10	50	37,7	197,4	604,6
	30	50	13,7	197,4	812,7
	50	50	11,1	197,4	829,7
	80	50	4,4	197,4	876,2
	105	50	2,1	197,4	888,9
Sethoxydim	10	50	37,5	197,4	607,1
	30	50	20,7	197,4	752,8
	50	50	12,3	197,4	823,2
	80	50	8,7	197,4	847,3
	105	50	3,3	197,4	888,9
Fluazifop-p-butyl	10	50	41,7	197,4	569,3
	30	50	13,4	197,4	817,6
	50	50	13,7	197,4	808,5
	80	50	7,6	197,4	853,8
	105	50	2,4	197,4	892,5

<sup>a</sup>Doses em valor percentual em relação a dose máxima registrada dos herbicidas para aplicação em pós-emergência da cultura do feijão comum.

<sup>b</sup>Valores da eficácia agrônômica dos herbicidas graminicidas calculados com base nos indexadores técnicos obtidos na LE 5 (Apêndices 26 e 27).

<sup>c</sup>Valores da margem líquida dos tratamentos calculados com base nos indexadores técnicos obtidos na LE4 e LE5, considerando-se o rendimento de grãos de 2.400 Kg ha<sup>-1</sup> e preço da produção de R\$ 75 saca<sup>-1</sup>.

<sup>d</sup>“Antes” e “depois” da tomada do controle do papuã no feijoeiro comum.

Ao se analisar a eficácia agronômica dos herbicidas, verificou-se que, com o aumento da dose dos mesmos, houve redução da densidade do papuã simulada no início do PCPI da cultura. Com isso, constata-se diminuição das perdas de feijão comum por interferência do papuã e, conseqüentemente, aumento da margem líquida da cultura (Tabela 29). Todavia, destaca-se que nem toda a magnitude desse parâmetro econômico foi determinada em função da redução das perdas de produção do feijoeiro comum.

A otimização da margem líquida dependeu da densidade do papuã no início do PCPI e da dose dos herbicidas. Observou-se que, nas duas menores densidades simuladas (5 e 10 plantas  $m^{-2}$ ), a dose dos herbicidas que propiciou maior lucratividade foi inferior à dose plena, enquanto que, nas duas maiores densidades simuladas (25 e 50 plantas  $m^{-2}$ ), a dose plena promoveu maior margem líquida em relação às demais. O modelo permite, assim, que seja selecionado o tratamento mais lucrativo para controlar uma dada infestação do papuã na cultura do feijão comum (Tabela 29).

#### **4.6.4 SAGI (1.0): Sistema de Apoio à Gestão de Infestantes**

Os dados de perda de produtividade por interferência do papuã, calculados com auxílio do SAGI 1.0, apresentaram valores similares aos obtidos no modelo bioeconômico (Tabela 28). De fato, mesmo utilizado-se diferentes valores para os indexadores (Figura 14 A e B), o software reproduziu fielmente os valores previstos pelo referido modelo. Essa constatação indica que o utilização do software SAGI 1.0 pode automatizar a estimativa das perdas agronômica e monetária por interferência do papuã.

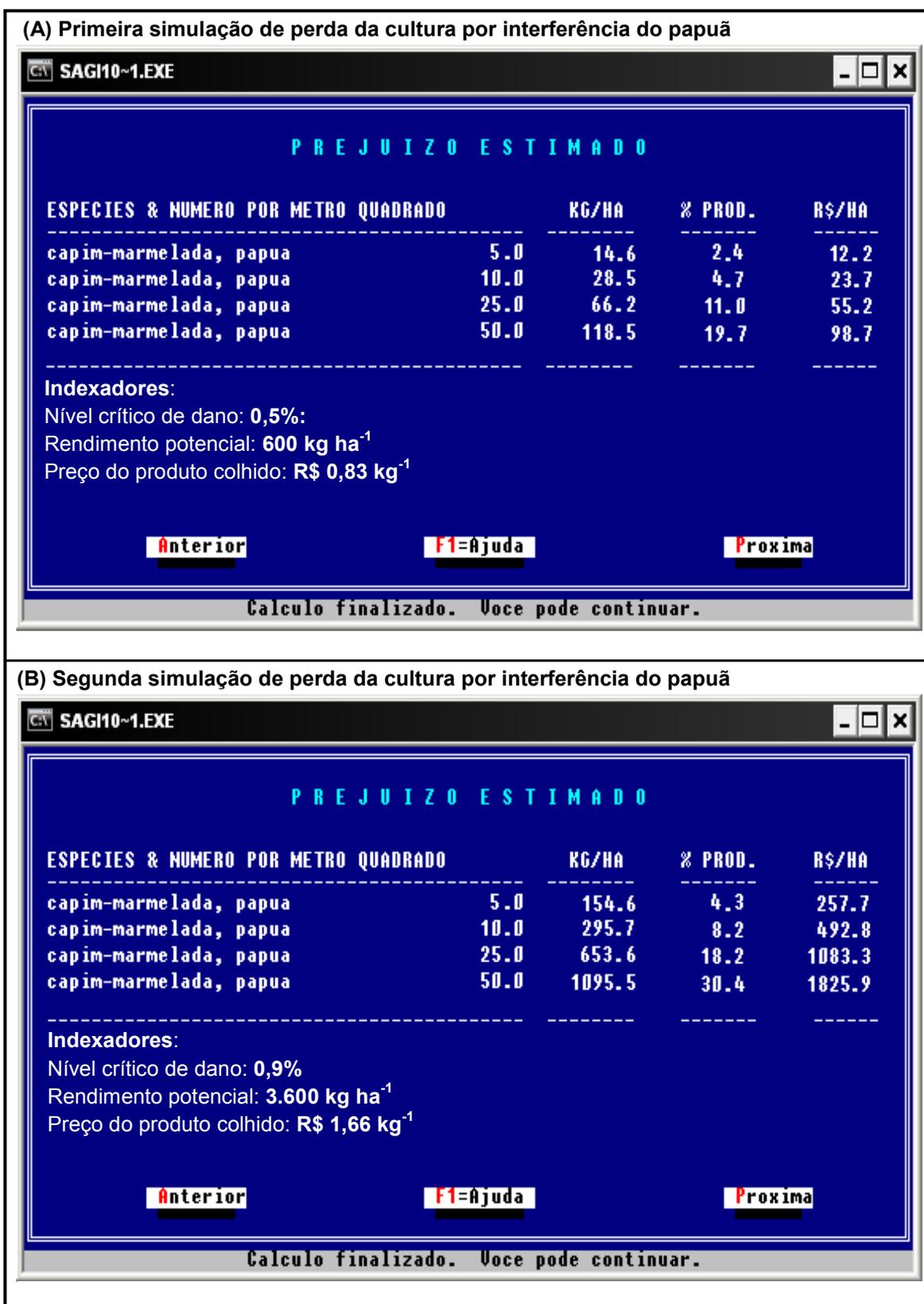


FIGURA 14. Cálculo da perda agrônômica (kg ha<sup>-1</sup> e %) e monetária (R\$ ha<sup>-1</sup>) da cultura do feijão comum por interferência de diferentes densidades do papuã, em duas simulações com diferentes valores para os indexadores técnicos. SAGI 1.0. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2010.

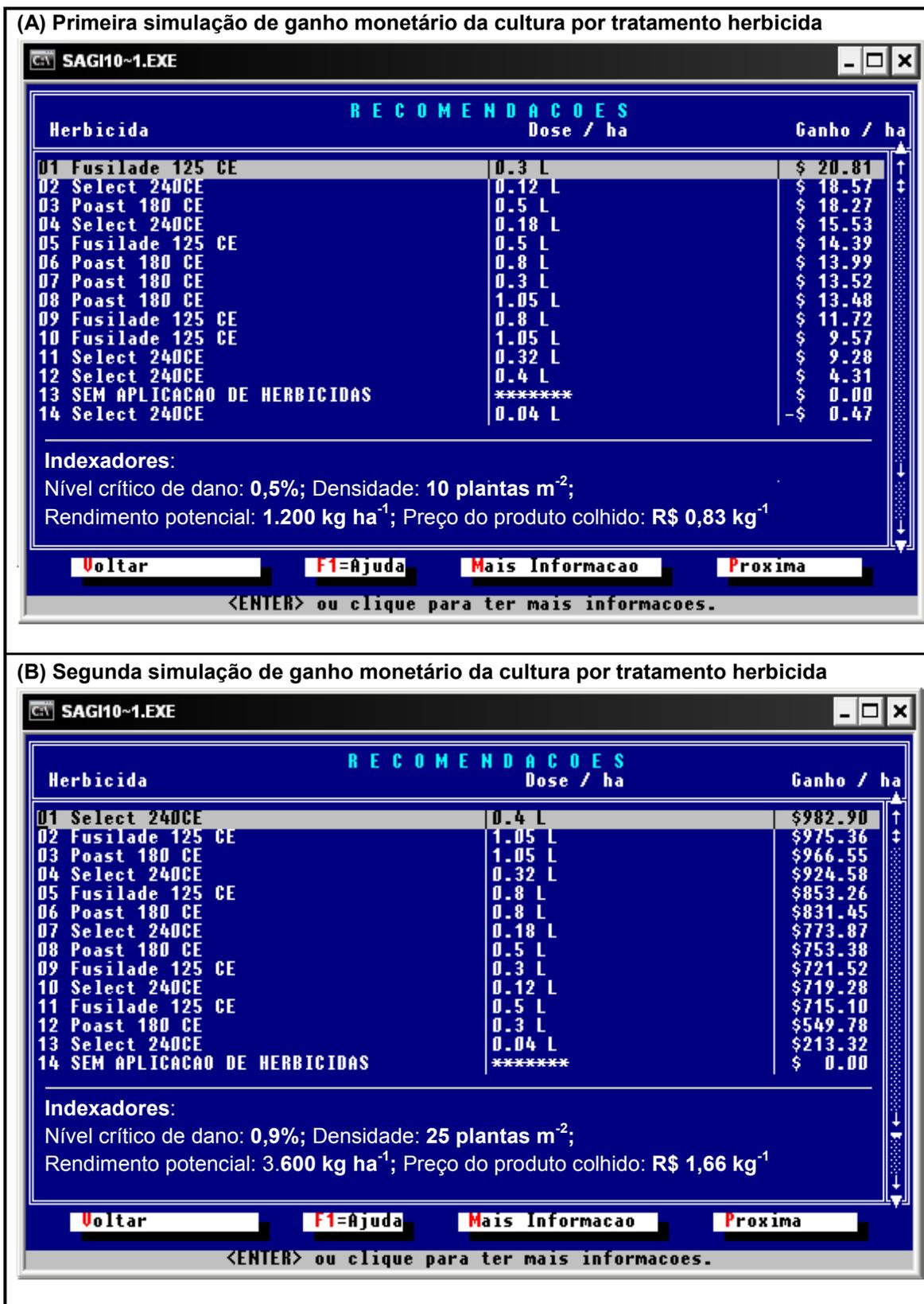


FIGURA 15. Cálculo do ganho monetário (R\$ ha<sup>-1</sup>) da cultura do feijão comum em função da aplicação de diferentes tratamentos herbicidas para o controle do papuã, em duas simulações realizadas com auxílio do software SAGI 1.0. UFRGS, Porto Alegre (RS), 2008(09).

O programa SAGI 1.0 calculou o ganho monetário proporcionado em cada tratamento herbicida, tendo como base valores de indexadores econômicos fornecidos pelo usuário. Tais tratamentos herbicidas, ou, opções de controle do papuã, são listados pelo SAGI 1.0 em ordem decrescente do lucro obtido com o seu uso (Figura 15). Assim, o usuário do programa pode optar pela opção mais adequada e(ou) mais econômica para cada condição, otimizando a lucratividade do feijoeiro comum.

Vale destacar que, o SAGI 1.0 e o modelo bioeconômico apresentam diferentes métodos de estimativa da lucratividade obtida com o controle do papuã na cultura do feijão comum. Contudo, quando se utilizaram valores comuns para os indexadores econômicos, ambos os métodos indicam a mesma hierarquia entre as opções de controle. Pode-se considerar, portanto, que a análise econômico do programa SAGI 1.0 é equivalente a do modelo bioeconômica para subsidiar as estratégias de controle.

#### **4.6.5 Validação dos dados estimados**

Verificou-se elevado grau de associação entre os dados reais e os dados estimados ( $r^2=0,82$ ) ( $p<0,01$ ). Com efeito, a equação de regressão obtida com o conjunto de dados ( $Y=0,89X$ ) mostrou que as perdas estimadas e reais tiveram uma relação quase perfeita ( $X=Y$ ). Isso evidencia que o modelo proposto previu satisfatoriamente as perdas de produção de feijão comum em função da interferência exercida pelo papuã (Figura 16).

Vale destacar que, quando se comparou a dispersão de cada ponto obtido com uma regressão perfeita, os valores foram ora superestimados ora subestimados pelo modelo (Figura 16). Por exemplo, quando se analisou somente as perdas reais com magnitude inferior a 60 %, verificou-se que as

previsões obtidas foram superestimadas ( $Y=1,09X$ ). No entanto, quando se considerou apenas as perdas reais com magnitude superior a 60%, constatou-se que as previsões obtidas foram subestimadas ( $Y=0,84X$ ).

Vale salientar que, na presente validação, utilizaram-se dados de queda de produção da cultivar UTF-06, os quais também foram obtidos com o efeito de diferentes DP de papuã. Deste modo, tem-se maior segurança no resultado positivo da análise de validação, visto que o modelo proposto foi confeccionado com outra cultivar (IPR Graúna). A validação indica, portanto, que a 'função dano' pode prever a perda da produção de qualquer cultivar quando forem empregados dados da DP do papuã (Figura 16).

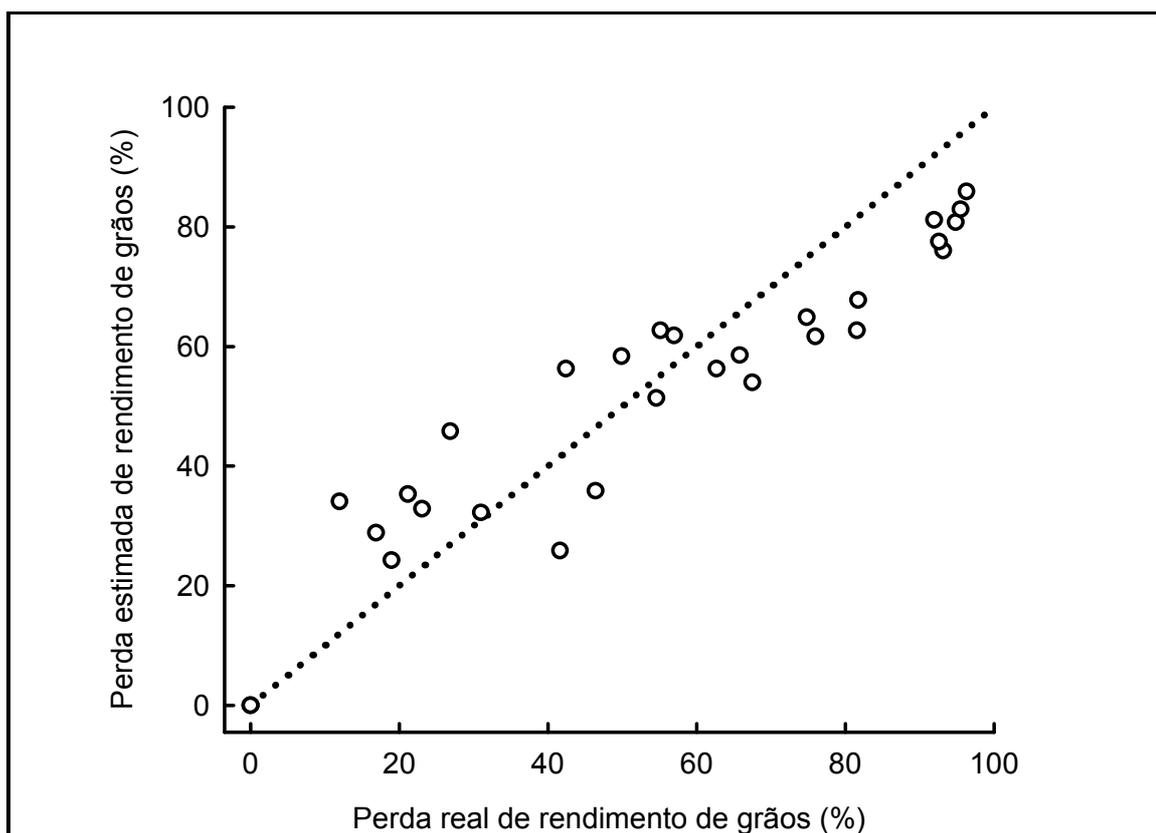


FIGURA 16. Relação entre perda real e perda estimada do rendimento de grãos da cultivar de feijão comum UTF-06 em função da densidade de plantas do papuã, aos 20 dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Linha pontilhada indica relação perfeita entre perda observada e perda estimada ( $X=Y$ ).

## **5 DISCUSSÃO**

Este trabalho propôs desenvolver um modelo para subsidiar a gestão (manejo) de papuã na cultura do feijão comum com base em critérios agronômicos e econômicos. Foram desenvolvidas seis LE para a avaliação de indexadores, os quais foram usados na confecção de funções do referido modelo bioeconômico. Essas funções permitem prever a interferência do papuã no feijoeiro comum e indicar tratamentos herbicidas com base retorno econômico obtido com o seu uso.

O desenvolvimento deste capítulo inicia discutindo os resultados obtidos com as cinco primeiras LE, buscando explicar ao leitor os motivos pelos quais se obtiveram tais resultados. Na sequência, será abordada a confecção das funções do modelo proposto, assim como a automatização dos cálculos e a validação dos resultados simulados. No final desse capítulo, será realizada uma análise conjunta dos resultados num contexto que abranja implicações agronômicas, econômicas e metodológicas.

### **5.1 Seletividade de herbicidas residuais (LE1)**

Hipotetizou-se que os herbicidas com registro para feijão comum (dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin) agiriam seletivamente para a cultura nas doses recomendadas. Isso ocorreria porque tais compostos apresentam características que permitem a cultura metabolizá-los, ou seja,

transformá-los em compostos não fitotóxicos. Deste modo, poder-se-ia utilizar esses tratamentos nos experimentos a campo (LE2, LE3 e LE4) sem afetar o desempenho agrônômico da cultura do feijão comum.

Os quatro herbicidas residuais registrados para uso em feijão comum não causaram injúrias significativas na cultura quando aplicados na dose máxima recomendada (Figuras 2 e 3). De fato, não se observou alteração na magnitude de quaisquer variáveis avaliadas com a utilização de doses crescentes de pendimethalin e trifluralin (Tabela 9). Também, verificou-se que os herbicidas dimethenamid e S-metolachlor não afetaram a cultura nas doses que equivaleram até 150% da máxima registrada.

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com diversos estudos disponíveis na literatura. Por exemplo, a aplicação em pré-emergência da dose de 3,2 kg i.a. ha<sup>-1</sup> de trifluralin não afetou a produção de grãos de plantas de feijão comum (Soltani *et al.*, 2008). Noutro estudo, verificou-se que a aplicação de até 1,9 kg i.a. ha<sup>-1</sup> de S-metolachlor não injuriou as plantas de cinco cultivares dessa cultura (Procópio *et al.*, 2001). Em trabalho semelhante, a altura, a biomassa e a produtividade do feijoeiro comum não diferiram devido ao uso de dimethenamid (2,5 kg i.a. ha<sup>-1</sup>) ou S-metolachlor (3,2 kg i.a. ha<sup>-1</sup>), na condição de pré-emergência da cultura (Soltani *et al.*, 2006).

Os herbicidas dinitroanilinas, como o pendimethalin e o trifluralin, são inibidores da polarização da tubulina e interrompem a ocorrência da mitose nas células (Schibler & Huang, 1991). Esses compostos podem ser seletivos para culturas por insensibilidade do local de ação, metabolização diferencial e localização no solo (Vaughn & Lehnen, 1991). Em geral, os herbicidas deste grupo químico são empregados para o controle de espécies gramíneas na condição de pré-emergência de culturas dicotiledôneas.

Neste trabalho, onde as unidades experimentais foram recipientes, considera-se que a ação seletiva dos herbicidas dinitroanilinas não se deveu a sua localização no perfil do solo. Portanto, é coerente especular que ausência de atividade desses herbicidas tenha ocorrido por alteração do local de ação ou metabolização das moléculas. Também, pode-se considerar que os dois mecanismos ocorreram simultaneamente, pois existem evidências de ambos os casos em culturas dicotiledôneas (Vidal, 1997).

Os herbicidas cloroacetamidas, como o dimethenamid e o S-metolachlor, são provavelmente inibidores da elongação de lipídios de cadeia curta nas células vegetais (Schmalhub *et al.*, 2000). A seletividade desses compostos para as culturas baseia-se no tipo e na taxa de metabolização dos mesmos pelas espécies tolerantes (Vidal & Fleck, 2001). Nesses casos, ocorre conjugação dos herbicidas cloroacetamidas com o tripeptídeo glutationa, que os transforma em metabólitos com baixa atividade herbicida.

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam indiretamente que dimethenamid e S-metolachlor foram metabolizados pelas plantas da cultura do feijão comum (Figuras 2 e 3). De fato, tais herbicidas não causaram injúrias à cultura até a dose máxima de registro; mas, a partir desta dose, houve fitointoxicação das plantas de feijão comum. Especula-se que a cultura possua certa capacidade para metabolizar as moléculas desses herbicidas, cujo limite foi extrapolado nas duas maiores doses avaliadas.

Neste trabalho, também hipotetizou-se que a aplicação de subdoses do herbicida alachlor não causaria danos significativos ao crescimento inicial das plantas de feijão comum. Isso ocorreria porque o feijão comum teria condições de metabolizar esse composto quando aplicados em doses menores do que aquelas registradas para a cultura da soja. Com isso, o uso desse

herbicida residual também não implicaria em alterações no crescimento das plantas e no desempenho agrônômico do feijoeiro comum.

No presente trabalho, constatou-se que a hipótese de tolerância da cultura do feijão comum ao herbicida alachlor aplicado em doses reduzidas não é válida. Com efeito, verificou-se que esse produto causou injúrias acentuadas sobre as plantas da cultura do feijão comum nas quatro variáveis explicativas (Tabela 9). Esses resultados coincidem com Urwin *et al.* (1996) e Lamego *et al.* (2010), que também anotaram injúrias na cultura do feijão comum com o uso do herbicida alachlor.

O maior efeito de alachlor, comparado aos demais cloroacetamidas, pode ser atribuído a menor capacidade de metabolização das suas moléculas pelo feijoeiro comum. De fato, para todas as variáveis avaliadas, verificou-se maior efeito de alachlor sobre o crescimento vegetal em relação aos demais cloroacetamidas (Figuras 2 e 3). Isso sugere que as plantas de feijão comum possuam maior facilidade e (ou) rapidez para detoxificar dimethenamid e S-metolachlor em relação ao alachlor.

Pela discussão apresentada, pode-se sintetizar que os herbicidas dimethenamid, S-metolachlor pendimethalin, trifluralin são seletivos para a cultura do feijão comum na dose registrada. Deste modo, decidiu-se utilizar os mesmos para a realização dos experimentos a campo, de acordo com a metodologia descrita no segundo e terceiro experimentos.

## **5.2 Controle do papuã com herbicidas residuais (LE2)**

A principal hipótese da segunda LE era que os herbicidas residuais testados reduziram a interferência negativa exercida pelo papuã sobre o feijoeiro comum. Isso ocorreria porque os produtos testados

apresentam atividade herbicida sobre o papuã e ação residual no solo durante certo período após a sua aplicação. Deste modo, esses compostos reduziram a infestação inicial dessa planta infestante e, por consequência, aumentariam o desempenho agrônomo da cultura.

Com efeito, dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin diminuíram a infestação do papuã na cultura, em relação à situação sem controle desta planta (Tabelas 10 a 13). Além disso, esses herbicidas propiciaram aumento do rendimento de grãos e dos principais componentes da produtividade do feijoeiro comum (Tabelas 14 a 19). Noutros estudos, como Spader & Vidal (2000), Procópio *et al.* (2001) e Ferri & Vidal (2003), também reduziu-se a infestação do papuã com herbicidas residuais.

A atividade no solo de um herbicida com ação residual depende de diversos fatores (Apêndice 1). Estes fatores incluem as características físico-químicas dos herbicidas, as propriedades do solo, os fatores ambientais e algumas práticas de manejo da cultura. A associação desses fatores condiciona a intensidade dos processos de dissipação dos herbicidas e a sua disponibilidade no solo (Gebler & Spadotto, 2004). No presente estudo, presume-se que as características dos herbicidas afetaram a sua eficácia, visto que os demais fatores não variaram entre os tratamentos.

Hipotetizou-se, também, que os herbicidas mais solúveis em água, dimethenamid e S-metolachlor, causariam melhor controle inicial do papuã por serem absorvidos via fluxo de massa. Esse tipo de transporte de solutos é superior ao mecanismo de difusão, que ocorre com moléculas insolúveis, tais como o pendimethalin e o trifluralin (Tabela 1). Os valores do transporte através dos mecanismos de difusão e fluxo de massa podem ser descritos, respectivamente, de acordo com as Equações 13 e 14:

$$D = [(D_i) \cdot (T_i) \cdot (\partial C_i / \partial C_t)] \quad \text{(Equação 13)}$$

$$F = [D \cdot (\partial C_t / \partial r) + (V_o \cdot \partial C_i)] \quad \text{(Equação 14)}$$

onde, 'D' e 'F' são difusão e fluxo de massa no solo da molécula do herbicida, respectivamente ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ); ' $\partial C_s$ ' e ' $\partial C_l$ ' é a concentração de moléculas na fase sólida e líquida, respectivamente ( $\text{mol cm}^{-3}$ ); ' $\partial r$ ' é a distância média percorrida pela molécula do herbicida até a raiz do vegetal (cm); ' $V_o$ ' é a taxa de absorção de água do solo pelo vegetal ( $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ ); ' $D_i$ ' é a taxa difusão da molécula em meio contendo somente água pura ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ) (Barber, 1984).

Os resultados de eficácia do controle inicial não confirmaram a hipótese proposta (Tabela 10). No presente trabalho, verificou-se que o herbicida trifluralin propiciou melhor controle inicial da infestante na cultura, em comparação aos demais herbicidas. De fato, tanto na avaliação visual quanto nas quantitativas da infestação do papuã, tal herbicida teve atividade superior em relação aos demais (Tabelas 10 a 13). Existem, pelo menos, três diferentes explicações para se especular porque o trifluralin apresentou maior desempenho agrônômico inicial nas condições deste estudo.

Primeiro, é possível ter ocorrido maior absorção de moléculas do herbicida trifluralin por interceptação radicular, levando ao acúmulo dessas nas raízes do papuã (Ahrens *et al.*, 1994). Com isso, houve grande facilidade para que esse herbicida chegasse ao seu local de ação, pois inibe justamente a divisão celular das raízes (Vidal & Merotto Jr., 2001). Assim, nesta situação, acentuada quantidade de moléculas de trifluralin atingiu o seu local de ação, causando injúrias nas células das raízes das plantas de papuã.

Segundo, especula-se que possa ter ocorrido absorção de vapores de trifluralin pelas plantas de papuã, visto que esse herbicida pode sofrer

volatilização (Ahrens *et al.*, 1994). Com efeito, constata-se que a pressão de vapor desse herbicida é de  $1,1 \cdot 10^{-4}$  mm Hg (a 25°C), o que lhe confere elevado potencial de dissipação através da atmosfera. Cabe destacar que, durante os primeiros dias de condução dos experimentos, houve diversas ocasiões com temperaturas do ar em torno de 30°C (Apêndice 5), o que propicia ocorrer o processo de volatilização das moléculas herbicidas.

Terceiro, é provável que algumas peculiaridades das moléculas do herbicida trifluralin confirmam-lhe maior afinidade com seu local de ação em comparação aos demais herbicidas. Isto é, a atividade herbicida de um composto é um fenômeno biológico e nem sempre pode ser modelada apenas pelas suas características físico-químicas. Isso explicaria porque a segunda hipótese descrita anteriormente nessa LE não foi confirmada com dos dados obtidos nas variáveis avaliadas.

Em uma terceira hipótese, supôs-se que os herbicidas pouco solúveis em água (pendimethalin e trifluralin) apresentariam melhor eficácia final do controle da infestação do papuã. Isso ocorreria porque esses compostos estariam menos sujeitos ao processo de dissipação via lixiviação, o que resulta em maior período com ação residual no solo. Nesta situação, os demais herbicidas usados (dimethenamid e S-metolachlor) teriam menor desempenho, devido à maior solubilidade desses em relação àqueles (Tabela 1).

Os resultados do controle final das plantas de papuã corroboraram a hipótese proposta (Tabela 10). Além disso, as demais variáveis apóiam que pendimethalin e trifluralin reduziram mais a infestação final dessa planta do que os demais herbicidas (Tabelas 11 a 13). Todavia, vale lembrar que em alguns casos não se verificou superioridade do controle final do papuã com o pendimethalin em relação ao dimethenamid e S-metolachlor .

Em estudo similar, feito na mesma área experimental e com a mesma finalidade deste para a cultura do milho, verificou-se que trifluralin apresentou maior controle final (55 DAE) do papuã em relação aos herbicidas residuais acetochlor e metolachlor (Spader & Vidal, 2000). Nesse experimento, obteve-se controle final de 70% com a aplicação de  $1,8 \text{ kg ha}^{-1}$  de trifluralin, de forma análoga aos resultados deste estudo (Tabela 10). Todavia, noutro estudo, o controle de *Eragrostis plana*, aos 60 dias após a aplicação, não diferiu entre os herbicidas S-metolachlor e trifluralin (Goulart *et al.*, 2009).

No presente trabalho, constatou-se intensa quantidade de precipitações pluviais nos primeiros dias após a aplicação a campo dos herbicidas residuais (Apêndice 4). De fato, nos três primeiros decêndios, notou-se aumento de duas vezes no regime hídrico em comparação à média histórica da região (Bergamaschi *et al.*, 2003). Deste modo, é coerente deduzir que o mecanismo de lixiviação tenha se constituído em um processo importante de dissipação de herbicidas no ambiente.

A magnitude da lixiviação no perfil do solo de qualquer composto herbicida depende das suas características físico-químicas, em especial da sua solubilidade em água (S). Neste estudo, usaram-se herbicidas residuais que apresentam distintos valores de S entre si, o que lhes atribui diferenciação quanto ao potencial de lixiviação (Tabela 1). Assim, é coerente presumir que pendimenthalin e trifluralin apresentaram menor lixiviação no solo em relação à dimethenamid e S-metolachlor nesse estudo.

Simulando-se que, aos 40 após a aplicação, a profundidade de lixiviação fosse 2,0, 1,0, 0,2 e 0,1 cm, respectivamente, para os herbicidas dimethenamid, S-metolachlor, pendimenthalin e trifluralin, pode-se estimar concentração de 0,02, 0,04, 0,21 e 0,35  $\text{mols m}^{-3}$  de solo, respectivamente,

para a mesma sequência de compostos. Essa estimativa da densidade molar de cada herbicida testado auxilia a explicar porque trifluralin obteve maior eficácia do controle das plantas de papuã, uma vez que a sua concentração era superior em relação aos demais herbicidas. Cabe destacar que os cálculos realizados não consideraram outros processos de dissipação dos herbicidas, os quais podem ter modificado sua concentração no solo.

Existem, atualmente, muitas evidências da lixiviação de herbicidas do grupo das cloroacetamidas em função do acúmulo de chuvas ou de irrigação logo após a aplicação. Em colunas de solo, observou-se que, com chuva de 45 ou 90 mm após a aplicação de  $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de dimethenamid, houve elevada lixiviação (Paes *et al.*, 1999). Destaca-se que o solo desse estudo tinha  $270 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e  $12 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica, o que o torna semelhante ao solo da área experimental desse estudo.

Para o herbicida metolachlor, também tem sido mencionado na literatura científica a possibilidade de elevada lixiviação após a ocorrência de precipitações (Inoue *et al.*, 2003). Além disto, solos com baixos teores de argilas e matéria orgânica possuem maior predisposição à ocorrência de lixiviação de metolachlor (Procópio *et al.*, 2001). Por exemplo, verificou-se em um solo com  $9 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica que mais de 45% do produto localizava-se até 30 cm do perfil do solo (Weber, 2003). Em outro estudo, cujo solo tinha  $70 \text{ g kg}^{-1}$  de argila e  $9 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica, esse herbicida lixiviou com apenas 13 mm de precipitação (Barnes *et al.*, 1992).

### **5.3 Interferência do papuã no feijoeiro comum (LE3)**

O primeiro ponto a se destacar nessa discussão se refere à metodologia utilizada nesta LE3. O uso de herbicidas residuais proporcionou

grande variação na infestação de papuã na área experimental, conforme previamente relatado por Vidal *et al.* (2004). Salienta-se que não se constatou atividade dos produtos sobre o feijoeiro comum, ou seja, não houve fitointoxicação aparente das plantas (Figuras 4A e 4B). Assim, as diferenças observadas originaram-se do efeito indireto dos tratamentos sobre a infestante e consequente interferência desta no desempenho da cultura.

Uma hipótese desta LE era que haveria redução do rendimento agrônômico do feijoeiro comum em função do incremento do nível de infestação do papuã. Isto ocorreria devido ao aumento dos processos de interferência negativa entre as ambas as espécies, especialmente a competição por recursos do meio. Como consequência, haveria redução do potencial de crescimento, desenvolvimento e produtividade de grãos das plantas cultivadas de feijão comum.

Pôde-se verificar que a interferência do papuã afetou negativamente a cultura do feijão comum (Tabelas 18 e 19). De fato, nas duas cultivares, o rendimento de grãos, o número de legumes  $m^{-2}$ , o número de grãos  $legume^{-1}$  e a massa do grão sofreram redução da sua magnitude em função do aumento da infestação desta planta daninha (Figuras 4 e 5). Salienta-se que houve diferenciação no grau de interferência da infestante para a maioria destes caracteres em função da cultivar de feijão comum utilizada.

Em estudos similares, feitos para avaliar o impacto das plantas daninhas sobre a cultura do feijão comum, confirmou-se que a hipótese proposta pode ser aplicada para outras infestantes. Verificou-se, por exemplo, que a densidade de *Solanum sarrachoides* influi em grande parte do rendimento agrônômico do feijoeiro comum (Blackshaw, 1991). Em trabalho similar,

feito com populações de *Panicum miliaceum*, observou-se relação inversa entre o grau de infestação e a produtividade (Wilson, 1993).

Neste trabalho, verificou-se que a produtividade de grãos da cultura do feijão comum apresenta relação direta e positiva com os seus principais componentes da produção (Tabela 21). Portanto, quaisquer fatores que reduzam a magnitude destes componentes devem, por consequência, limitar o rendimento de grãos potencial da cultura. Especula-se que a redução do desempenho da cultura tenha ocorrido por um ou mais desses estresses: deficiência hídrica, deficiência nutricional ou redução da radiação.

O estresse por deficiência hídrica pode ter afetado o desenvolvimento das estruturas reprodutivas das plantas de feijão comum e, conseqüentemente, os componentes do rendimento de grãos. De fato, constata-se que a cultura sofreu estresse hídrico a partir do estágio R<sub>5</sub>, em função da reduzida disponibilidade de chuvas neste período (Apêndice 4). Especula-se que a presença do papuã possa ter diminuído a tensão de água no solo, o que deve ter acarretado em elevada deficiência hídrica ao feijoeiro comum.

Os efeitos da deficiência hídrica na fase reprodutiva do feijoeiro comum estão descritos na literatura. Nesta fase, a falta de água no solo causa abscisão e subdesenvolvimento de órgãos reprodutivos, em especial de flores e de legumes (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2009). Além disso, verifica-se menor fertilização de óvulos viáveis em desenvolvimento nas flores, que resulta em menor número de grãos legume<sup>-1</sup> (Nielsen & Nelson, 1998). Assim, tal estresse tende a reduzir os principais componentes da produtividade da cultura.

Outra especulação para os resultados obtidos se refere aos efeitos do estresse por deficiência mineral. Presume-se que o papuã tenha reduzido a disponibilidade de nutrientes no solo, o que deve ter afetado o crescimento e o

desenvolvimento das plantas de feijão comum. Neste caso, o papuã deve ter competido principalmente pelos nutrientes que mais acumula nos tecidos, tais como nitrogênio e potássio (Carvalho *et al.*, 2007). Neste trabalho, demonstrou-se que mais de 100 mg de nitrogênio e mais de 200mg de potássio podem ser retidos por cada indivíduo de papuã durante seu ciclo de vida.

Ressalta-se que, nos três primeiros decêndios dos experimentos, verificaram-se diversas precipitações pluviais na área experimental, as quais totalizaram mais de 400 mm (Apêndice 4). Como consequência, parte do nitrogênio e do potássio aplicados na semeadura da cultura devem ter sido lixiviados para camadas subsuperficiais do solo. Este fato pode ter aumentado ainda mais a competição entre o papuã e o feijão comum pelos íons remanescentes destes nutrientes no solo da área.

Especula-se também que o estresse pela redução da radiação solar disponível pelo papuã tenha limitado a taxa fotossintética das plantas de feijão comum na fase reprodutiva. Nesta situação, pode ter havido redução da quantidade de fotoassimilados armazenados nos grãos, o que tende a reduzir a massa média do grão (Vassey *et al.*, 1991). De fato, a massa do grão foi definida entre o sexto e o sétimo decêndios da cultura, período em que papuã apresenta máxima área foliar, acúmulo de biomassa e capacidade de interceptação da radiação solar (Carvalho *et al.*, 2007).

Noutra hipótese deste trabalho, presumiu-se que o papuã poderia interferir no rendimento de grãos do feijoeiro comum através de um ou mais dos seus componentes da produção. Isto ocorreria pelo fato desta espécie influenciar tanto o rendimento de grãos quanto seus componentes, o que indica um sistema de inter-relações entre essas variáveis. Deste modo, a infestante

poderia interferir diretamente sobre o rendimento de grãos, ou ainda, indiretamente através dos seus componentes da produção.

Um maior detalhamento desta hipótese é dado no diagrama causal criado para a análise (Figura 17). Nesse pode-se verificar as possíveis formas através das quais as variáveis consideradas relacionam-se, gerando efeitos diretos e indiretos sobre o rendimento de grãos. As relações de causa e efeito apontadas foram baseadas em estudos de análise de trilha para a cultura, como em Duarte & Adams (1972) e Furtado *et al.* (2002), entre outros.

Cabe destacar que esta hipótese inicial, embora considerada plausível, não foi explorada na íntegra neste trabalho. Verificou-se que, em alguns casos, não houve relação linear entre as variáveis, o que não contempla o principal requisito para a realização desta análise (Figura 17). Deste modo, pôde-se avaliar apenas os efeitos dos componentes da produção sobre o rendimento e inferir indiretamente sobre o efeito do papuã nessas características.

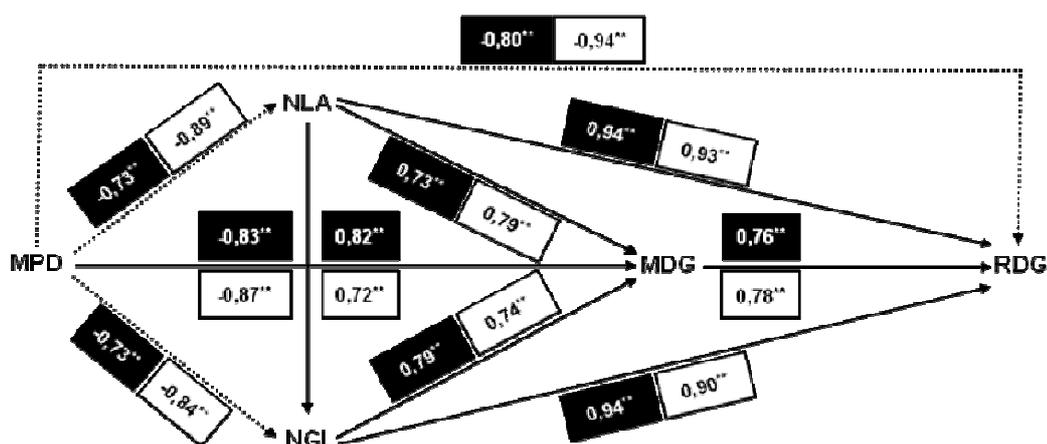


FIGURA 17. Diagrama causal<sup>a</sup> para os efeitos diretos e indiretos da massa do papuã (MDP), número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL) e massa do grão (PMG) sobre o rendimento de grãos (RTG). Quadrados escuros indicam a cultivar 'IPR Graúna' e quadrados brancos a cultivar 'UTF-06'. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Linhas contínuas indicam relação linear (coeficientes de trilha) e linhas pontilhadas indicam relação não linear (coeficientes de correlação).

<sup>b</sup>Valor não significativo (ns) e significativo a 1% de probabilidade do erro experimental (\*\*).

Neste trabalho, verificou-se pelas análises de correlação e de trilha que o número de legumes  $m^{-2}$  e o número de grãos legume $^{-1}$  apresentaram as maiores correlações com o rendimento de grãos e, também, os maiores efeitos diretos sobre a expressão dessa característica. Em oposto, a massa do grão foi o caractere que menos se correlacionou com a produtividade de grãos, além de não apresentar coeficientes de trilha significativos. Saliencia-se ainda que o efeito do número de legumes  $m^{-2}$  através do número de grãos legume $^{-1}$  constou do único efeito indireto relevante do modelo (Tabelas 22 e 23).

Não se encontrou na literatura científica nenhum trabalho com a utilização da análise de trilha para quantificar a interferência de plantas daninhas na cultura do feijão comum. Em estudos relativos ao melhoramento genético, como em Coimbra *et al.* (1999) e Furtado *et al.* (2002), também se notou que o número de legumes área $^{-1}$  foi o componente da produção que mais influenciou o rendimento de grãos da cultura. Além disso, observou-se nestes estudos que o número de grãos legume $^{-1}$  e a massa do grão tiveram elevados efeitos diretos e indiretos sobre a produtividade de grãos.

Um coeficiente de trilha é uma medida do grau de influência de uma variável sobre outra, ou ainda, uma estimativa da relação de causa e efeito dessas variáveis (Pedhazur, 1982). Assim, se uma variável apresenta pequena amplitude de variação, provavelmente não será possível determinar uma forte correlação entre esta característica e qualquer outra, ou essa associação apresentará pequeno coeficiente de trilha. No presente trabalho, a massa do grão apresentou menor amplitude de variação em relação aos demais componentes da produção (Tabelas 18 e 19), o que explica os baixos valores dos coeficientes de trilha obtidos para esta característica. Análises de trilha para feijão comum (Gonçalves *et al.*, 2003) e soja (Carvalho *et al.*, 2002)

também relatam que a massa do grão apresentou menor correlação e efeito direto sobre o rendimento de grãos em relação às demais características.

Os componentes do rendimento de grãos do feijoeiro comum incluem o número de legumes área<sup>-1</sup>, o número de grãos legume<sup>-1</sup> e a massa do grão. Dentre estes, o primeiro é o mais influenciado pelas práticas de manejo da cultura e estresses ambientais, enquanto os demais possuem maior controle genético individual (Fageria & Santos, 2008). Apesar disso, no presente estudo, onde a cultura desenvolveu-se sob o estresse da interferência do papuã, verificou-se que o número de grãos legume<sup>-1</sup> apresentou grande plasticidade fenotípica e efeito direto sobre o rendimento de grãos, diferindo daquele padrão normal de resposta supracitado para esta condição. Assim, especula-se que a cultura apresentou efeito compensatório nos componentes da produção, sendo esse manifestado pela redução proporcional da contribuição do número de legumes m<sup>-2</sup> em relação ao número de grãos legume<sup>-1</sup>. A capacidade do feijoeiro comum compensar a falta ou excesso de um componente da produção pela modificação ou ajuste nos demais é relatada por estudos de manejo da cultura, tais como em Shimada *et al.* (2000) e Ribeiro *et al.* (2004).

Neste trabalho, os resultados da análise de correlação e da análise de trilha assemelharam-se, uma vez que ambas as técnicas indicaram o número de legumes m<sup>-2</sup> e o número de grãos legume<sup>-1</sup> como as variáveis mais explicativas do rendimento de grãos. Apesar disso, ressalta-se a maior relevância da análise de trilha, pelo fato da mesma permitir a formulação de conclusões de causa e efeito entre estas variáveis. Com isso, adquire-se maior segurança para se aplicar os resultados obtidos a um objetivo final, que neste caso é subsidiar o controle de infestantes no feijoeiro comum.

Os resultados obtidos permitem afirmar que os efeitos negativos da interferência das plantas daninhas que ocorrem logo após a definição do número de grãos legume<sup>-1</sup> parecem ter pouca importância para o rendimento de grãos da cultura do feijão comum. Portanto, maior benefício com o controle destas plantas pode ser atingido aplicando-se as táticas de controle disponíveis no início do desenvolvimento do feijoeiro comum, especialmente no período em que os ramos da parte aérea estão sendo formados.

#### **5.4. Nível crítico de dano do papuã no feijoeiro comum (LE4)**

A hipótese central da LE4 era que a interferência de cada planta de papuã propiciaria pequena perda percentual sobre o rendimento de grãos do feijoeiro comum. Isso ocorreria porque, supostamente, essas espécies ocupam nichos ecológicos distintos no ambiente, o que acarreta em menor grau de competição por recursos. Além disso, o uso de herbicidas residuais poderia ter afetado o desenvolvimento inicial das plantas de papuã, o que propiciaria vantagem competitiva para a cultura.

Cabe destacar que, para avaliar a hipótese supracitada neste trabalho, utilizaram-se valores referência de níveis de crítico de dano (NCD) para o feijoeiro comum (Zimdahl, 2004; Vidal *et al.*, 2010). Deste modo, assumiu-se a seguinte classificação quantitativa dos valores de NCD para o feijão comum: baixo (0,1 a 1,0%), médio (1,1 a 2,5%) e alto (2,6% ou mais). Assim, pôde-se categorizar cada valor obtido de NCD e inferir sobre a magnitude da perda percentual do papuã sobre as cultivares de feijão comum.

No presente trabalho, os valores obtidos para a perda percentual de produtividade de feijão comum, causada pela adição de cada planta de papuã, confirmam que pode ser pequena a competição quando espécies com nichos

distintos convivem no mesmo ambiente. De fato, os valores dos NCD obtidos variaram de 0,2 a 0,7% entre modelos e cultivares de feijão comum, sendo classificados como “baixos” (Tabela 24; Figura 7). Resultados semelhantes foram descritos para *Panicum miliaceum* em convivência com o feijão comum, onde também se tiveram baixos valores de NCD (Wilson, 1993).

Especula-se que a baixa perda percentual (NCD) da produção de grãos observada neste trabalho se deva à reduzida interferência imposta pelo papuã sobre o feijoeiro comum. Com efeito, essa infestante apresenta características morfofisiológicas distintas da cultura e, provavelmente possui requerimentos distintos dos recursos do meio. Ademais, é possível que o uso de herbicidas residuais tenha causado injúrias nas plantas de papuã, o que reduziria sua habilidade competitiva com a cultura. Em conjunto, todos esses aspectos permitem especular que os valores de NCD foram baixos, o que indica pequena interferência individual do papuã na cultura.

Em outros trabalhos, feitos com a mesma finalidade deste para outras espécies de plantas daninhas, verificou-se que a hipótese ora testada pode não ser válida em todas as situações. Ao se avaliar a perda de produção de feijão comum devido à competição com *Setaria viridis*, o valor estimado do NCD variou entre 1,9 e 3,3% (Mesbah *et al.*, 2004). Estudo similar, feito com a espécie *Digitaria sanguinalis*, evidencia que a perda individual pode atingir valores entre 9,3 a 38,7% (Aguyoh & Masiunas, 2003a). Isso demonstra que outros fatores, além da espécie e da população das plantas infestantes, podem afetar a magnitude das perdas de produção da cultura.

A interação entre muitos fatores acarreta em elevada variação da magnitude do NCD no agroecossistema. Dentre esses fatores, destacam-se o arranjo de plantas da cultura (Agostinetto *et al.*, 2005), a época de emergência

da cultura em relação às infestantes (Rizzardi *et al.*, 2003) e o nível de fertilidade do solo (Cathcart & Swanton, 2003). Assim, o ambiente e as práticas de manejo da cultura têm elevada influência nas relações de interferência interespecíficas, as quais podem assumir importância superior à da densidade de infestantes na redução da produção da cultura.

Considerando-se que o preço do feijão comum tradicionalmente tem sido de R\$ 60 saca<sup>-1</sup>, que o custo do controle de plantas daninhas tem sido de aproximadamente R\$ 50 ha<sup>-1</sup> e uma situação de baixo nível de interferência da planta daninha na produtividade (NCD=0,4%), verificou-se ser econômico controlar o papuã com cerca de 5 e 7 plantas m<sup>-2</sup>, para as cultivares de IPR Graúna e UFT-06, respectivamente. Essa constatação evidencia ser adequado controlar o papuã na maioria das situações, em virtude do elevado grau de infestação das áreas agrícolas com a espécie.

Os resultados deste estudo quantificam a interferência do papuã sobre o rendimento de grãos de feijão comum. Contudo, destaca-se que esses resultados limitam-se a evidenciar os efeitos do papuã apenas quando medidas de controle são realizadas precocemente e ocorrer reinfestação da área após a emergência da cultura (Vidal *et al.*, 2004). Especula-se que essas condições se aproximam da realidade do agricultor, onde ocorrem fluxos de emergência das infestantes após a implantação da cultura.

Pela discussão ora apresentada, pode-se sumarizar, em termos gerais, que a interferência de cada planta do papuã pode ser classificada como baixa na cultura do feijão comum. Esse resultado tende a se confirmar especialmente nas áreas agrícolas onde foram aplicados herbicidas residuais, de forma análoga ao presente estudo. Todavia, salienta-se que

essa espécie daninha pode ocorrer em elevadas densidades nas lavouras, o que pode ocasionar elevada perda de produção de feijão comum.

Outra hipótese deste trabalho era que haveria diferenciação na competitividade relativa com a planta daninha em função da cultivar de feijão comum avaliada. Isso ocorreria porque as cultivares apresentam características morfofisiológicas peculiares, as quais influenciam a sua habilidade competitiva com as infestantes. Salienta-se que, neste trabalho, escolheram-se cultivares com características bem diferentes para provocar variação no impacto do papuã sobre as mesmas (Tabela 2).

A habilidade competitiva com o papuã, avaliada com base na magnitude do NCD, variou entre as duas cultivares de feijão comum avaliadas nestes estudo (Figuras 7 a 9). Os resultados demonstram que, em todas as situações, a cultivar IPR Graúna foi menos competitiva com o papuã, em relação à cultivar UTF-06 (Tabela 24). Esses resultados confirmam os estudos de Andrade *et al.* (1999) e Teixeira *et al.* (2009), entre outros, nos quais também se observaram diferenças na competitividade de genótipos de feijão comum em convivência com plantas daninhas.

No presente trabalho, admitiu-se que o parâmetro  $b$ , pertencente ao modelo hiperbólico (modelo 1), também é um índice para avaliar a competição de espécies e cultivares com infestantes. Assim, quanto mais elevado for o valor estimado para esse índice, maior será a habilidade competitiva do genótipo sob análise com as plantas daninhas. A utilização do parâmetro  $b$  confirmou que a cultivar UTF-06 apresentou maior competitividade com o papuã, em comparação à cultivar IPR Graúna (Tabela 24). Vale salientar que, até então, não se encontrou nenhum trabalho com a aplicação desse parâmetro do modelo hiperbólico para a finalidade supracitado.

Alguns estudos têm relacionado a magnitude da competitividade das cultivares de feijão comum com características morfofisiológicas das plantas dessa cultura (Andrade *et al.*, 1999). As principais características incluem o hábito de crescimento, o ciclo de desenvolvimento da cultura e o número de ramificações das plantas de feijão comum. Observou-se que plantas com hábito ereto, como se verifica na cultivar IPR Graúna, apresentaram habilidade competitiva inferior com infestantes a daquelas com hábito semi-ereto, como observado em UTF-06 (Teixeira *et al.*, 2009).

Neste trabalho, a escolha das cultivares baseou-se no hábito de crescimento das plantas (Tabela 2), de modo que IPR Graúna possui hábito ereto (tipo II) e UTF-06 semi-ereto (tipo II-II). Portanto, é coerente especular que essa segunda cultivar propiciou maior cobertura do solo e sombreamento das plantas de papuã em comparação à primeira cultivar, competindo mais eficientemente pela captação e uso do recurso luz. Nesse caso, deve ter havido redução da taxa fotossintética das plantas de papuã devido a limitação de luz, o que minimizou o seu potencial de dano à cultura.

O feijoeiro comum é cultivado na maioria das situações em propriedades com pequenas áreas, nas quais os métodos de controle das infestantes nem sempre ocorrem com elevada eficácia. Deste modo, a utilização de cultivares mais competitivas assume grande importância, principalmente, nas situações de baixo nível de manejo do feijoeiro comum. A vantagem em se utilizar cultivares de feijão comum mais competitivas reside na sua habilidade competitiva inicial com as infestantes (Bianchi *et al.*, 2006). De fato, durante a fase vegetativa se estabelecem as relações de competição que mais afetam a produção de grãos do feijoeiro comum, devendo-se manter a cultura no limpo, de forma geral, dos 20 aos 40 dias após a emergência da cultura.

Essa discussão evidenciou que a cultivar UTF-06, de hábito semi-ereto, apresentou maior habilidade competitiva com o papuã em comparação à cultivar IPR Graúna, de hábito ereto. Isso confirmou que pode haver diferença entre a resposta das cultivares de feijão comum com relação à competição que lhes é imposta pelas plantas daninhas. Além disso, corroborou-se que as características morfológicas que favorecem a competitividade das cultivares são a arquitetura da planta e o número de ramificações.

Uma outra hipótese desta LE era que a biomassa das plantas seria mais apropriada para caracterizar o nível de infestação do papuã do que a sua densidade de plantas. Isso ocorreria porque as funções de dano baseadas na densidade de plantas geralmente ignoram a hierarquia de desenvolvimento entre os indivíduos. Deste modo, o uso de medidas que delimitam o tamanho das plantas, como a massa das plantas frescas ou das plantas desidratadas, tenderia a ajustar melhor os modelos de interferência das infestantes na produção do feijoeiro comum.

Nesse trabalho, tanto o uso da densidade de plantas como da massa das plantas de papuã frescas ou desidratadas propiciou ajuste satisfatório dos dados de perda de produção (Figuras 7 a 9). De fato, verificou-se que os valores médios obtidos para o coeficiente de correlação praticamente não diferiram entre as três variáveis explicativas (Tabela 24). Assim, as diferenças observadas na qualidade do ajuste estiveram mais associadas aos efeitos das cultivares de feijão comum e as datas de avaliação do papuã.

Resultados semelhantes aos obtidos nessa LE foram descritos por Fleck *et al.* (2002a) e Fleck *et al.* (2004). Em ambos os estudos, verificou-se que os ajustes médios dos dados praticamente não diferiram entre a densidade e a massa das plantas daninhas desidratadas. Outros trabalhos, realizados

com as espécies *Echinochloa* sp. ou *Oryza sativa* em arroz irrigado, também anotam que a densidade e a massa das plantas pouco diferiram no ajuste dos dados ao modelo (Agostinetto *et al.*, 2004; Galon *et al.*, 2007a). Nesses casos, não se elaborou uma boa explicação para o fato da densidade conferir ajuste dos dados semelhante ao da massa das plantas daninhas.

Em minha opinião, uma explicação para a densidade de plantas propiciar ajuste semelhante ou superior ao da massa das plantas consiste do auto-ajuste da massa individual. Com efeito, os vegetais têm a capacidade inata para diminuir seu crescimento quando a exploração dos recursos do meio torna-se gradualmente limitada. Assim, nos estudos citados, pode ter ocorrido auto-ajuste da massa por planta e, como consequência, redução da previsão das perdas de produção. Ainda, nestes estudos, utilizaram-se plantas daninhas com características similares às das culturas, o que tende a aumentar a intensidade dos processos de interferência e a ocorrência do fenômeno de auto-ajustamento das plantas.

No presente trabalho, pode-se especular que o fenômeno supracitado também limitou a massa das plantas de papuã como variável explicativa das perdas de produção da cultura (Tabela 25). De fato, observou-se redução exponencial da massa das plantas desidratadas de papuã em decorrência do incremento da sua própria densidade (Figura 10). Resultados semelhantes são descritos para populações mistas de *Bidens pilosa* e *B. subalternans* em convivência mútua com a cultura da soja (Fleck *et al.*, 2002a). Vale destacar que poucos trabalhos relatam a ocorrência de auto-ajuste para plantas anuais, uma vez que o fenômeno somente ocorre em populações muito elevadas; portanto, de forma análoga às densidades verificadas neste estudo.

A competição por recursos do ambiente regula a dinâmica do crescimento das plantas de uma população, sendo a sua intensidade dependente da densidade populacional. Assim, quando uma população inicia o crescimento sob densidades elevadas, a massa por planta é limitada pela divisão dos recursos finitos entre os indivíduos. O auto-ajuste descreve como a massa por planta e a densidade populacional são dinâmicas e relacionadas ao longo do tempo, conforme descrito na Equação 15:

$$M = cD^{-k} \quad (\text{Equação 15})$$

onde, 'M' é a massa por planta ( $\text{g m}^{-2}$ ), 'D' é a densidade ( $\text{plantas m}^{-2}$ ), 'c' é a assíntota de máximo valor e 'k' é coeficiente de declividade da curva de regressão do tipo exponencial. O parâmetro 'k' representa, em teoria, a intensidade do processo de auto-ajustamento, sendo que o seu valor depende sobretudo das características da espécie vegetal e da capacidade de suporte do meio (Yoda *et al.*, 1963; Enquist *et al.*, 1998).

Os valores de 'k' obtidos para as populações de papuã em convivência com a cultura foram de -0,19 e -0,52, respectivamente, com as cultivares de feijão comum IPR Graúna e UTF-06 (Tabela 27). Esses valores podem ser considerados como baixos, uma vez que, para ocorrer 'auto-desbaste', necessitam-se valores em torno de -1,5 (Yoda *et al.*, 1963). Mas, neste estudo, houve morte de plantas de papuã com o aumento da infestação do papuã, em especial nas parcelas que atingiram mais de 1.000 plantas  $\text{m}^{-2}$ .

Nesta LE4, verificou-se que as avaliações da infestação do papuã feitas aos 40 DAE propiciaram melhor qualidade de ajuste em relação aos dados coletados aos 20 DAE (Tabela 24). Porém, essa informação é pouco

útil para a implementação de medidas de controle, uma vez que o controle do papuã deve ser realizado antes do período de 40 DAE. Ela serviria apenas para eventuais estimativas tardias de perdas de rendimento causadas por infestantes que não foram controladas ou escaparam do controle.

Os resultados obtidos neste trabalho não suportaram a hipótese de que a massa das plantas de papuã aumentaria a precisão do ajuste dos modelos de perda de rendimento do feijoeiro comum. Contudo, deve-se considerar que as variáveis que contemplam o tamanho das plantas tendem a possuir maior estabilidade entre ambientes (Lutman *et al.*, 1996). De fato, não se verificou efeito do ambiente quando os dados de *Bidens* sp. em competição com soja foram ajustados com a variável massa das plantas, diferentemente do observado para a densidade de plantas (Fleck *et al.*, 2002a).

### **5.5. Controle do papuã com herbicidas gramínicos (LE5)**

Em uma hipótese da LE5 se propôs que o uso de doses reduzidas de herbicidas gramínicos não comprometeria a eficácia do controle das plantas de papuã. De fato, estes herbicidas poderiam promover elevado nível de controle dessa infestante, visto que ela apresenta elevada susceptibilidade aos produtos testados. Além disso, poder-se-ia definir uma dose ótima (DOA) para os herbicidas testados na redução da infestação do papuã em pós-emergência do feijoeiro comum.

Com efeito, não se detectaram diferenças numéricas entre os efeitos das doses equivalentes a 80 e 105% da máxima registrada para as três herbicidas gramínicos avaliados (Figura 11). Além disso, a redução da dose plena desses produtos em até 50% não alterou numericamente a magnitude do rendimento de grãos da cultura (Figura 12). Estes dados confirmam que

se pode reduzir até certo limite a dose registrada de herbicidas graminicidas sem interferir na eficácia do controle das plantas de papuã.

O valor da DOA para o controle em pós-emergência do papuã na cultura do feijão comum, ou índice  $R_{95}$ , também foi inferior ao valor da dose recomendada para os três herbicidas. Dentre esses, clethodim necessitou de menor quantidade de ingrediente ativo para atingir a DOA, em todas as comparações com os demais herbicidas testados. Contudo, quando os dados foram normalizados em percentual em relação à dose recomendada, não se observaram tais diferenças entre os herbicidas (Tabela 26).

Trabalhos com redução da dose de herbicidas têm mostrado resultados semelhantes aos deste estudo. De fato, verificou-se que o uso da dose registrada ou meia dose de haloxyfop-metil ou sethoxydim não diferiram no controle do papuã (Fleck *et al.*, 1995). Noutras pesquisas, demonstrou-se que a dose de clethodim pode ser reduzida em 38% sem comprometer o controle dessa infestante (Fleck *et al.*, 1997; 2008). Em uma série de estudos, também se constatou que subdoses de fluazifop-p-butyl reduziram a infestação de *Brachiaria* spp. em feijão comum (Silva *et al.*, 2005; 2006).

Os herbicidas clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl inibem a enzima acetil-coA carboxilase (ACCase). Esses produtos são empregados para controlar espécies gramíneas com ação seletiva para culturas latifoliadas, como o feijão comum (Vidal *et al.*, 2000). Com efeito, não se observaram sintomas visuais de danos por esses herbicidas à cultura, embora as plantas de papuã tenham sido injuriadas pelos mesmos. Era provável que tal fato ocorresse porque o tipo da enzima ACCase de gramíneas possui sensibilidade à ação dos três herbicidas avaliados (Sasaki *et al.*, 1995). Em latifólias, porém,

existe também outra forma dessa enzima que é insensível àqueles herbicidas, conferindo-lhes a capacidade de tolerar a ação dos mesmos.

Uma das premissas para se reduzir a dose de herbicidas é a aplicação sobre plantas na fase inicial, período de maior sensibilidade a estresses dessas espécies (Kudsk, 2008). No presente trabalho, as plantas de papuã apresentavam de 1 a 4 filhos no momento da aplicação, sendo consideradas de tamanho 'pequeno' ou 'mediano'. Isso deve ter favorecido a eficácia das doses reduzidas dos herbicidas, uma vez que a infestante ainda apresentava-se em estágio suscetível (Fleck *et al.*, 2008). Portanto, pode-se especular que os resultados obtidos não se sustentariam se o papuã estivesse sendo controlado em estágio de desenvolvimento mais avançado.

Hipotetizou-se, também, que haveria diferenças entre os efeitos das subdoses dos três herbicidas gramínicos na redução da infestação do papuã em pós-emergência da cultura. Isso ocorreria porque diversos fatores condicionam a absorção e a atividade desses produtos, em especial as suas características físico-químicas (Apêndice 2). Para melhor discutir o efeito dos diferentes fatores que interferem na absorção dos herbicidas, pode-se modelar o fluxo difusivo (Vidal *et al.*, 2002), conforme a Equação 16:

$$FD = [(P)*(T)*(C_e - C_i)] / [(r)*(V)*(E)*(L)] \quad (\text{Equação 16})$$

onde, 'FD' é o fluxo difusivo ( $\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); 'P' é a partição octanol:água ( $\text{ml g}^{-1}$ ), ou o valor do  $K_{OW}$ , 'T' é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), 'C<sub>e</sub>' e 'C<sub>i</sub>' é a densidade molar no exterior e interior, respectivamente ( $\text{mol cm}^{-3}$ ), 'r' e 'v' são o raio ( $\mu\text{m}$ ) e a viscosidade da molécula ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ), respectivamente; e, 'E' e 'L' são as medidas da espessura e tortuosidade da cutícula (mm), respectivamente.

Os resultados obtidos para redução da infestação do papuã não corroboraram tal hipótese (Figura 11). De fato, não se detectaram diferenças significativas entre os efeitos dos três herbicidas, quando aplicados em uma mesma dose percentual equivalente (Tabela 28). Pode-se especular que existam pelo menos três diferentes possibilidades que interagiram a ponto de não se detectarem diferenças entre os herbicidas avaliados.

Primeira, é provável que os herbicidas testados neste trabalho apresentem grandes semelhanças entre si com relação aos processos de absorção e translocação (Sasaki *et al.*, 1995). De fato, as características de clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl lhes conferem rápida absorção e translocação através do floema (Vidal & Merotto, 2001). Como consequência, o desempenho agrônômico desses compostos também não deve diferir, especialmente quando são aplicados em doses equivalentes.

Segundo, especula-se que a adição de óleo mineral à calda de aplicação pode ter mitigado possíveis diferenças significativas em termos de absorção dos herbicidas (Stock *et al.*, 1992). É possível que esse adjuvante aumente o molhamento da folha e reduza a tensão superficial da calda, o que incrementaria a difusão na cutícula (Hess & Falk, 1990). Pode-se ter, assim, proporcionado elevada taxa de absorção para todos os produtos avaliados, em função da utilização do adjuvante no momento da aplicação.

Terceiro, é possível que as condições ambientais durante e após a aplicação dos tratamentos também tenham amenizado eventuais diferenças relativas à atividade dos herbicidas. Com efeito, no dia dessa aplicação, a temperatura variou de 16,5 a 26,2°C, a umidade do ar variou de 66,8 a 92,5% e a radiação solar alcançou até 426 cal cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Especula-se que tais

condições favoreceram a absorção e a translocação dos três herbicidas testados, garantindo-lhes a possibilidade de atingir o local de ação.

Outra hipótese da LE5 era que o valor da dose ótima econômica (DOE) dos herbicidas para controlar papuã seria menor do que a dose registrada para a cultura. Isso ocorreria porque o ganho de produção obtido com a dose plena dos herbicidas não seria suficiente para compensar o aumento monetário do custo do controle. Assim, especulou-se que a dose que maximiza a margem líquida (DOE) apresenta magnitude um pouco inferior em relação à dose máxima registrada para a cultura.

Não se constataram diferenças contrastantes entre a margem líquida obtida com as doses de 80 e 105% daquela dose máxima registrada para os herbicidas em feijão comum (Figura 13). Além disso, a dose necessária para otimizar a margem líquida foi de 77, 98 e 81%, para o clethodim, o sethoxydim e o fluazifop-p-butyl, respectivamente (Tabela 27). Estes resultados confirmam que a dose que proporcionou maior retorno econômico para a cultura foi inferior à dose máxima registrada para controlar o papuã.

Alguns trabalhos de avaliação econômica da dose de herbicidas mostram resultados semelhantes. Com efeito, verificou-se que a dose de cerca de 40% da máxima registrada de clodinafop-propargyl otimizou a renda líquida do trigo (Vidal & Kalsing, 2009). Em um estudo similar, a dose equivalente a 70% da plena de bentazon + imazamox propiciou o maior retorno econômico para o feijão comum (Trezzi *et al.*, 2010). Noutra pesquisa, também se verificou que a dose econômica para controlar picão-preto em soja correspondeu a 75% da dose recomendada (Rizzardi & Fleck, 2004).

No presente estudo, verificou-se que a dose necessária para se obter a máxima renda líquida da cultura foi inferior à dose máxima registrada para o

controle do papuã em feijão comum. De fato, o aumento da produção de grãos obtido com a utilização da máxima dose registrada não compensou os custos da adoção dessa medida de controle. Esse fato tem sido relatado e denominado como 'paradoxo da dose' (Vidal & Kalsing, 2009), pois explica a atitude dos agricultores em reduzir a dose dos herbicidas. Portanto, é possível que a dose de um herbicida que proporciona o maior lucro para a cultura não seja exatamente aquela registrada para o controle das infestantes.

Deve-se considerar, porém, que alguns riscos podem ocorrer com a utilização de doses herbicidas em níveis abaixo dos recomendados para o controle das plantas daninhas. Existe, de fato, maior possibilidade de se obterem prejuízos do que benefícios com tal prática, pois a margem líquida é modificada de acordo com a dose (Figura 13). Neste estudo, verificou-se que as doses inferiores a 50% da máxima registrada causaram prejuízo à cultura, com valores médios negativos para a margem líquida. Isso indica que o agricultor e(ou) extensionista deve ter cautela na decisão de reduzir a dose, especialmente para culturas de produção com alto valor econômico.

Outra consideração, relacionada aos riscos advindos da prática da redução da dose de herbicidas, refere-se ao uso de técnicas estatísticas para comparar o lucro entre tratamentos. No presente estudo, utilizou-se para essa finalidade a "DMS", a qual obteve o valor de R\$ 712,0 para comparar médias entre quaisquer tratamentos (Figura 13). Contudo, fica claro que esse comparador não é apropriado para tal propósito, pois seu valor é muito grande para encontrar diferenças importantes entre tratamentos.

### 5.6. Modelo bioeconômico (LE6)

Nesta última LE foi desenvolvido, automatizado e validado um modelo bioeconômico para selecionar medidas de controle químico do papuã na cultura do feijão comum. Na primeira parte dessa discussão serão abordados os aspectos teóricos relacionados ao desenvolvimento e validação do referido modelo bioeconômico. Na segunda parte será abordada a aplicação prática de um programa computacional (software) configurado para automatizar as simulações do modelo proposto.

Hipotetizou-se, nessa LE6, que a utilização de um modelo bioeconômico poderia auxiliar na decisão de selecionar medidas de controle do papuã no feijoeiro comum. Isso ocorria porque o agricultor poderia analisar os ganhos agronômicos e econômicos propiciados pelo uso de cada medida de controle químico através do modelo. Assim, poder-se-ia selecionar as opções com as melhores relações de custo:benefício, o que possibilitaria incrementar a margem líquida da cultura do feijão comum.

Pôde-se confirmar, em simulações realizadas em planilha de cálculo, que a utilização do modelo bioeconômico proposto auxilia a gestão do papuã no feijoeiro comum (Tabela 28). Com efeito, as informações geradas pelas funções 'dano' e 'controle' do papuã subsidiaram estratégias de controle para diversos cenários (Tabela 29). Deste modo, o usuário, ao inserir os dados solicitados pelo modelo, pode definir as opções de controle mais adequadas para as condições específicas da sua lavoura.

Um modelo similar, desenvolvido para auxiliar as ações de manejo de espécies de *Amaranthus* spp. em soja, permitiu aos agricultores selecionar opções para controlá-la (Dieleman *et al.*, 1996). Noutro estudo, um modelo de apoio ao controle de *Echinochloa crus-galli* em milho também foi desenvolvido

com a mesma finalidade (Bosnic & Swanton, 1997b). A aplicação prática das informações simuladas nesses modelos têm tornado mais eficazes e lucrativas as decisões de medidas de controle nas culturas citadas.

Os modelos bioeconômicos, tais como os supracitados, têm utilizado o nível de dano econômico (NDE) como critério de decisão para a tomada do controle de plantas daninhas. Todavia, o NDE apresenta diversas limitações que inviabilizam a sua aplicação na área de plantas daninhas, conforme relatado na introdução da dissertação (Item 3.1). Assim, neste trabalho, partiu-se da premissa de que sempre haverá a decisão do controle, o qual ocorrerá com base na simulação econômica do modelo (Tabela 29).

Na planilha de cálculos, pode-se verificar que a magnitude do impacto individual do papuã na cultura, ou NCD, representa um dos maiores limitantes da estimativa de modelos bioeconômicos. De fato, conforme a discussão desse assunto apresentada no item 3.4, o valor do NCD apresenta elevada variação no tempo e no espaço no agroecossistema. Então, no modelo proposto, buscou-se contornar esse problema com a simulação de três cenários de interferência do papuã sobre o feijoeiro comum. Cabe lembrar que esses valores foram definidos com base o valor NCD médio (0,7%) na LE4, assim como o valor do seu erro padrão ( $\pm 0,2\%$ ) (Tabela 28).

Vale mencionar ainda que, independente do valor do NCD, verifica-se nas simulações que o lucro obtido em cada opção de controle sempre ocupa a mesma posição em relação às demais. Todavia, ao se calcular a perda por interferência no cenário 'ruim' (NCD=0,9%), podem-se criar falsas expectativas por ocasião de menor condição competitiva, o que acarreta na diminuição do valor da margem líquida (Gerowitt & Heitefuss, 1990). Assim, sugere-se ao usuário do modelo utilizar o cenário 'bom' (NCD=0,5%), no qual as estimativas

de retorno econômico serão sempre atendidas e não influem na posição das medidas de controle propostas no modelo (Vidal *et al.*, 2010a).

Na análise de validação, confirmou-se que o modelo proposto estimou com precisão suficientemente boa os dados de perda de produção da cultura por interferência do papuã (Figura 16). Salieta-se que, nessa análise, compararam-se os dados simulados com os resultados de outra cultivar, o que aumenta a segurança nas conclusões do modelo. Portanto, ao ser “validado”, espera-se que as respostas obtidas com o referido modelo sejam similares àquelas observadas nas situações reais do agroecossistema.

Neste trabalho, desenvolveu-se um modelo bioeconômico com base em indexadores de um sistema real; mas, que não representam todos os sistemas de produção de feijão comum no Brasil. Todavia, é possível, se necessário, adaptar esse modelo para outras circunstâncias de produção, mediante mudanças nos seus principais indexadores técnicos. Para isso, dever-se-ia realizar análises de ordem agrônoma e econômica dos dados coletados em experimentos locais de forma equivalente ao presente estudo.

No Brasil e, de forma geral, nos demais países em desenvolvimento, poucos modelos foram desenvolvidos para subsidiar o controle de plantas daninhas nas áreas agrícolas. Ainda, os agricultores e extensionistas têm sido pouco propensos a utilizá-los para otimizar as decisões sobre o manejo das infestantes (Kalsing & Vidal, 2010b). Isso indica que, se não houver mudanças de concepção de gestão dessas espécies, o controle continuará a ocorrer sem um critério técnico ou econômico.

Em minha opinião, uma alternativa que favorece a aplicação dos modelos bioeconômicos na área de plantas daninhas consiste do uso de programas computacionais (softwares). Os softwares podem automatizar os

cálculos realizados pelos referidos modelos e tornar as escolhas das opções de controle ainda mais dinâmicas e precisas. Neste contexto, buscou-se explorar esse tema através da configuração de um programa computacional, conforme a discussão a seguir apresentada nesse capítulo.

Outra hipótese dessa LE era que as simulações realizadas pelo modelo proposto poderiam ser automatizadas através de programas computacionais. Isso ocorreria porque os softwares incorporam algoritmos simples (sequência de instruções) com capacidade de computar diversos cálculos pré programados. Deste modo, poder-se-ia configurar um programa automático para auxiliar em tempo real as decisões de controle do papuã na cultura do feijão comum.

O software configurado, denominado Sistema de Apoio à Gestão de Infestantes (SAGI Versão 1.0), apresentou simulações compatíveis com o modelo bioeconômico proposto. Com efeito, tal programa reproduziu fielmente os resultados obtidos na planilha de cálculos, quando se utilizaram os mesmos indexadores técnicos (Figuras 14 e 15). Assim, também se pode avaliar o impacto do papuã e as opções de manejo mais adequadas para otimizar o lucro obtido com o seu controle através do SAGI 1.0.

Mais de uma dezena de softwares já foram desenvolvidos para auxiliar o controle de infestantes na agricultura. Os produtos mais difundidos são o HERB<sup>®</sup> (Wilkerson *et al.*, 1991), o WeedSOFT<sup>®</sup> (Neeser *et al.*, 2004) e as versões da família HADSS<sup>®</sup> (Bennett *et al.*, 2003). Esses softwares são usados como mediadores da decisão de controle químico das plantas daninhas na condição de pós-emergência para diversas culturas. Vale registrar que todos os softwares foram construídos valendo-se parcial ou totalmente da plataforma de programação do HERB<sup>®</sup>, de forma análoga ao SAGI 1.0.

No Brasil, o único software até então desenvolvido na Herbologia foi denominado “Modelo bioeconômico de plantas daninhas na cultura do feijão comum” (Christoffoleti *et al.*, 2002). Esse programa informa sobre a necessidade de tomar uma medida de controle com base na previsão de perda de rendimento da cultura por interferência. Interessantemente, o software também foi desenvolvido para o papuã, o que sugere que as suas expectativas de perda sejam semelhantes às do SAGI 1.0.

No presente trabalho, foram empregados todos os esforços para desenvolver um programa de computador que auxiliasse os produtores de feijão comum na gestão do papuã. Contudo, dada a diversidade de sistemas cultivados com feijão comum no Brasil, presume-se que um programa pode não atender as necessidades de todas as regiões. Neste caso, pode-se modificar as bases de dados da plataforma do HERB<sup>®</sup> com indexadores locais, conforme a metodologia descrita para a configuração desse programa.

A primeira versão do SAGI foi desenvolvida para auxiliar somente no controle químico do papuã em feijão comum. Para torná-lo mais abrangente, há necessidade de incorporar no software outras espécies de plantas daninhas e práticas para controlá-las (cultural e mecânico). Além disso, poder-se-ia incluir outros tipos de estratégias de gestão de infestantes, tais como práticas que visem reduzir o seu banco de sementes nas lavouras. Com isso, uma versão mais completa desse programa teria potencial para auxiliar em decisões de manejo em sistemas sob manejo integrado dessas espécies.

A aplicação de produtos e técnicas computacionais à geração e gerenciamento de (bio)informação tem sido notórias em diversas áreas das ciências agrárias nas últimas décadas. Uma das inovações tecnológicas que tende a promover a utilização de softwares para gerir o controle de

infestantes são os computadores portáteis (*palmtops*). Esses computadores permitem ao usuário selecionar a decisão do controle imediatamente após a contagem do nível de infestação dessas espécies na área cultivada.

### **5.7 Discussão conjunta dos resultados**

A hipótese ubíquitosa e pervasiva desta dissertação era de que os experimentos com herbicidas podem ser devidamente utilizados para avaliar o impacto das infestantes nas culturas. De fato, os dados desses experimentos permitem avançar sobre os conhecimentos da ecofisiologia das infestantes e ampliar o referencial teórico sobre as relações de interferência mútua entre as plantas cultivadas e daninhas no agroecossistema. Mas, para que tal hipótese pudesse ser corroborada neste trabalho, havia a necessidade de que alguns requisitos fossem contemplados experimentalmente.

Primeiro, houve necessidade de comprovação que os tratamentos com herbicidas residuais apresentariam seletividade diferencial entre as espécies (LE1 e LE2). De fato, verificou-se no experimento em casa de vegetação que as doses registradas dos herbicidas dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin não afetam as plantas de feijão comum (Tabela 9; Figuras 2 e 3). Após, corroborou-se esse resultado nos experimentos a campo, uma vez que foi comprovado que a variação do rendimento de grãos da cultura foi diretamente dependente da magnitude da densidade do papuã (Figuras 4A e 4B).

Satisfeito o primeiro requisito, pode-se estabelecer relações entre as diferentes densidades do papuã e a queda do desempenho agrônômico do feijoeiro comum (LE3 e LE4). Com efeito, pode-se avaliar o impacto da infestação desta planta sobre a produtividade de grãos da cultura e

seus componentes (Tabelas 18 e 19; Figuras 5 e 6). Ainda, pode-se avaliar a magnitude da interferência por planta (NCD) de papuã sobre o rendimento de grãos do feijoeiro comum (Tabela 24; Figuras 7 a 9). Estas informações permitiram desenvolver uma 'função dano' para prever o impacto do papuã na cultura em função do seu nível de infestação na área.

Satisfeito o segundo requisito, pode-se determinar medidas para otimizar o controle em pós-emergência para cada nível de infestação do papuã na cultura (LE5). Neste caso, deve-se selecionar uma certa opção de controle químico dessa infestante com base na sua eficácia agrônômica e econômica (Tabela 26; Figura 11). Com isso, conseguiu-se cumprir o objetivo geral desta dissertação, ou seja, desenvolver um modelo de gestão que defina a estratégia adequada para controlar determinada infestação do papuã na cultura do feijão comum (Tabelas 28 e 29).

Ao final do trabalho, todas estas informações foram condensadas em um programa de computador (SAGI 1.0), com a finalidade de automatizar as simulações do modelo proposto (Figuras 14 e 15). Também, pôde-se validar os resultados simulados pelo modelo ou programa com a utilização de dados reais obtidos com outra cultivar de feijão comum (Figura 16). Portanto, é confirmada a hipótese geral desta dissertação de que experimentos com herbicidas podem fornecer informações para a gestão das plantas daninhas.

## 6 CONCLUSÕES

Os herbicidas dimethenamid, S-metolachlor, pendimethalin e trifluralin são potencialmente seletivos para o feijoeiro comum quando aplicados até a dose máxima registrada pelo fabricante. Esses produtos reduzem o nível de infestação da área com o papuã durante o PCPI da cultura do feijão comum, o que propicia aumento do seu rendimento de grãos.

A interferência do papuã reduz a magnitude do rendimento de grãos de feijão comum e dos seus componentes, especialmente nas situações com elevadas densidades populacionais. Dentre esses componentes, o número de legumes  $m^{-2}$  e o número de grãos  $legume^{-1}$  são os mais afetados pelo impacto negativo exercido por essa espécie daninha.

Os herbicidas clethodim, sethoxydim e fluazifop-p-butyl apresentam controle elevado do papuã em pós-emergência da cultura, mesmo quando aplicados em doses abaixo daquela registrada. O valor da dose ótima agrônômica e econômica para controlar o papuã apresenta magnitude inferior a dose registrada pelo fabricante para esta finalidade.

O modelo bioeconômico proposto auxilia o usuário na decisão de medidas adequadas de controle do papuã na condição de pós-emergência da cultura do feijão comum. Ademais, pode-se automatizar as simulações desse modelo através de um software (SAGI 1.0), o que torna ainda mais dinâmico e expedito o resultado gerado pelo modelo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; BALBINOT JR., A.A. Perdas de rendimento de grãos 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**, Viçosa, v.22, n.2, p.175-183, 2004.

AGOSTINETTO, D.; FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; BALBINOT JR., A.A. Dano econômico como critério na decisão sobre manejo de genótipos de arroz concorrentes em arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.1-9, 2005.

AGUYOH, J.N.; MASIUNAS, J.B. Interference of large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) with snap beans. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.171-176, 2003a.

AGUYOH, J.N.; MASIUNAS, J.B. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with snap beans. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.2, p.202-207, 2003b.

AHRENS, W.H. **Herbicide Handbook**. Champaign: Weed Science Society of America, 1994. 352p.

ANDRADE, C.A.B.; CONSTATIN, J.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; ANGELOTTI, F. Efeito da competição com plantas daninhas em diferentes espaçamentos sobre o rendimento de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Pelotas, v.23, n.3, p.529-539, 1999.

APPLEBY, A.P. A history of weed control in the United States and Canada – a sequel. **Weed Science**, Lawrence, v.53, n.6, p.762-768, 2005.

ASPIAZÚ, I.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO JR., J.I.; SILVA, A.A.; CONCENÇO, G.; GALON, L.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; BORGES, E.T.; ARAUJO, W.F. Eficiência fotosintética y de uso del agua por malezas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.28, n.1, p.87-92, 2010.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: Willey Interscience, 1984. 414p.

BARNES, C.J.; LAVY, T.L.; TALBERT, R.E. Leaching, dissipation and efficacy of metolachlor applied by chemigation or conventional methods. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.21, n.2, p.232-236, 1992.

BAUER, T.A.; MORTENSEN, D.A.; WICKS, G.A.; HAYDEN, T.A.; MARTIN, A.R. Environmental variability associated with economic thresholds for soybeans. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.4, p.564-569, 1991.

BAUER, T.A.; MORTENSEN, D.A. A comparison of economic and economic optimum thresholds for 2 annual weeds in soybean. **Weed Technology**, Lawrence, v.6, n.1, p.228-235, 1992.

BAYSINGER, J.A.; SIMS, B.D. Giant ragweed (*Ambrosia trifida*) interference in soybeans (*Glycine max*). **Weed Science**, Champaign, v.39, n.4, p.358-362, 1991.

BENNETT, A.C.; PRICE, A.J.; STURGILL, M.C.; BUOL, G.S.; WILKERSON, G.G. HADSS<sup>®</sup>, Pocket HERB<sup>®</sup>, and WebHADSS<sup>®</sup>: decision aids for field crops. **Weed Technology**, Lawrence, v.17, n.1, p.412-420, 2003.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. **Clima da estação experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77p.

BIANCHI, M.A. Programa de difusão do manejo integrado de plantas daninhas em soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 23., Porto Alegre. **Ata e resumos...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. p.125.

BIANCHI, M.A.; FLECK, N.G.; FEDERIZZI, L.C. Características de plantas de soja que conferem habilidade competitiva com plantas daninhas. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.4, p.623-632, 2006.

BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; BIANCO, M.S. Estimativas da área foliar de *Brachiaria plantaginea* usando dimensões de limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.4, p.597-601, 2005.

BLACKSHAW, R.E. Hairy nightshade (*Solanum sarrachoides*) interference in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Science**, Champaign, v.39, n.1, p.48-53, 1991.

BOLDRINI, I.I.; LONGHIWAGNER, H.M.; BOECHAT, S.C. **Morfologia e Taxonomia de Gramíneas Sul-rio-grandenses**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 96p.

BOSNIC, A.C.; SWANTON, C.J. Influence of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) time of emergence and density on corn (*Zea mays*). **Weed Science**, Lawrence, v.45, n.3, p.276-282, 1997a.

BOSNIC, A.C.; SWANTON, C.J. Economic decision rules for postemergence herbicide control of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in corn (*Zea mays*). **Weed Science**, Lawrence, v.45, n.6, p.557-563, 1997b.

BROUGHTON, W.J.; HERNANDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.252, n.1, p.55-128, 2003.

BUHLER, D.D. Challenges and opportunities for integrated weed management. **Weed Science**, Lawrence, v.50, n.3, p.273-280, 2002.

BURNSIDE, O.C.; WIENS, M.J.; HOLDER, B.H.; WEISBERG, S.; RISTAU, E.A.; JOHNSON, M.M.; CAMERON, J.H. Critical periods for weed control in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Science**, Lawrence, v.46, n.3, p.301-306, 1998.

BUSI, R.; POWLES, S.B. Evolution of glyphosate resistance in a *Lolium rigidum* population by glyphosate selection at sublethal doses. **Heredity**, London, v.103, n.2, p.318-325, 2009.

CAMPER, N.D. **Research Methods in Weed Science**. 3° Ed. Champaign: Southern Weed Science Society, 1986. p.29-46.

CARDINA, J.; REGNIER, E.; SPARROW, D. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) competition and economic thresholds in conventional and no-tillage corn (*Zea mays*). **Weed Science**, Lawrence, v.43, n.1, p.81-87, 1995.

CARRANZA, P.; SAAVEDRA, M.; GARCIA-TORRES, L. Competition between *Ridolfia segetum* and sunflower. **Weed Research**, Lawrence, v.35, n.3, p.369-375, 1995.

CARVALHO, L.B.; BIANCO, S.; PITELLI, R.A.; BIANCO, M.S. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de milho var. BR-106 e *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.2, p.293-301, 2007.

CARVALHO, C.G.P.; ARIAS, C.A.A.; TOLEDO, J.F.F. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.3, p.311-320, 2002.

CASTAÑEDA-SAUCEDO, M.C.; CÓRDOVA-TÉLLEZ, L.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V.A.; DELGADO-ALVARADO, A.; SANTACRUZ-VARELA, A.; DE LOS SANTOS, G.G. Physiological performance, yield and quality of dry bean seeds under drought stress. **Interciência**, Caracas, v.34, n.10, p.748-754, 2009.

CATHCART, R.J.; SWANTON, C.J. Nitrogen management will influence threshold values of green foxtail (*Setaria viridis*) in corn. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.6, p.975-986, 2003.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; PASSINI, T.; DOURADO NETO, D. Modelo biodinâmico de controle de plantas daninhas na cultura de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p.473-474.

CLEWIS, S.B.; THOMAS, W.E.; EVERMAN, W.J.; WILCUT, J.W. Glufosinate-resistant corn interference in glufosinate-resistant cotton. **Weed Technology**, Lawrence, v.22, n.2, p.211-216, 2008.

COBLE, H.D.; MORTENSEN, D.A. The threshold concept and its application to Weed Science. **Weed Technology**, Lawrence, v.6, n.2, p.191-195, 1992.

COBUCCI, T. Manejo e controle de plantas daninhas em feijão. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008. p.453-480.

COBUCCI, T.; RABELO, R.R.; SILVA, W. **Manejo de plantas daninhas na cultura do arroz de terras altas na região dos Cerrados**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 42p.

COIMBRA, J.M.; GUIDOLIN, A.F.; CARVALHO, F.I.F. Parâmetros genéticos do rendimento de grãos e seus componentes com implicações na seleção indireta em genótipos de feijão preto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, n.1, p.1-6, 1999.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores CONAB**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 10.01.2010.

COSTA, G.E.A.; QUEIROZ-MONICI; K.S.; REIS, S.M.P.M.; DE OLIVEIRA, A.C. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food Chemistry**, Washington, v.94, n.3, p.327-330, 2006.

COUSENS, R. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v.105, n.1, p.513-521, 1985.

COUSENS, R. Theory and reality of weed control thresholds. **Plant Protection Quartely**, Meredith, v.2, n.1, p.19-20, 1987.

COWBROUGH, M.J.; BROWN, R.B.; TARDIF, F.J. Impact of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) aggregation on economic thresholds in soybean. **Weed Science**, Lawrence, v.51, n.6, p.947-954, 2003.

DANTAS, B.F.; ALVES, E.; ARAGÃO, C.A.; RODRIGUES, J.D.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Superação da dormência de sementes de capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea* (Link.) Hitchc.) com cianeto de potássio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.22, n.2, p.239-244, 2000.

DERKSEN, D.A.; ANDERSON, R.L.; BLACKSHAW, R.E.; MAXWELL, B. Weed dynamics and management strategies for cropping systems in northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, n.01, p.174-185, 2002.

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos**. Jaboticabal: UNESP, 1992. 431p.

DIELEMAN, A.; HAMILL, A.A.; FOX, G.C.; SWANTON, C.J. Decision rules for postemergence control of pigweed (*Amaranthus* spp.) in soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, Lawrence, v.44, n.1, p.126-132, 1996.

DUARTE, R.A.; ADAMS, M.W. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Crop Science**, Madison, v.12, n.5, p.579-582, 1972.

ENQUIST, B.J.; BROWN, J.H.; WEST, G.B. Allometric scaling of plant energetics and population density. **Nature**, v.395, n.6698, p.163-165, 1998.

FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B. Yield physiology of dry bean. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.31, n.6, p.983-1004, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Relatórios**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br>>. Acesso em: 10.01.2010.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical Yearbook 2005/2006**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 10.01.2010.

FAVRETO, R.; MEDEIROS, R.B. Banco de sementes do solo em área agrícola sob diferentes sistemas de manejo estabelecida sobre campo natural. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.28, n.2, p.34-44, 2006.

FERREIRA, C.M.; DEL PELOSO, M.J.; FARIA, L.C. **Feijão na economia nacional**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 47p.

FERRI, M.V.W.; VIDAL, R.A. Controle de plantas daninhas com herbicidas cloroacetamidas em sistemas de preparo convencional e semeadura direta. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.1, p.131-136, 2003.

FISCHER, D.W.; HARVEY, R.G.; BAUMAN, T.T.; PHILLIPS, S.; HART, S.E.; JOHNSON, G.A.; KELLS, J.J.; WESTRA, P.; LINDQUIST, J. Common lambsquarters (*Chenopodium album*) interference with corn across the northcentral United States. **Weed Science**, Lawrence, v.52, n.6, p.1034-1038, 2004.

FLECK, N.G.; LAZAROTO, C.A.; SCHAEGLER, C.E.; FERREIRA, F.B. Controle de papua (*Brachiaria plantaginea*) em soja em função da dose e da época de aplicação do herbicida clethodim. **Planta Daninha**, Viçosa, v.26, n.2, p.375-383, 2008.

FLECK, N.G.; AGOSTINETTO, D.; RIZZARDI, M.A.; BIANCHI, M.A.; MENEZES, V.G. Interferência de plantas concorrentes em arroz irrigado modificada por métodos culturais. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.19-28, 2004.

FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; BALBINOT JR., A.A. Densidade e características morfológicas de plantas de picão-preto na previsão de perdas de rendimento de grãos de soja por interferência. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, n.2, p.169-179, 2002a.

FLECK, N.G.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D. Dano econômico como critério para tomada de decisão no controle de guaxuma em soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.20, n.3, p.421-429, 2002b.

FLECK, N.G.; CUNHA, M.M.; VARGAS, L. Dose reduzida de clethodim no controle de papuã na cultura da soja, em função da época da aplicação. **Planta Daninha**, Viçosa, v.15, n.1, p.18-24, 1997.

FLECK, N.G. Interferência de papuã (*Brachiaria plantaginea*) com soja e ganho de produtividade obtido através do seu controle. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, n.1, p.63-68, 1996.

FLECK, N.G.; VARGAS, L; CUNHA, M.M. Controle de plantas daninhas em soja com doses reduzidas de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.13, n.2, p.117-123, 1995.

FREITAS, R.R.; CARVALHO, D.A.; ALVARENGA, A.A. Quebra de dormência e germinação de sementes de capim-marmelada [*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch]. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v.2, n.2, p.31-35, 1990.

FURTADO, M.R.; CRUZ, C.D.; CARDOSO, A.A. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.2, p.217-220, 2002.

FUSCALDI, K.D.C.; PRADO, G.R. Análise econômica da cultura do feijão. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.14, n.5, p.17-30, 2005.

GALON, L.; AGOSTINETTO, D.; MORAES, P.D.V.; TIRONI, S.P.; DAL MAGRO, T. Estimativas das perdas de produtividade de grãos em cultivares de arroz (*Oryza sativa*) pela interferência do capim-arroz (*Echinochloa* spp.). **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.3, p.697-707, 2007a.

GALON, L.; AGOSTINETTO, D.; MORAES, P.V.D.; DAL MAGRO, T.; PANOZZO, L.E.; BRANDOLT, R.R.; SANTOS, L. S. Níveis de dano econômico para decisão de controle de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) em arroz irrigado (*Oryza sativa*). **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.4, p.709-718, 2007b.

GARCIA-TORRES, L.; CASTEJÓN-MUÑOZ, M.; JURADO-EXPÓSITO, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Modelling the economics of controlling nodding broomrape (*Orobanche cernua*) in sunflower (*Helianthus annuus*). **Weed Science**, Lawrence, v.44, n.4, p.591-595, 1996.

GEBLER, L.; SPADOTTO, C.A. Comportamento ambiental dos herbicidas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Org.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.57-87.

GEIL, P.B.; ANDERSON, J.W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v.13, n.6, p.549-558, 1994.

GEROWITT, B.; HEITEFUSS, R. Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. **Crop Protection**, Oxford, v.9, n.4, p.323-331, 1990.

GIBSON, K.D.; BREEN, J.L.; HILL, J.E.; CATON, B.P.; FOIN, T.C. California arrowhead is a weak competitor in water-seeded rice. **Weed Science**, Lawrence, v.49, n.2, p.381-384, 2001.

GONÇALVES, M.C.; CORREA, A.M.; DESTRO, D. Correlations and path analysis of common bean grain yield and its primary components. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.3, n.3, p.217-222, 2003.

GOULART, I.C.G.R.; MEROTTO JR, A.; PEREZ, N.B.; KALSING, A. Controle de capim-annoni-2 (*Eragrostis plana*) com herbicidas pré-emergentes em associação com diferentes métodos de manejo do campo nativo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.3, p.181-190, 2009.

GUENNI, O.; MARIN, D.; BARUCH, Z. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.243, n.2, p.229-241, 2002.

HAMILL, A.S.; WEAVER, S.E.; SIKKEMA, P.H.; SWANTON, C.J.; TARDIF, F.J.; FERGUSON, G.M. Benefits and risks of economic vs. efficacious approaches to weed management in corn and soybean. **Weed Technology**, Lawrence, v.18, n.3, p.723-732, 2004.

HESS, F.D.; FALK, R.H. Herbicide deposition on leaf surfaces. **Weed Science**, Champaign, v.38, n.3, p.280-288, 1990.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados Agropecuários – 2010**. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/>>. Acesso em 01/10/2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola – Cereais, Leguminosas e Oleaginosas em 2007**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/2007/>>. Acesso em 02/06/2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores Agropecuários 2001 – 2006**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/indicadoresagro1996a2003/>>. Acesso em 02/06/2008.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR., R.S.; REGITANO, J.B.; TORMENA, C.A.; TORNISIELO, V.L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no Estado do Paraná. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.313-323, 2003.

ISI - INSTITUTE FOR SCIENTIFIC INFORMATION. **Web of knowledge**. Disponível em: <<http://apps.isiknowledge.com>>. Acesso em 10.04.2010.

KALSING, A.; VIDAL, R.A. SAGI 1.0: Sistema de apoio à gestão de *Brachiaria plantaginea* na cultura do feijão comum. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., Ribeirão Preto. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010a. p.26-29.

KALSING, A.; VIDAL, R.A. Nível de dano econômico aplicado à herbologia-revisão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v.20, n.1 p.43-56, 2010b.

KISSMANN, K.G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e nocivas**. 2° Ed. São Paulo: BASF, 1999. Tomo 2. 978 p.

KNEZEVIC, S.Z. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) in corn (*Zea mays*). **Weed Science**, Champaign, v.42, n.4, p.568-573, 1994.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, Pato Alto, v.43, n.1, p.243-270, 1998.

KRANZ, M. Plantas invasoras na cultura do feijão no Estado do Paraná. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DO FEIJÃO, 4., Londrina. **Resumos...** Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1993. p.68.

KUDSK, P. Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of the side effects of herbicides. **Environmentalist**, Oxford, v.28, n.1, p.49-55, 2008.

LAJOLO, F.M.; GENOVESE, M.I.; MENEZES, E.W. Qualidade Nutricional. In: ARAÚJO, R.S.; AGUSTÍN RAVA, C.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Org.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.71-99.

LAMEGO, F.P.; GALLON, M.; KASPARY, T.E.; RUCHEL, Q.; VIDAL, R.A.; TREZZI, M.M. Eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura do feijão, grupo carioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., Ribeirão Preto. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. p.1635-1639.

LINDQUIST, J.L.; MORTENSEN, D.A.; WESTRA, P. Stability of corn (*Zea mays*)-foxtail (*Setaria* spp.) interference relationships. **Weed Science**, Lawrence, v.47, n.1, p.195-2000, 1999.

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

LONDERO, P.M.G.; RIBEIRO, N.D.; CARGNELUTTI, A.; RODRIGUES, J.D. Herança dos teores de fibra alimentar e rendimento de grãos em populações de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.51-58, 2006.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 3° Ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 340 p.

LORENZI H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 6° Ed. Plantarum: Nova Odessa, 2006. 269p.

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

LUTMAN, P.J.W.; RISIOTT, R.; OSTERMANN, H.P. Investigations into alternative methods to predict the competitive effects of weeds on crop yields. **Weed Science**, Lawrence, v.44, n.2, p.290-297, 1996.

LUTMAN, P.J.W.; DIXON, F.L.; RISIOTT, R. The response of 4 spring-sown combinable arable crops to weed competition. **Weed Research**, Champaign, v.34, n.1; p.137-146, 1994.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (Agrofit)**. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 10.01.10.

MESBAH, A.O.; MILLER, S.D.; KOETZ, P.J. Common sunflower (*Helianthus annuus*) and green foxtail (*Setaria viridis*) interference in dry bean. **Weed Technology**, Lawrence, v.18, n.4, p.902-907, 2004.

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

NEESER, C.; DILLEB, J.A.; KRISHNANC, G.; MORTENSEN, D.A.; RAWLINSONE, J.T.; MARTIN, A.R.; BILLS, L.B. WeedSOFT®: a weed management decision support system. **Weed Science**, Lawrence, v.52, n.1, p.115-122, 2004.

NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P; ANDREOTTI, F.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; LOPEZ-OVEJERO, R.F. Fluxos de emergência de capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) em duas regiões canavieiras do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., Ribeirão Preto. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. p.1723-1727.

NIELSEN, C.D.; NELSON, N.O. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. **Crop Science**, Madison, v.38, n.4, p.422-427, 1998.

NORRIS, R.F. Ecological implications of using thresholds for weed management. **Journal of Crop Production**, Oxford, v.2, n.1, p.31-38, 1999.

NORRIS, R.F. Case-history for weed competition population ecology - barnyardgrass (*Echinochloa-crus-galli*) in sugar-beets (*Beta vulgaris*). **Weed Technology**, Lawrence, v.6, n.2, p.220-227, 1992.

O'DONOVAN, J.T.; BLACKSHAW, R.E. Effect of volunteer barley (*Hordeum vulgare* L) interference on field pea (*Pisum sativum* L) yield and profitability. **Weed Science**, Lawrence, v.45, n.2, p.249-255, 1997.

ONOFRI, A.; TEI, F. Competitive ability and threshold levels of 3 broadleaf weed species in sunflower. **Weed Research**, Lawrence, v.34, n.6, p.471-479, 1994.

PAES, J.M.V.; ARAÚJO, S.S.; DA SILVA, A.A.; RUIZ, H.A.; DE OLIVEIRA, M.F. Mobilidade de dimethenamid em diferentes solos. **Planta Daninha**, Viçosa, v.17, n.1, p.31-39, 1999.

PASSINI, T. **Competitividade e predição de perdas de rendimento da cultura de feijão quando em convivência com *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002. 130p.

PEDHAZUR, E.J. **Multiple regression in behavioral research: explanation and prediction**. 2° Ed. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1982. 822p.

PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; FARIA, L.C.; DEL PELOSO, M.J.; COSTA, J.G.C.; RAVA, C.A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.1, p.29-37, 2009.

PESTER, T.A.; WESTRA, P.; ANDERSON, R.L.; LYOND, D.J.; MILLERE, S.D.; STAHLMAN, P. W.; NORTHAM, F. E.; WICKS, G. A. *Secale cereale* interference and economic thresholds in winter *Triticum aestivum*. **Weed Science**, Lawrence, v.48, n.6, p.720-727, 2000.

PORTUGAL, J.M.; VIDAL, R.A. Níveis econômicos de prejuízos de plantas infestantes nas culturas agrícolas: conceitos, definições e formas de cálculo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.4, p.869-877, 2009.

PROCÓPIO, S.O.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L.R.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, J.B. Tolerância de cultivares de feijão ao S-metolachlor em diferentes condições de aplicação. **Planta Daninha**, Viçosa, v.19, n.2, p.263-271, 2001.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A.J.; COSTA, N.M.B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.1, p.200-213, 2008.

RAMIREZ-CARDENAS, L.; COSTA, N.M.B.; REIS, F.P. Copper-iron metabolism interaction in rats. **Nutrition Research**, Oxford, v.25, n.1, p.79-92, 2005.

RIBEIRO, N.D.; JOST, E.; CERUTTI, T.; MAZIERO, S.M.; POERSCH, N.L. Composição de microminerais em cultivares de feijão e aplicação para o melhoramento genético. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.267-273, 2008a.

RIBEIRO, N.D.; ANTUNES, I. F.; POERSCH, N.L.; DA ROSA, S.S.; TEIXEIRA, M.G.; GOMES, A.L.S. Potencial de uso agrícola e nutricional de cultivares crioulas de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.628-634, 2008b.

RIBEIRO, N.D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HOFFMANN JUNIOR, L.; POSSEBON, S.B. Precisão experimental na avaliação de cultivares de feijão de diferentes hábitos de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1371-1377, 2004.

RIZZARDI, M.A.; FLECK, N.G.; AGOSTINETTO, D. Nível de dano econômico como critério para controle de picão-preto em soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.273-282, 2003.

RIZZARDI, M.A.; FLECK, N.G. Dose econômica ótima de acifluorfen + bentazon para controle de picão-preto e guanxuma em soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.117-125, 2004.

RODRIGUES B.N.; VOLL E.; YADA I.F.U.; LIMA, J. Emergência do capim-marmelada em duas regiões do estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2363-2373, 2000.

ROGGENKAMP, G.J.; MASON, S.C.; MARTIN, A.R. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and Green foxtail (*Setaria viridis*) response to corn (*Zea mays*) hybrid. **Weed Technology**, Lawrence, v.14, n.2, p.304-311, 2000.

SALVADOR, F.L.; VICTORIA FILHO, R.; ALVES, A.S.R.I.; SIMONI, F.I.; SAN MARTIN, H.A.M. Efeito da luz e da quebra de dormência na germinação de sementes de espécies de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.25, n.2, p.303-308, 2007.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **User's guide**: Version 8.0. SAS Institute, 2000. 846p.

SASAKI, Y., KONISHI, T.; NAGANO, Y. The compartmentation of acetyl-coenzyme A carboxylase in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v.108, n.4, p.445-449, 1995.

SATTIN, M.; BERTI, A.; GIUSEPPE, Z. Case-history for weed competition population ecology - velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in corn (*Zea mays*). **Weed Technology**, Lawrence, v.6, n.2, p.213-219, 1992.

SCHIBLER, M.J.; HUANG, B. The colR4 and colR15 beta-tubulin mutations in *Chlamydomonas reinhardtii* confer altered sensitivities to microtubule inhibitors and herbicides by enhancing microtubule stability. **The Journal of Cell Biology**, New York, v.113, n.6, p.605-614, 1991.

SCHMALFUB, J.; MATTHES, B.; KNUTH, K.; BOGER, P. Inhibition of acyl-CoA elongation by chloroacetamide herbicides in microsomes from leek seedlings. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v.67, n.1, p.25-35, 2000.

SHIMADA, M.M.; ARF, O.; SA, M.E. Componentes do rendimento e desenvolvimento do feijoeiro de porte ereto sob diferentes densidades populacionais. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.181-187, 2000.

SILVA, A.C.; CARNEIRO, J.E.S.; FERREIRA, L.R.; CECON, P.R. Consórcio entre feijão e *Brachiaria brizantha* sob doses reduzidas de graminicida. **Planta Daninha**, Viçosa, v.24, n.1, p.71-76, 2006.

SILVA, A.C.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A. Análise do crescimento de *Brachiaria brizantha* submetida a doses reduzidas de fluazifop-p-butil. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n.1, p.85-91, 2005.

SOLTANI, N.; NURSE, R.E.; ROBINSON, D.E.; SIKKEMA, P.H. Response of pinto and small red Mexican beans (*Phaseolus vulgaris*) to preplant-incorporated herbicides. **Weed Biology and Management**, Kyoto, v.8, n.1, p.25-30, 2008.

SOLTANI, N.; ROBINSON, D.E.; SHROPSHIRE, C.; SILLEMA, P. Otebo bean (*Phaseolus vulgaris*) sensitivity to pre-emergence herbicides. **Crop Protection**, Oxford, v.25, n.6, p.476-479, 2006.

SPADER, V.; VIDAL, R.A. Eficácia de herbicidas graminicidas aplicados em pré-emergência no sistema de semeadura direta do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v.18, n.2, p.373-380, 2000.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D.A. **Principles and procedures of statistics. A biometrical approach**. 3<sup>o</sup> Ed. New York: McGraw Hill, 1997. 666p.

STOCK, D.; EDGERSON, B.M.; GASKIN, R.E.; HOLLOWAY, P.J. Surfactant enhanced foliar uptake of some organic compounds: interactions with two model polyoxyethylene aliphatic alcohols. **Pesticide Science**, Oxford, v.34, n.2, p.233-242, 1992.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS - UFRGS, 2002. 126 p.

SWANTON, C.J.; WEISE, S.F. Integrated weed management – the rationale and approach. **Weed Technology**, Lawrence, v.5, n.6, p.657-663, 1991.

TEIXEIRA, I.R.; SILVA, R.P.; SILVA, A.G.; FREITAS, R.S. Competição entre feijoeiros e plantas daninhas em função do tipo de crescimento dos cultivares. **Planta Daninha**, Viçosa, v.27, n.2, p.235-240, 2009.

THEISEN, G. **Influência da palha da aveia preta em papuã *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc.) e seu impacto em soja**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS. 1998. 89p.

THOMAS, W.E. Glyphosate-resistant corn interference in glyphosate-resistant cotton. **Weed Technology**, v.21, n.4, p.372-377, 2007.

TIMMONS, F.L.A history of weed control in the United States and Canadá. **Weed Science**, Lawrence, v.53, n.6, p.748-761, 2005.

TREZZI, M.M.; VIDAL, R.A.; KLEINA, E.A.; THOMAZI, H.; LAMEGO, F.P. Paradoxo da dose de herbicidas: comprovação da teoria na cultura do feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010. Ribeirão Preto. **Resumos...** Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2010. p.2279-2282.

URWIN, C.P.; WILSON, R.G.; MORTENSEN, D.A. Response of dry edible bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars to four herbicides. **Weed Technology**, Lawrence, v.10, n.3, p.512-518, 1996.

VANDERHOOF, J.A. Immunonutrition: the role of carbohydrates. **Nutrition**, New York, v.14, n.7/8, p.595-598, 1998.

VASSEY T.L.; QUICK, W.P.; SHARKEY, T.D.; STITT, M. Water-stress, carbon-dioxide, and light effects on sucrose-phosphate synthase activity in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.81, n.1, p.37-44, 1991.

VAUGHN, K.C.; LEHNEN, L.P. Mitotic disrupter herbicides. **Weed Science**, Champaign, v.39, n.5, p.450-457, 1991.

VIDAL, R.A.; PORTUGAL, J.; SKORA NETO, F. **Nível crítico de dano de infestantes em culturas anuais**. Porto Alegre: Evangraf, 2010a. 133p.

VIDAL, R.A.; KALSING, A.; GHEREKHLOO, J. Interferência e nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* e *Ipomoea nil* na cultura do feijão comum. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.8, p.1675-1681, 2010b.

VIDAL, R.A. **Interação negativa entre plantas: inicialismo, alelopatia e competição**. Porto Alegre: EVANGRAF, 2010c. 130p.

VIDAL, R.A.; SPADER, V.; FLECK, N.G.; MEROTTO JR., A. Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.63-69, 2004.

VIDAL, R.A.; KALSING, A. Métodos para determinar a dose ótima de herbicidas na cultura do trigo. In: CONGRESSO DA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MALHERBOLOGIA, 12., CONGRESSO DA ASOCIACION LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 19., Lisboa. **Herbologia e biodiversidade numa agricultura sustentável**. Lisboa: ISAPRESS, 2009. p.663-666.

VIDAL, R.A. Ação dos herbicidas. Porto Alegre: Evangraf, 2002. 89 p.

VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 130p.

VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Inibidores de crescimento da parte aérea. In: **Herbicidologia**. VIDAL, R.A.; MEROTTO JR., A. (Org.). Porto Alegre: Evangraf, 2001. p.123-130.

VIDAL, R.A.; KRUSE, N.D.; FLECK, N.G.; MEROTTO JR., A. Seletividade do herbicida fluazifop-p-butyl para cucurbitáceas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.18, n.3, p.413-417, 2000.

VIDAL, R.A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: Palotti, 1997. 165p.

VIDAL, R.A. **Impacto de herbicidas seletivos para soja sobre plantas espontâneas e cultivadas de girassol**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS. 1990. 132f.

VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P.; QUINA, E.; KRZYZANOWSKI, F.C. Embebição e germinação de sementes de capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n.1, p.58-61, 1997.

VOLL, E.; GAZZIERO, D.L.P.; KARAM, D. Dinâmica de populações de *Brachiaria plantaginea* (link) hitch. sob manejos de solo e de herbicidas. Sobrevivência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.12, p.1387-1396, 1995.

WANDER, A.E. Produção e consumo de feijão no Brasil, 1975-2005. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.37, n.2, p.7-21, 2007.

WEBER, J.B.; MCKINNON, E.J.; SWAIN, L.R. Sorption and mobility of C-14-labeled imazaquin and metolachlor in four soils as influenced by soil properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.51, n.19, p.5752-5759, 2003.

WENZL, P.; PATIÑO, G.M.; CHAVES, A.L.; MAYER, J.E.; RAO, I.M. The high level of aluminum resistance in signalgrass is not associated with known mechanisms of external aluminum detoxification in root apices. **Plant Physiology**, Rockville, v.125, n.3, p.1473-1484, 2001.

WERNER, E.L.; CURRAN, W.S.; HARPER, J.K.; ROTH, G.W.; KNIEVEL, D.P. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interference and seed production in corn silage and grain. **Weed Technology**, Lawrence, v.18, n.3, p.779-783, 2004.

WILKERSON, G.G.; WILES, L.J.; BENNETT, A.C. Weed management decision models: pitfalls, perceptions, and possibilities of the economic threshold approach. **Weed Science**, Lawrence, v.50, n.4, p.411-424, 2002.

WILKERSON, G.G.; MODENA, S.A.; COBLE, H.D. HERB: decision-model for postmergence weed-control in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, n.2, p.413-417, 1991.

WILSON, R.G. Wild proso millet (*Panicum miliaceum*) interference in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Weed Science**, Champaign, v.41, n.4, p.607-610, 1993.

WILSON, R.S.; HOOKER, M.; TUCKERD, J.; LEJEUNEC, J.; DOOHANB, D. Targeting the farmer decision making process: a pathway to increased adoption of integrated weed management. **Crop Protection**, Oxford, v.28, n.9, p.756-764, 2009.

YODA, K.; KIRA, T.; OGAWA, H. KOZUMI, K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. **Journal of the Institute of Polytechnics of Osaka City University**, Osaka, v.14, n.1, p.107-129, 1963.

ZANIN, G.; BERTI, A.; TONIOLO, L. Estimation of economic thresholds for weed-control in winter-wheat. **Weed Research**, Lawrence, v.33, n.6, p.459-467, 1993.

ZHANG, J.; WEAVER, S.E.; HAMILL, A.S. Risks and reliability of using herbicides at below-labeled rates. **Weed Technology**, Lawrence, v.14, n.1, p.106-115, 2000.

ZIMDAHL, R.L. **Weed-crop competition: a review**. 2° Ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. 220p.

## 8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Fatores<sup>a</sup> que afetam a absorção e a dinâmica no solo de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura.

<b>Herbicida</b>	Adsorção
	Lixiviação
	Solubilidade
	Difusão molecular
	Dose (diluição)
	Pressão de vapor
.....	
<b>Clima</b>	Tamanho da molécula
	Temperatura do ar
	Temperatura do solo
	Umidade relativa do ar
	Umidade volumétrica do solo
.....	
<b>Solo</b>	Precipitação pluviométrica
	Atividade microbiana
	Teor e tipo de argilas
	Teor e tipo de matéria orgânica
	Textura, estrutura e consistência
.....	
<b>Espécie</b>	Cobertura do solo (palhada)
	Taxa de crescimento das raízes
.....	
Taxa de crescimento da parte aérea	

<sup>a</sup>Adaptado a partir de Vidal (1990); Gebler & Spadotto (2004).

APÊNDICE 2. Fatores<sup>a</sup> que afetam a absorção de herbicidas aplicados na condição de pós-emergência da cultura.

<b>Herbicida</b>	Dose de aplicação
	Características físico-químicas
<b>Clima</b>	Temperatura do ar
	Temperatura do solo
	Umidade relativa do ar
	Umidade volumétrica do solo
	Precipitação pluviométrica
	Radiação solar (luminosidade)
<b>Espécie</b>	Densidade populacional
	Estádio de desenvolvimento
	Características da epiderme
	Taxa de translocação
	Taxa de metabolização
<b>Tecnologia de aplicação</b>	Adjuvantes
	Volume de calda
	Pressão de aplicação
	Velocidade de aplicação
	Densidade e tamanho de gotas

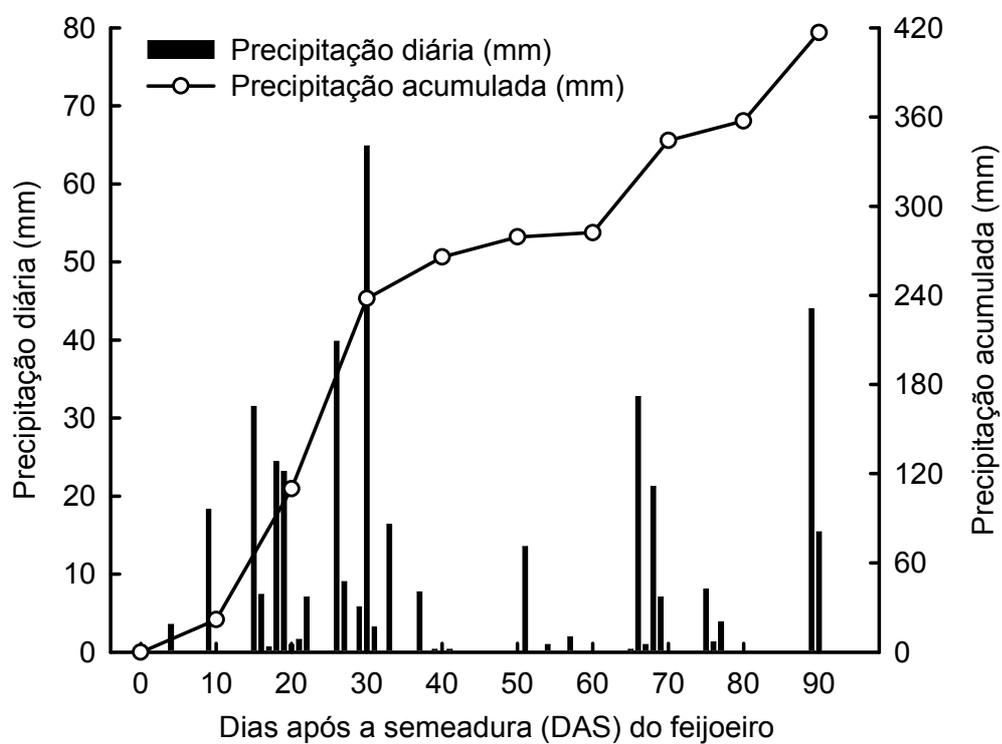
<sup>a</sup>Adaptado a partir de Vidal (1990); Ahrens (1994).

APÊNDICE 3. Etapas do ciclo de desenvolvimento das cultivares de feijão comum 'IPR Graúna' e 'UTF-06' durante a condução do segundo e terceiro experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

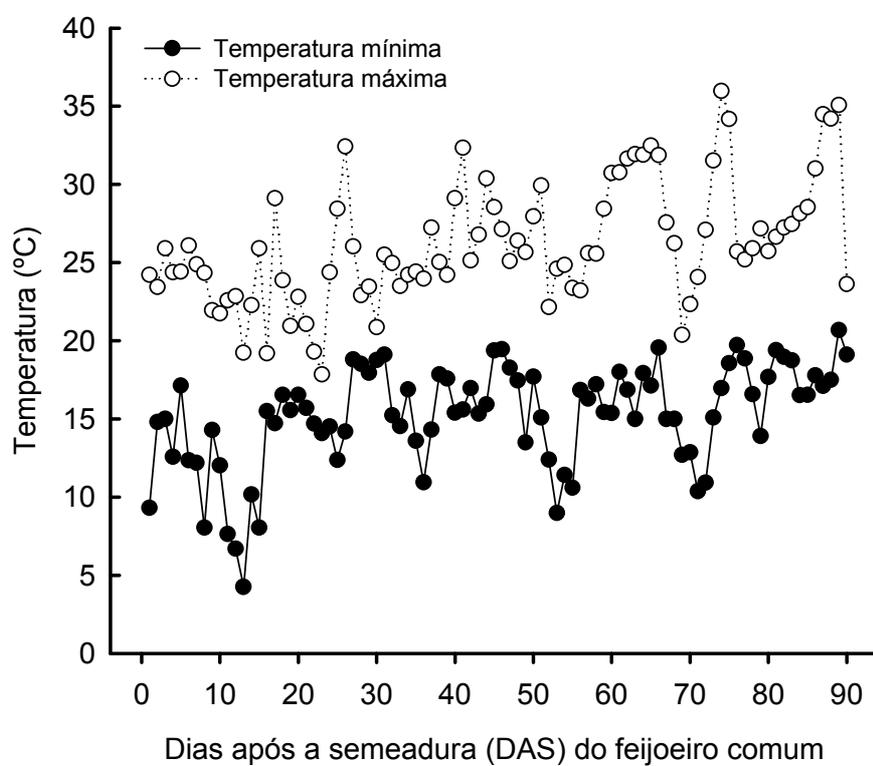
Estádio <sup>a</sup>	Descrição do início de cada estágio	Período (DAS <sup>b</sup> )	
		IPR Graúna	UTF-06
V <sub>0</sub>	<u>Germinação</u> : formação da radícula nas sementes	5	5
V <sub>1</sub>	<u>Emergência</u> : crescimento das plantas ao nível do solo	8	9
V <sub>2</sub>	<u>Folhas primárias</u> : expansão das duas folhas unifolioladas	16	15
V <sub>3</sub>	<u>Primeira folha trifoliolada</u> : expansão do primeiro trifólio e abertura do segundo	28	25
V <sub>4</sub>	<u>Terceira folha trifoliolada</u> : expansão do terceiro trifólio e abertura do quarto e quinto	34	31
R <sub>5</sub>	<u>Pré-floração</u> : aparecimento dos primeiros ramos florais	42	40
R <sub>6</sub>	<u>Floração plena</u> : abertura da primeira flor totalmente desenvolvida	52	51
R <sub>7</sub>	<u>Formação de vagens</u> : aparecimento do primeiro legume em desenvolvimento	65	60
R <sub>8</sub>	<u>Enchimento de grãos</u> : crescimento das sementes e início do desfolhamento da planta	76	71
R <sub>9</sub>	<u>Maturação fisiológica</u> : amadurecimento das sementes e secamento das vagens	92	87

<sup>a</sup>V= Fase vegetativa; R= Fase reprodutiva

<sup>b</sup>Dias após semeadura da cultura do feijoeiro comum.



APÊNDICE 4. Precipitação diária (mm) e acumulada (mm) observada entre a semeadura e a colheita de feijão comum cultivar 'IPR Graúna' e 'UFT-06'. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).



APÊNDICE 5. Temperatura mínima e temperatura máxima (°C) observada entre a semeadura e a colheita das cultivares 'IPR Graúna' e 'UTF-06'. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

APÊNDICE 6. Cálculo do valor da diferença mínima significativa (DMS) em experimentos com dois fatores (bifatoriais).

(a) = número de níveis do Fator (A)

(b) = número de níveis do Fator (B)

$t_{\alpha}$  (GLE) = valor de 't' (Tabela t de Student)

(r) = número de repetições do experimento

(QME) = quadrado médio do erro experimental

DMS para comparar médias do fator (A) em um mesmo nível do fator (B):

$$\mathbf{DMS (A) = t_{\alpha} (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \text{ QME}}{rb}}}$$

DMS para comparar níveis do fator (B) em uma mesmo nível do fator (A):

$$\mathbf{DMS (B) = t_{\alpha} (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \text{ QME}}{ra}}}$$

DMS para comparar os valores da interação entre os fatores (A) x (B)

$$\mathbf{DMS (AB) = t_{\alpha} (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \text{ QME}}{r}}}$$

APÊNDICE 7. Cálculo do valor da diferença mínima significativa (DMS) em experimentos com dois fatores (bifatoriais).

(a) = número de níveis do Fator (A)

(b) = número de níveis do Fator (B)

(c) = número de níveis do Fator (C)

$t\alpha$  (GLE) = valor de 't' (Tabela t de Student)

(r) = número de repetições do experimento

(QME) = quadrado médio do erro experimental

DMS para comparar médias do fator (A):

$$\mathbf{DMS (A) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{rbc}}}$$

DMS para comparar médias do fator (B):

$$\mathbf{DMS (B) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{rac}}}$$

DMS para comparar médias do fator (C):

$$\mathbf{DMS (C) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{rab}}}$$

DMS para comparar médias do fator (A) no mesmo nível do fator (B);

DMS para comparar médias do fator (B) no mesmo nível do fator (A);

DMS para comparar quaisquer médias na interação dos fatores (A) x (B).

$$\mathbf{DMS (AB) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{rc}}}$$

DMS para comparar médias do fator (A) no mesmo nível do fator (C);

DMS para comparar médias do fator (C) no mesmo nível do fator (A);

DMS para comparar quaisquer médias na interação dos fatores (A) x (C).

$$\mathbf{DMS (AC) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{rb}}}$$

DMS para comparar médias do fator (B) no mesmo nível do fator (C);

DMS para comparar médias do fator (C) no mesmo nível do fator (B);

DMS para comparar quaisquer médias na interação dos fatores (B) x (C).

$$\mathbf{DMS (BC) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{ra}}}$$

DMS para comparar médias do fator (A) no mesmo nível dos fatores (B) e (C);

DMS para comparar médias do fator (B) no mesmo nível dos fatores (A) e (C);

DMS para comparar médias do fator (C) no mesmo nível dos fatores (A) e (B);

DMS para comparar quaisquer médias na interação dos fatores (A) x (B) x (C).

$$\mathbf{DMS (ABC) = t\alpha (GLE) \times \sqrt{\frac{2 \ QME}{r}}}$$

APÊNDICE 8. Programação utilizada na terceira linha de estudo para a determinação dos coeficientes de trilha com o programa estatístico SAS Versão 8.0.

**Data análise;**

**input parcelas legumes graos massa rendimento;**

**legumespapad=legumes;**

**graospapad=graos;**

**massapapad=massa;**

**rendimentopapad=rendimento;**

**cards;**

<b>01</b>	<b>109</b>	<b>2.3</b>	<b>0.18</b>	<b>452</b>
<b>02</b>	<b>89</b>	<b>2.4</b>	<b>0.17</b>	<b>354</b>
<b>03</b>	<b>171</b>	<b>4.5</b>	<b>0.19</b>	<b>1466</b>
<b>04</b>	<b>171</b>	<b>4.7</b>	<b>0.19</b>	<b>1526</b>
<b>....</b>	<b>....</b>	<b>....</b>	<b>....</b>	<b>....</b>
<b>30</b>	<b>209</b>	<b>3.6</b>	<b>0.18</b>	<b>1319</b>

**;**

**proc reg data=análise;**

**model rendimentopapad= graospapad legumespapad massapapad;**

**run;**

**proc reg data=análise;**

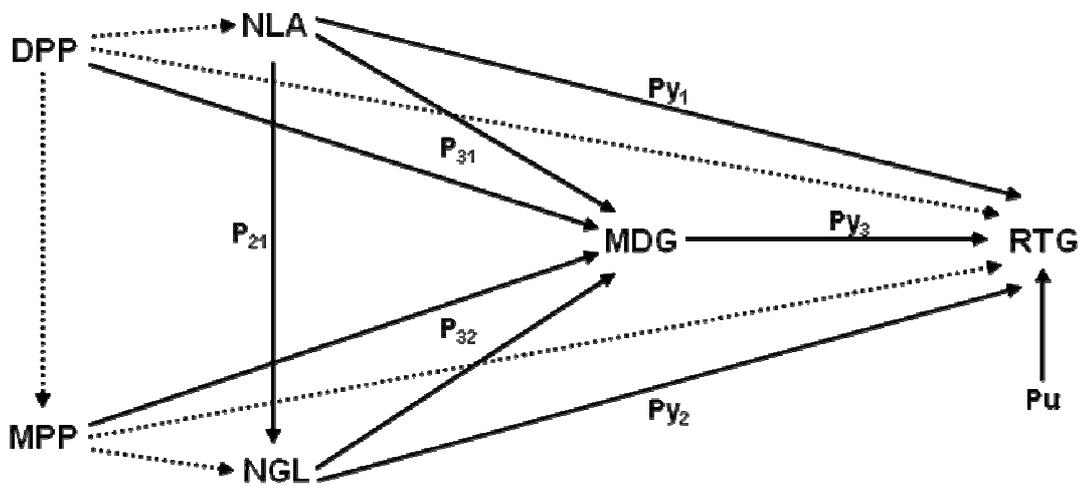
**model massapapad = graospapad legumespapad ;**

**run;**

**proc reg data=análise;**

**model legumespapad =graospapad;**

**run;**



APÊNDICE 9. Diagrama causal para os efeitos diretos e indiretos das variáveis densidade de plantas (DPP) e massa das plantas (MPP) de papuã e dos caracteres número de legumes  $m^{-2}$  (NLA), número de grãos por legume $^{-1}$  (NGL) e massa do grão (MDG) sobre o rendimento de grãos (RTG). Linhas contínuas indicam relação linear e linhas pontilhadas indicam relação não linear.

APÊNDICE 10. Resumo das análises de variância da emergência (EMER), fitointoxicação (FITO) e massa desidratada da parte aérea (MDPA) e das raízes (MDRA) de plantas de feijão comum, avaliadas na primeira linha de estudo. LAFLO/UFGRS, Porto Alegre (RS), 2009(10).

<b>Causas de Variação</b>	<b>G.L.<sup>a</sup></b>	<b>EMER</b>	<b>FITO</b>	<b>MDPA</b>	<b>MDRA</b>
		----- <b>Quadrados médios</b> -----			
<b>Bloco</b>	3	0,17 <sup>nsb</sup>	4,25 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
<b>Dose</b>	4	2,88 <sup>**</sup>	1.581,50 <sup>**</sup>	0,03 <sup>**</sup>	0,003 <sup>**</sup>
<b>Herbicida</b>	4	14,86 <sup>**</sup>	4.156,50 <sup>**</sup>	0,06 <sup>**</sup>	0,003 <sup>**</sup>
<b>Dose x Herbicida</b>	16	2,62 <sup>**</sup>	464,00 <sup>**</sup>	0,01 <sup>**</sup>	0,001 <sup>**</sup>
<b>Resíduo</b>	72	0,54	9,11	0,00	0,000
<b>C.V. (%)</b>	-	11,73	28,61	15,06	12,550

<sup>a</sup>Graus de liberdade das causas de variação da análise de variância (G. L.)

<sup>b</sup>Não significativo (ns) e significativo a 1% de probabilidade (\*\*) do erro experimental.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados das variáveis analisada na análise de variância.

APÊNDICE 11. Resumo das análises de variância do controle (CONT), densidade de plantas (DENS), massa das plantas frescas (MPFP) e desidratadas (MPDP) de papua, aos 20 e 40 dias após a emergência da cultura (DAE), avaliadas na segunda linha de estudo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Causas de Variação	G.L. <sup>a</sup>	CONT		DENS		MPFP		MPDP	
		20 DAE	40 DAE	20 DAE	40 DAE	20 DAE	40 DAE	20 DAE	40 DAE
----- Quadrados médios -----									
<b>Cultivar</b>	1	2.256,20*	2.160,36*	2.335,81**	4.929,65*	111,44 <sup>ns</sup>	1.397,85 <sup>ns</sup>	656,39 <sup>ns</sup>	1.411,30 <sup>ns</sup>
<b>Bloco (Cultivar)</b>	6	901,00*	775,14 <sup>ns</sup>	143,16 <sup>ns</sup>	436,48 <sup>ns</sup>	161,03 <sup>ns</sup>	346,00*	160,34 <sup>ns</sup>	318,36*
<b>Herbicida</b>	3	7.239,44**	3.379,45**	2.201,85**	5.005,18**	2.201,91**	3.911,72**	2.432,24**	3.892,04**
<b>Dose</b>	1	5.476,00**	1.160,56 <sup>ns</sup>	462,17*	867,04 <sup>ns</sup>	569,75 <sup>ns</sup>	1.463,21**	582,54 <sup>ns</sup>	1.428,48**
<b>Herbicida x Dose</b>	3	547,29 <sup>ns</sup>	1.216,36*	93,21 <sup>ns</sup>	614,70 <sup>ns</sup>	50,38 <sup>ns</sup>	282,55 <sup>ns</sup>	40,09 <sup>ns</sup>	253,82 <sup>ns</sup>
<b>Cultivar x Herbicida</b>	3	1.475,79**	1.856,47**	1.656,14**	2.742,44**	1.155,33**	3.006,08**	1.258,31**	2.985,85**
<b>Cultivar x Dose</b>	1	0,56 <sup>ns</sup>	44,11 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	128,26 <sup>ns</sup>	19,51 <sup>ns</sup>	50,44 <sup>ns</sup>	16,95 <sup>ns</sup>	87,01 <sup>ns</sup>
<b>Cultivar x Herbicida x Dose</b>	3	172,68 <sup>ns</sup>	300,63 <sup>ns</sup>	178,77 <sup>ns</sup>	130,43 <sup>ns</sup>	178,26 <sup>ns</sup>	185,49 <sup>ns</sup>	206,17 <sup>ns</sup>	161,43 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	42	332,12	425,39	115,20	256,01	195,92	116,65	224,77	120,88
<b>C.V. (%)</b>	-	33,15	36,23	38,50	39,71	67,70	21,91	66,66	22,26

<sup>a</sup>Graus de liberdade das causas de variação da análise de variância (G. L.)

<sup>b</sup>Não significativo (ns) e significativo a 1% (\*) e 5% (\*\*) de probabilidade do erro experimental.

<sup>c</sup>Coefficiente de variação do conjunto de dados das variáveis analisadas na análise de variância.

APÊNDICE 12. Resumo das análises de variância da densidade de plantas (DPL), número de legumes por área (NLA), número de grãos por legume (NGL), massa do grão (MDG) e rendimento de grãos (RDG) da cultura do feijão comum, avaliadas na segunda linha de estudo. EEA/UFRRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Causas de Variação	G.L. <sup>a</sup>	DPL	NLA	NGL	MDG	RTG
----- Quadrados médios -----						
Cultivar	1	20,89 <sup>*</sup>	122,09 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	11.377,52 <sup>**</sup>	67.373,63 <sup>ns</sup>
Bloco (Cultivar)	6	2,11 <sup>ns</sup>	1.274,18 <sup>**</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	11,94 <sup>ns</sup>	33.793,43 <sup>ns</sup>
Herbicida	3	5,62 <sup>*</sup>	7.904,41 <sup>**</sup>	3,86 <sup>**</sup>	178,72 <sup>**</sup>	1.031.766,35 <sup>**</sup>
Dose	1	5,50 <sup>ns</sup>	700,87 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>**</sup>	53,55 <sup>ns</sup>	144.397,21 <sup>*</sup>
Herbicida x Dose	3	1,39 <sup>ns</sup>	656,55 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	3,89 <sup>ns</sup>	86.307,57 <sup>*</sup>
Cultivar x Herbicida	3	20,10 <sup>**</sup>	4.790,37 <sup>**</sup>	3,68 <sup>**</sup>	97,91 <sup>*</sup>	538.253,36 <sup>**</sup>
Cultivar x Dose	1	1,17 <sup>ns</sup>	454,27 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	5,67 <sup>ns</sup>	20.075,84 <sup>ns</sup>
Cultivar x Herbicida x Dose	3	15,98 <sup>**</sup>	931,77 <sup>*</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	19,38 <sup>ns</sup>	81.999,89 <sup>*</sup>
Resíduo	42	1,92	289,73	0,63	31,65	26.716,34
C.V. (%)		9,66	11,82	22,37	3,42	18,30

<sup>a</sup> Graus de liberdade das causas de variação da análise de variância (G. L.)

<sup>b</sup> Não significativo (ns) e significativo a 1% (\*) e 5% (\*\*) de probabilidade do erro experimental.

<sup>c</sup> Coeficiente de variação do conjunto de dados das variáveis analisadas na análise de variância.

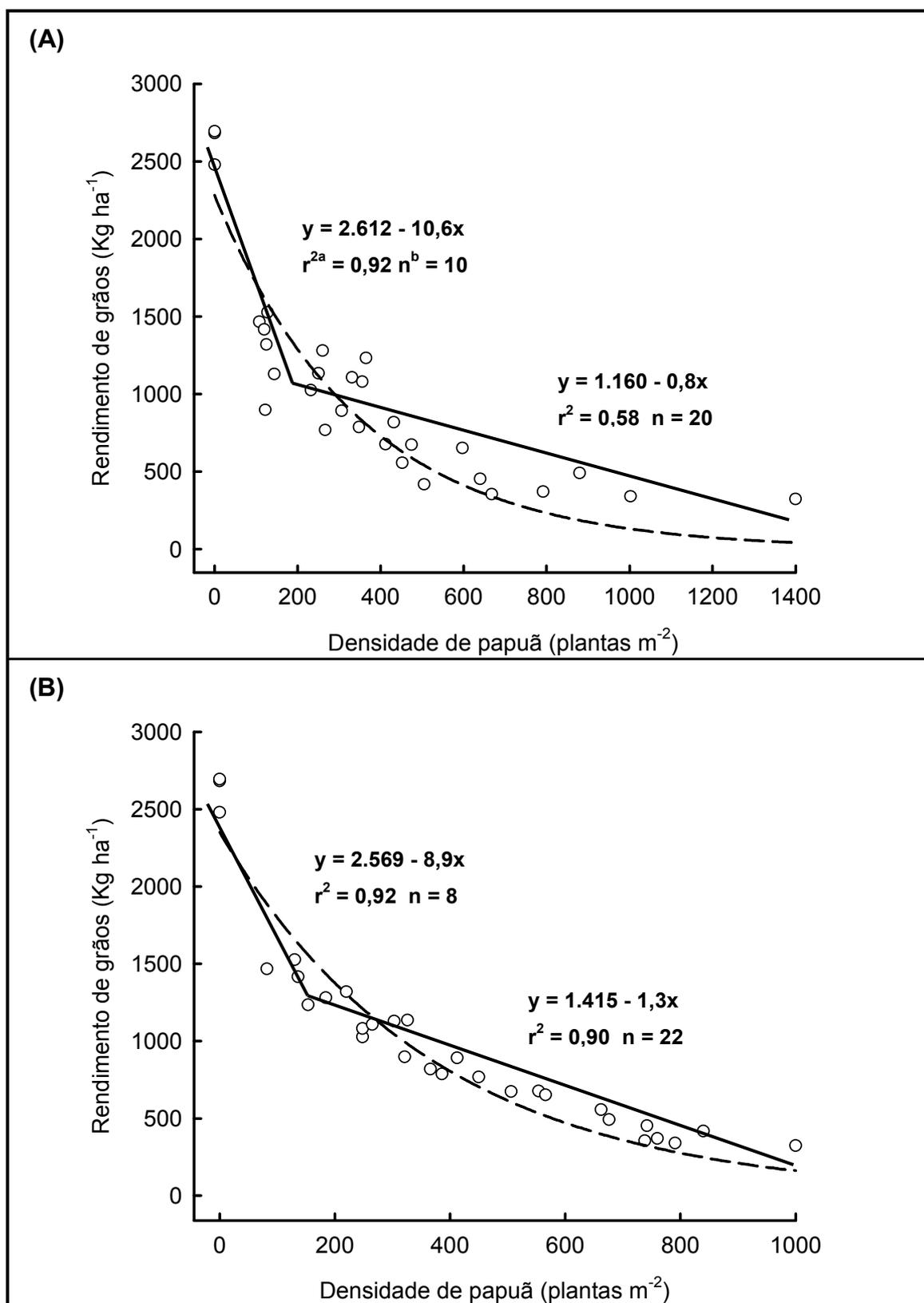
APÊNDICE 13. Resumo das análises de variância da densidade de plantas (DPP), massa das plantas frescas (MPFP) e desidratadas (MPDP) de papua e rendimento de grãos (RDG) da cultura do feijão comum, avaliados na quinta linha de estudo. EEA/UFRRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

Causas de Variação	G.L. <sup>a</sup>	DPP	MPFP	MPDP	RTG
----- Quadrados médios -----					
<b>Bloco</b>	3	297,61 <sup>ns</sup>	247,26 <sup>ns</sup>	254,29 <sup>ns</sup>	116.885,99 <sup>ns</sup>
<b>Dose</b>	4	9.704,23 <sup>**</sup>	15.083,96 <sup>**</sup>	14.861,24 <sup>**</sup>	3.953178,04 <sup>**</sup>
<b>Herbicida</b>	2	182,18 <sup>ns</sup>	17,03 <sup>ns</sup>	39,96 <sup>ns</sup>	20.225,33 <sup>ns</sup>
<b>Dose x Herbicida</b>	8	88,40 <sup>ns</sup>	54,04 <sup>ns</sup>	45,73 <sup>ns</sup>	155.760,47 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	42	133,19	31,55	33,88	158.593,53
<b>C.V. (%)</b>	-	37,10	24,42	25,39	26,64

<sup>a</sup> Graus de liberdade das causas de variação da análise de variância (G. L.)

<sup>b</sup> Não significativo (ns) e significativo a 1% de probabilidade (\*\*) do erro experimental.

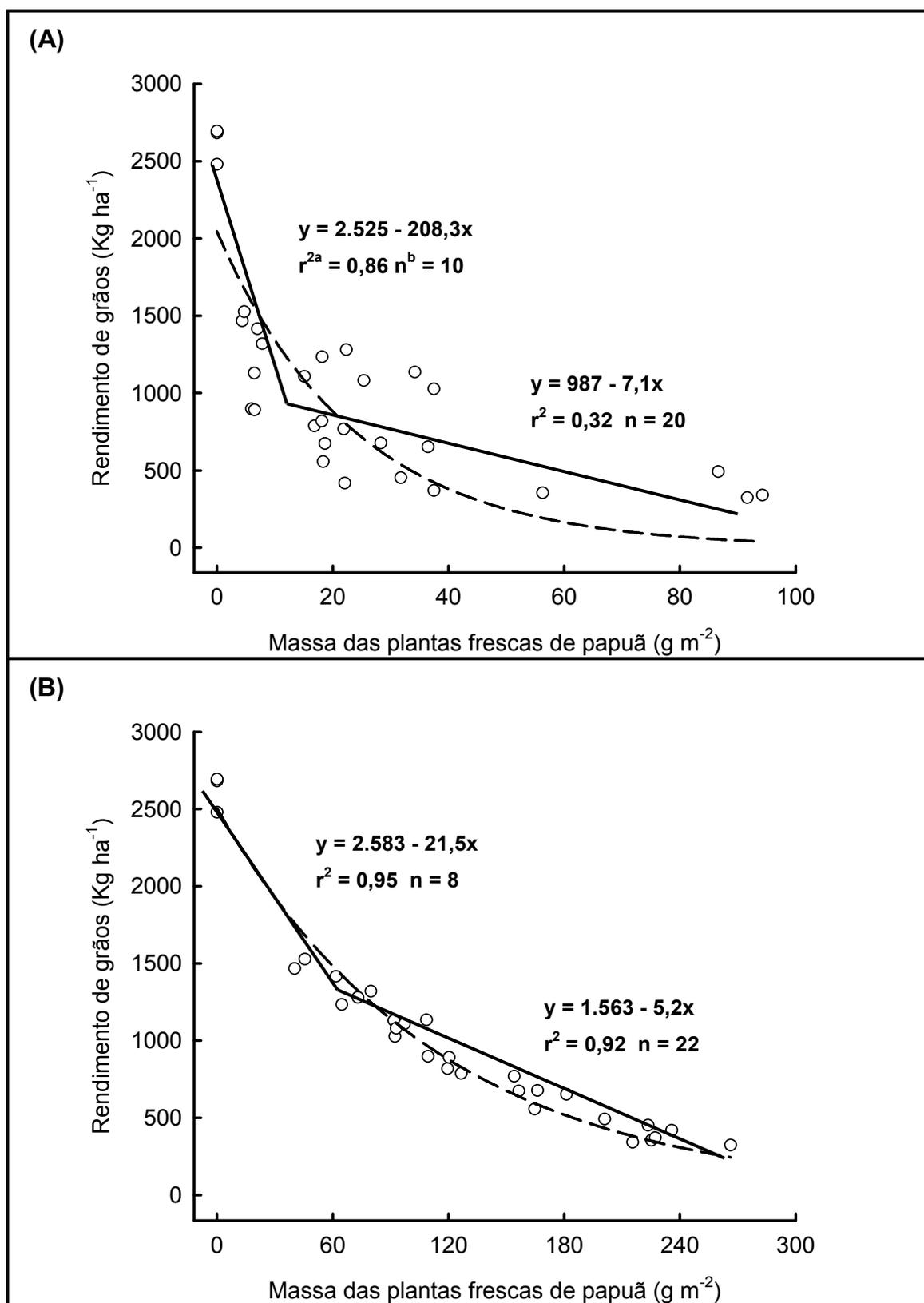
<sup>c</sup> Coeficiente de variação do conjunto de dados das variáveis analisadas na análise de variância.



APÊNDICE 14. Rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'IPR Graúna' em função da densidade de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento da regressão não linear.

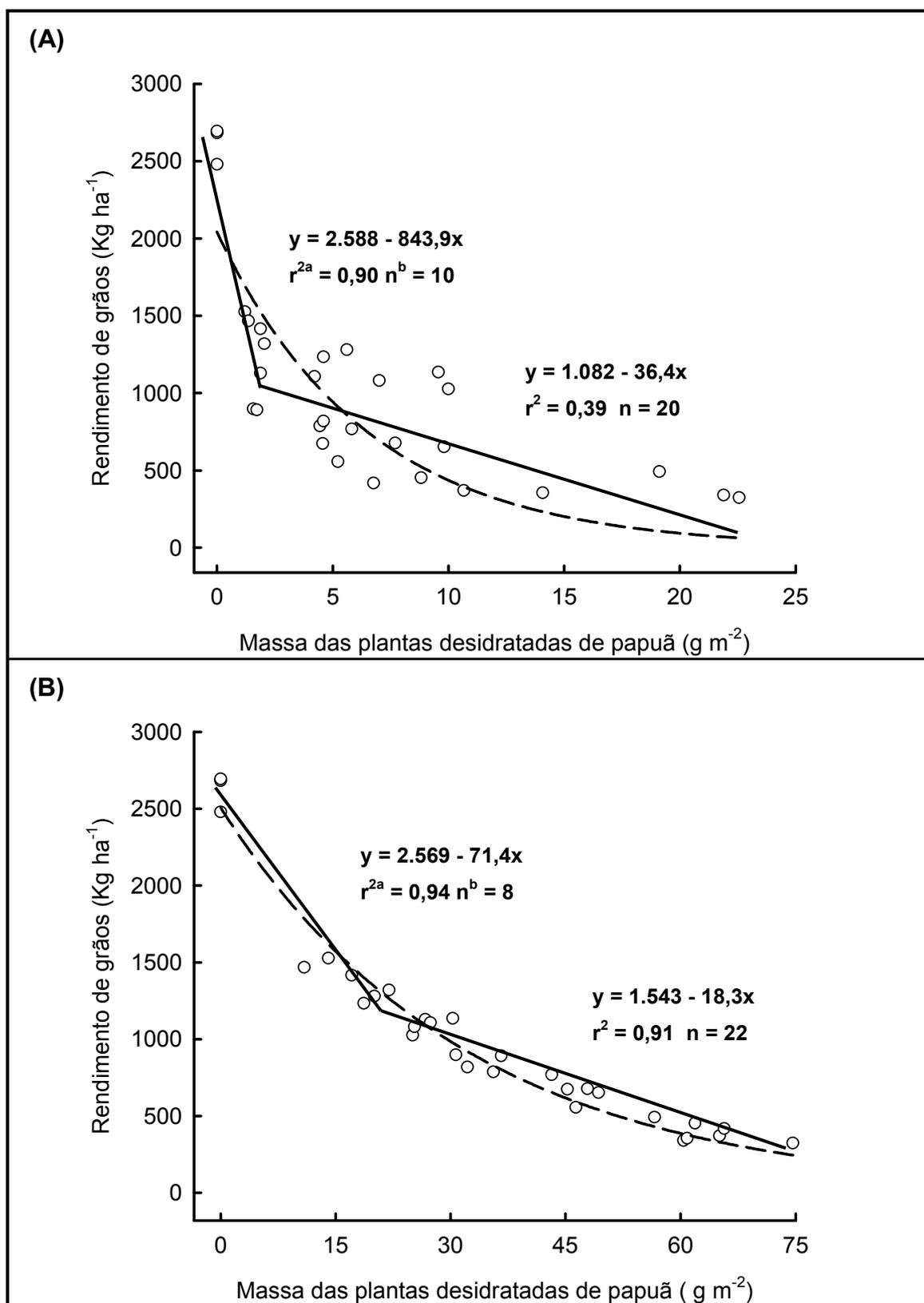
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre a densidade de plantas e o rendimento de grãos.



APÊNDICE 15. Rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'IPR Graúna' em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento da regressão não linear.

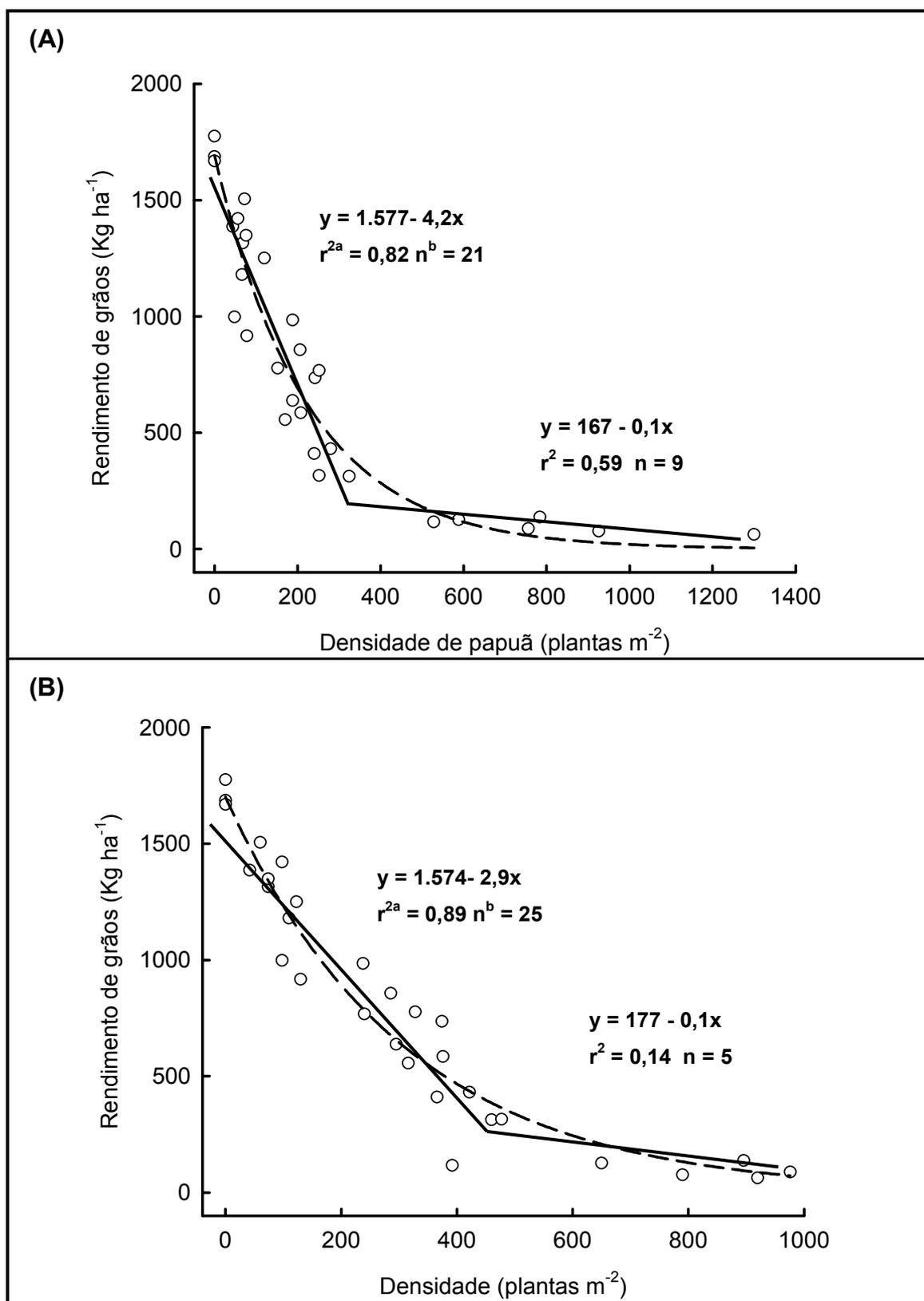
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre a densidade de plantas e o rendimento de grãos.



APÊNDICE 16. Rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'IPR Graúna' em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento da regressão não linear.

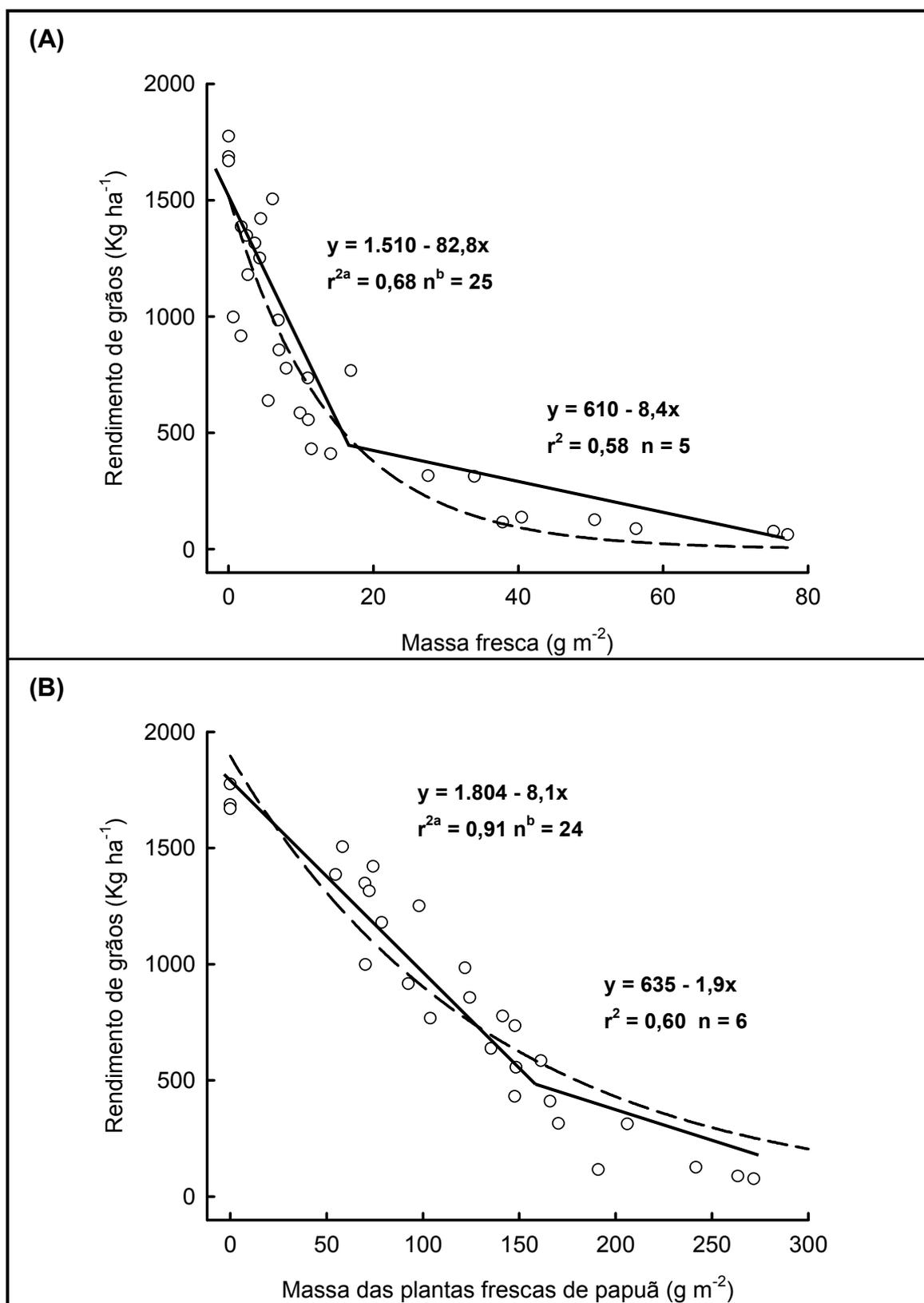
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre a densidade de plantas e o rendimento de grãos.



APÊNDICE 17. Rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'UTF-06' em função da densidade de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento da regressão não linear.

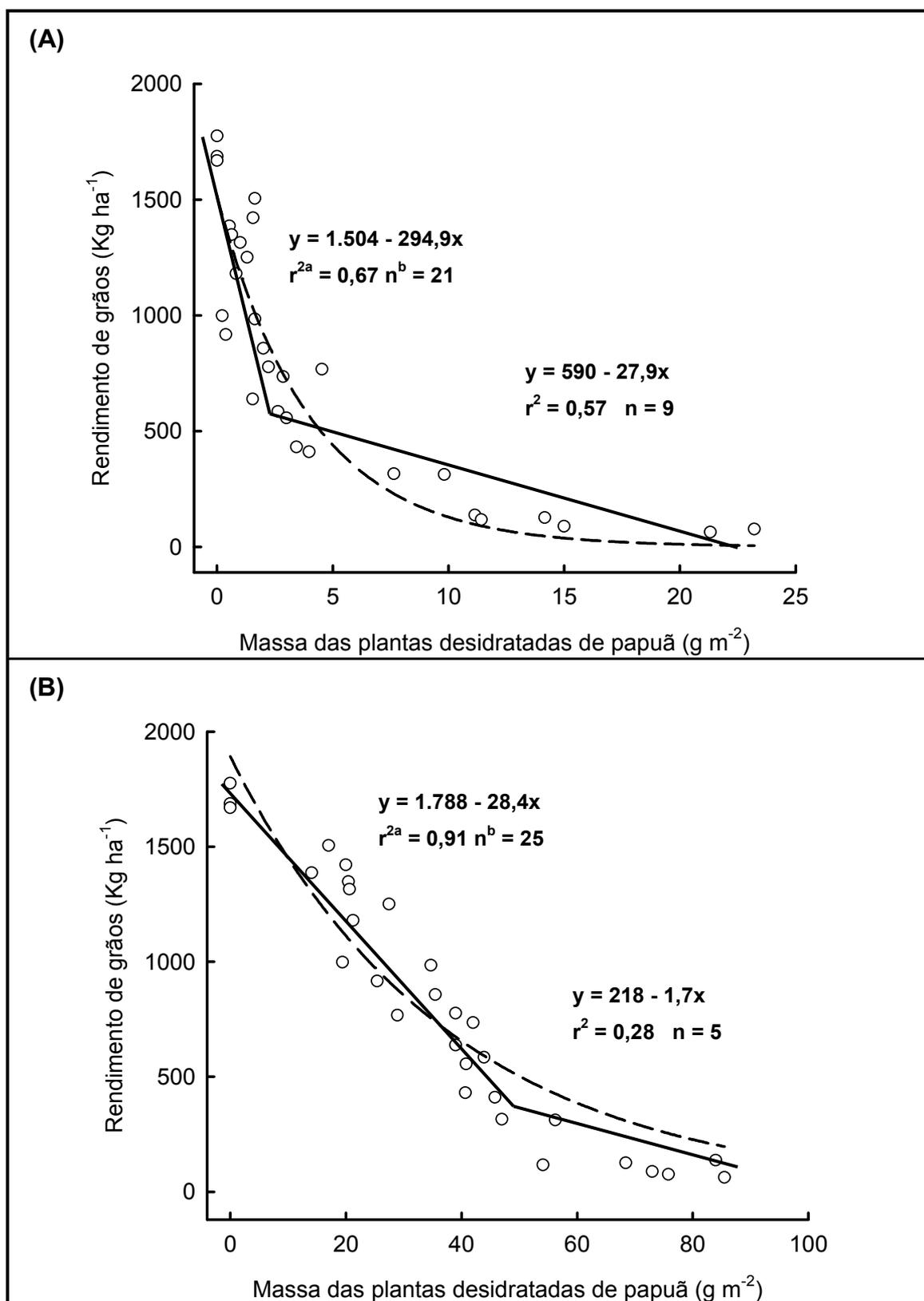
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre a densidade de plantas e o rendimento de grãos.



APÊNDICE 18. Rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'UTF-06' em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento da regressão não linear.

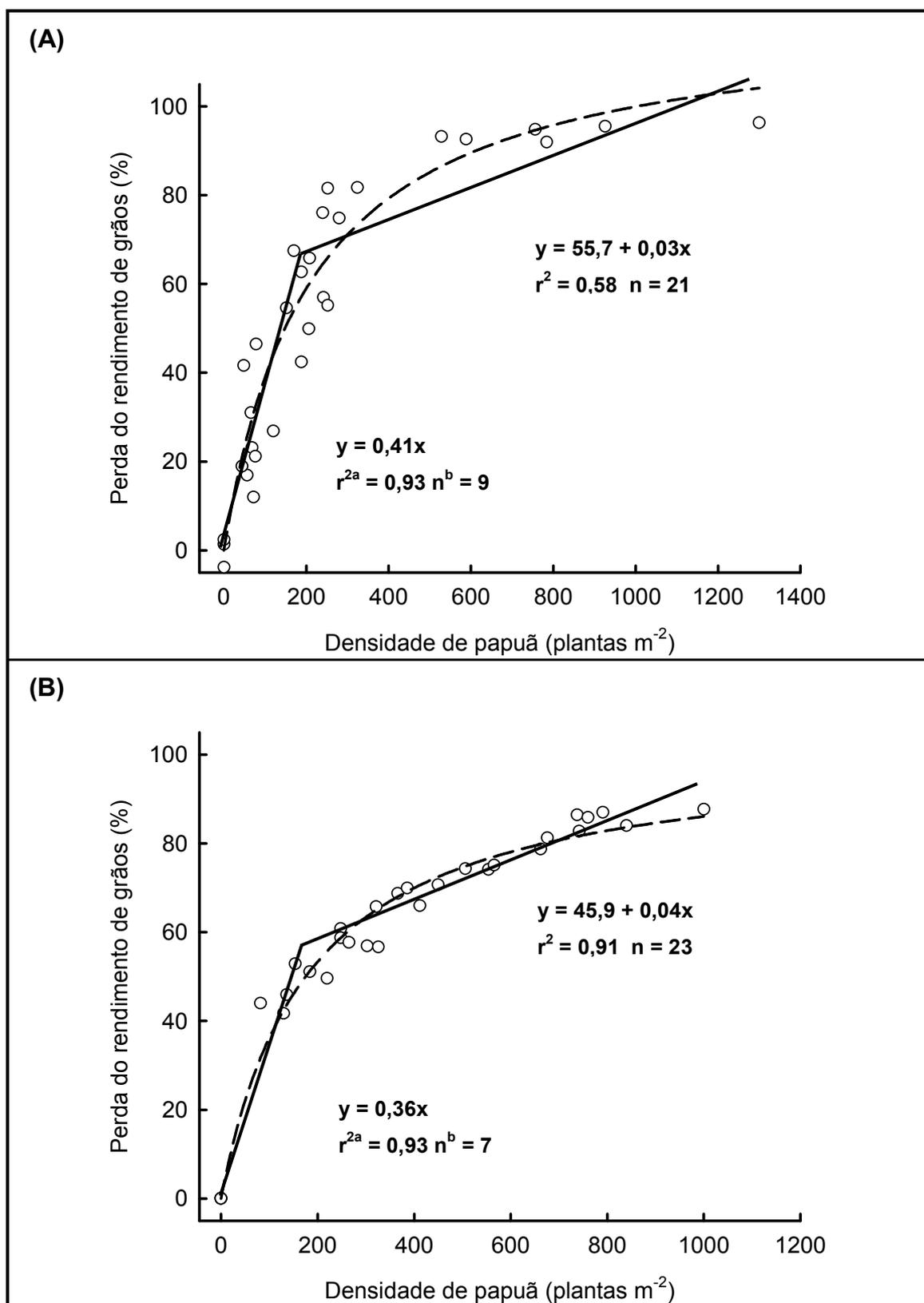
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre a densidade de plantas e o rendimento de grãos.



APÊNDICE 19. Rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'UTF-06' em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento da regressão não linear.

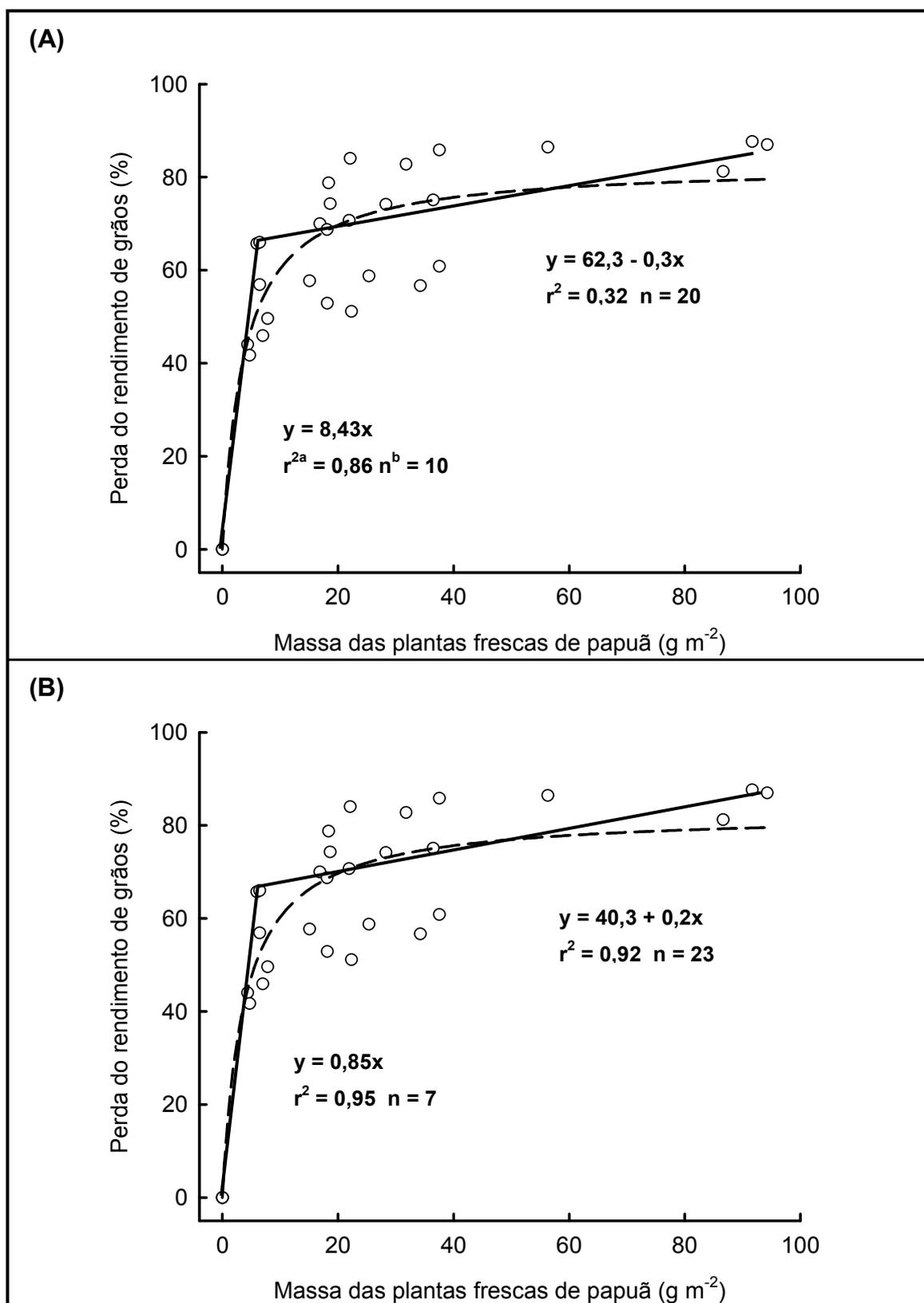
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre a densidade de plantas e o rendimento de grãos.



APÊNDICE 20. Perda de rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'IPR Graúna' em função da densidade de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento de regressão linear.

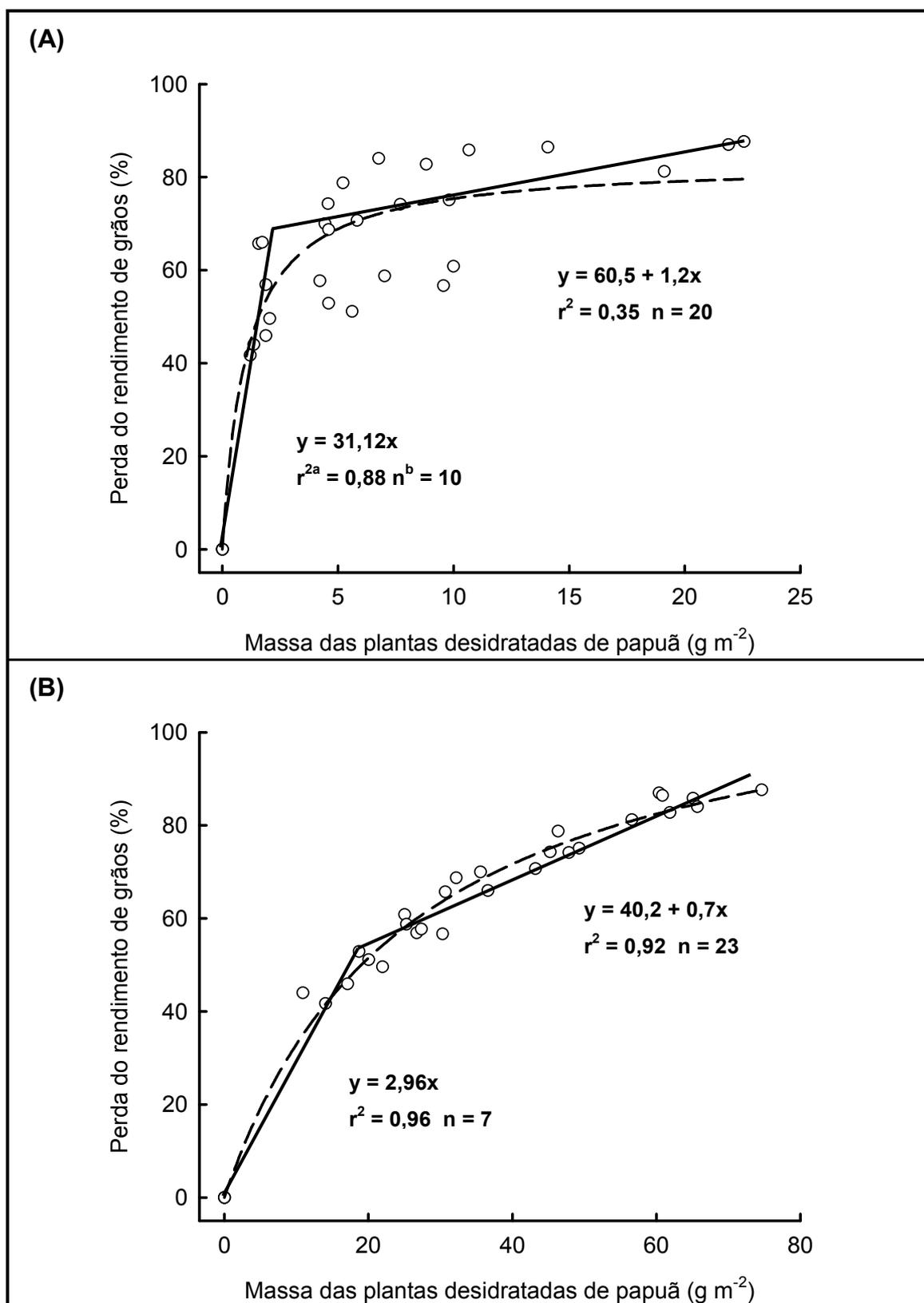
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre as variáveis em cada segmento de regressão linear.



APÊNDICE 21. Perda de rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'IPR Graúna' em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento de regressão linear.

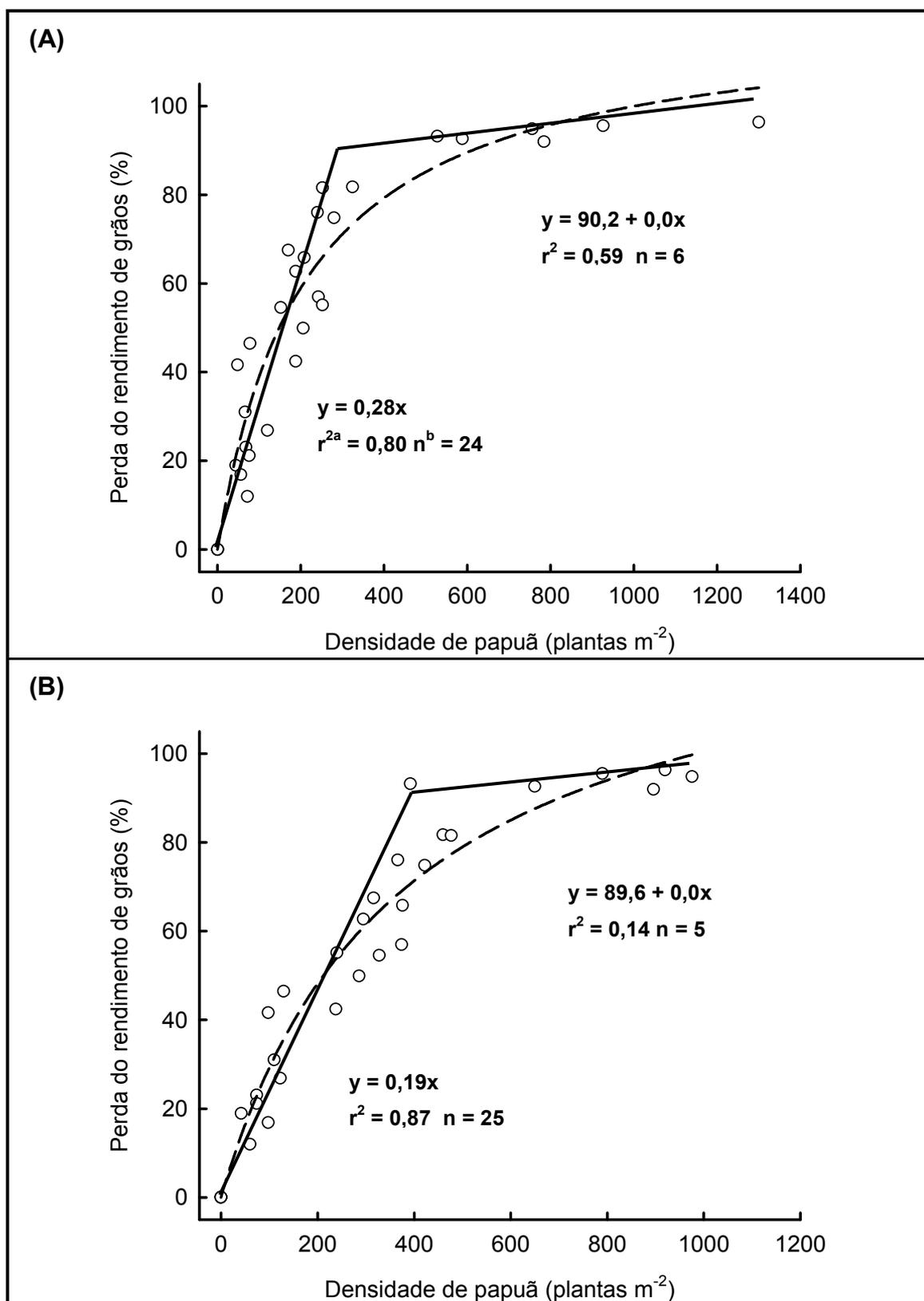
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre as variáveis em cada segmento de regressão linear.



APÊNDICE 22. Perda de rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'IPR Graúna' em função da massa das plantas desidratadas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento de regressão linear.

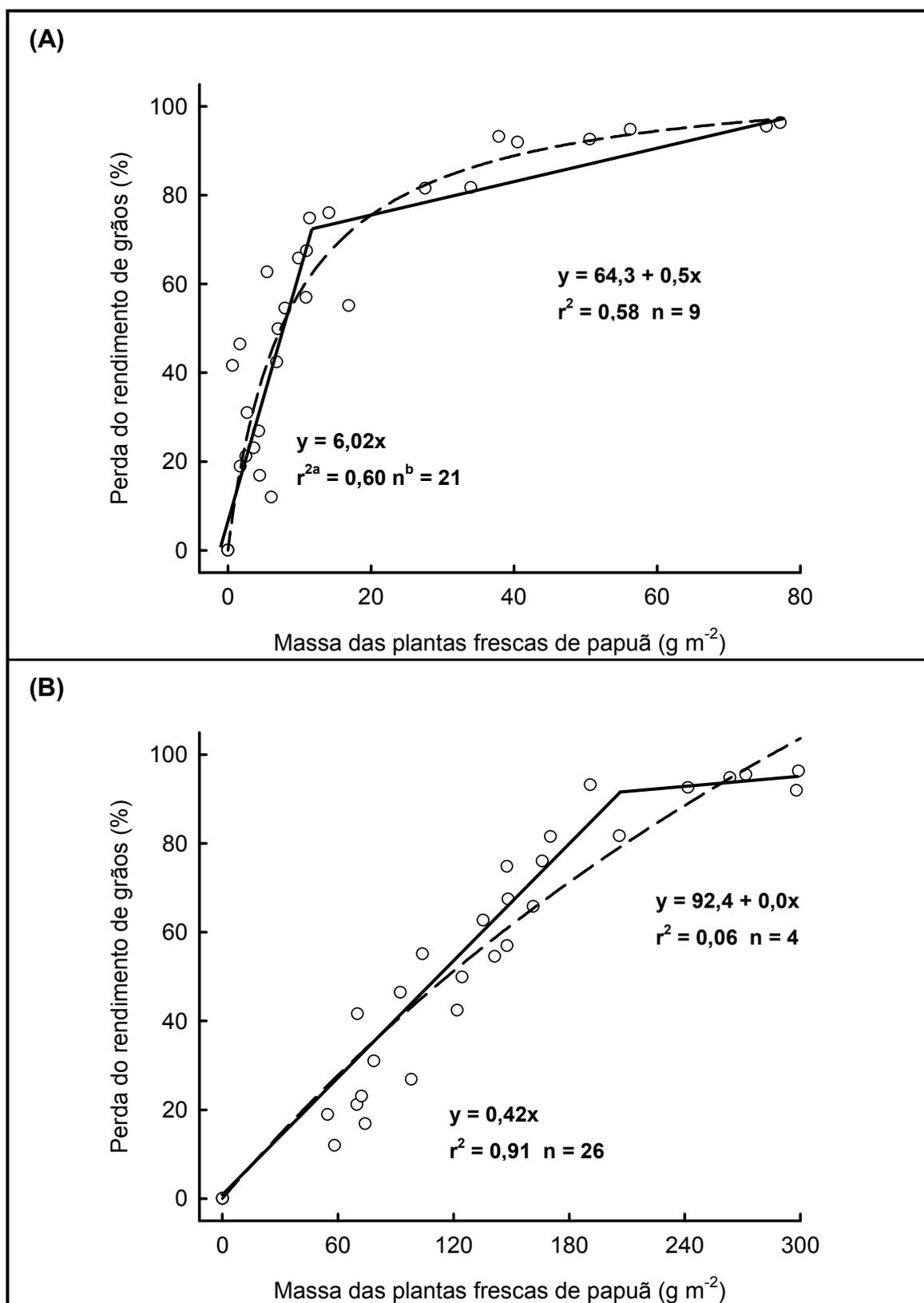
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre as variáveis em cada segmento de regressão linear.



APÊNDICE 23. Perda de rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'UTF-06' em função da densidade de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento de regressão linear.

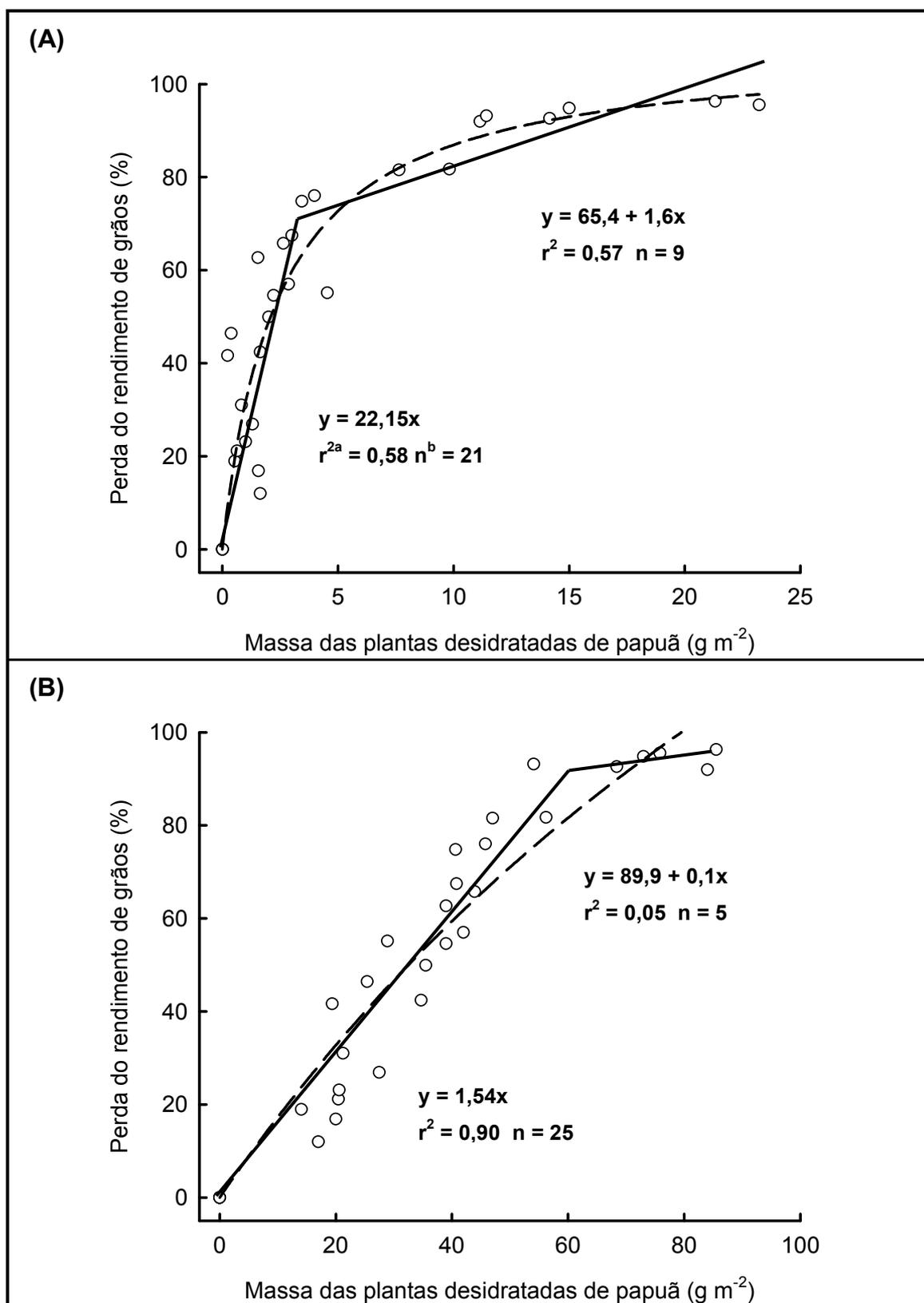
<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre as variáveis em cada segmento de regressão linear.



APÊNDICE 24. Perda de rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'UTF-06' em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento de regressão linear.

<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre as variáveis em cada segmento de regressão linear.



APÊNDICE 25. Perda de rendimento de grãos de feijão comum na cultivar 'UTF-06' em função da massa das plantas frescas de papuã, aos 20 (A) e 40 (B) dias após a emergência da cultura. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul (RS), 2008(09).

<sup>a</sup>Número de dados incluídos em cada segmento de regressão linear.

<sup>b</sup>Coefficiente de associação entre as variáveis em cada segmento de regressão linear.

APÊNDICE 26. Custos<sup>a</sup> dos herbicidas gramínicos utilizados para determinar a magnitude da margem líquida dos tratamentos na quinta linha de estudo.

<b>Insumos agrícolas</b>	<b>Unidade</b>	<b>Indexador (R\$)<sup>a</sup></b>
Clethodim <sup>b</sup>		98,8
Sethoxydim <sup>b</sup>		27,8
Fluazifop-p-butyl <sup>b</sup>		32,1

<sup>a</sup>Levantamento dos custos de produção na região Sul do Brasil, com pagamento à vista, no mês de janeiro da safra agrícola 2010(11) (CONAB, 2010).

<sup>b</sup>Clethodim (Select), sethoxydim (Poast) e fluazifop-p-butyl (Fusilade).

APÊNDICE 27. Custos de produção<sup>a</sup> (reais ha<sup>-1</sup>) da cultura do feijão comum, sem o controle de plantas daninhas em pós-emergência, utilizados para determinar a magnitude da margem líquida dos tratamentos na quinta linha de estudo.

Descrição dos custos <sup>a</sup>	Quantia	Unidade	Valor <sup>c</sup>	
			Unitário	Total
----- Custos em pré-plantio -----				
<b>a) Operação com máquinas</b>				
a.1) Aplicação de calcário	0,4	h/m	39,1	15,6
a.2) Aplicação de herbicidas	0,4	h/m	39,1	15,6
<b>b) Mão-de-obra permanente<sup>b</sup></b>				
b.1) Auxiliar de aplicação	0,2	d/h	5,1	1,0
<b>c) Calcário dolomítico de uso agrícola</b>	0,5	t	42,0	21,0
<b>d) Herbicidas de aplicação em pós-emergência</b>				
d.1) Roundup (Glifosato 360 g L <sup>-1</sup> )	3,0	l	10,3	30,9
d.2) Aminol 806 (2,4-D amina 806 L <sup>-1</sup> )	1,0	l	9,4	9,4
----- Custos durante o plantio -----				
<b>a) Operação com máquinas</b>				
a.1) Plantio	0,6	h/m	88,3	53,0
<b>b) Mão-de-obra permanente<sup>b</sup></b>				
b.1) Auxiliar no plantio	0,2	d/h	5,1	1,0
<b>c) Adubos e fertilizantes químicos</b>				
c.1) Adubo (5-20-30)	0,4	t	1.005,6	402,2
<b>d) Sementes</b>	65,0	kg	5,4	351,0
<b>e) Tratamento de sementes</b>				
e.1) Crop Star (Tiodicarb 450 g L <sup>-1</sup> )	0,3	l	168,0	50,4
e.2) Derosal (Carbendazin 150 g L <sup>-1</sup> )	0,2	l	39,0	7,8
----- Custos de condução da cultura -----				
<b>a) Operação com máquinas</b>				
a.1) Aplicação de defensivos	2,0	h/m	39,1	78,2
<b>b) Mão-de-obra permanente<sup>b</sup></b>				
Auxiliar de aplicação	0,2	d/h	5,1	1,0
<b>c) Defesa fitossanitária da cultura</b>				
c.1) Endosulfan (Endosulfan 350 g L <sup>-1</sup> )	1,5	l	9,9	14,9
c.2) Connect (Imidacloprido 100 g L <sup>-1</sup> )	0,8	l	27,9	20,9
c.3) Decis (Deltametrina 25 g L <sup>-1</sup> )	0,4	l	13,0	5,2
c.4) Oberon (Espiromesifeno 240 g L <sup>-1</sup> )	0,5	l	46,4	23,2
c.5) Comet (Piraclostrobina 250 g L <sup>-1</sup> )	0,3	l	125,0	37,5
c.6) Cercobin (Tiofanato 700 g kg <sup>-1</sup> )	1,0	kg	22,0	22,0
c.7) Caramba (Metconazol 90 g L <sup>-1</sup> )	1,0	l	33,7	33,7
c.8) Mertin (Hidro. Fentinina 400 g L <sup>-1</sup> )	0,8	l	70,5	56,4
<b>c) Adubos e fertilizantes (cobertura)</b>				
d.1) Uréia (45-00-00)	0,1	t	799,0	103,9
d.2) Cloreto de potássio (00-00-58)	0,03	t	1.041,5	31,2
----- Custos durante a colheita da cultura -----				
<b>a) Operação com máquinas</b>				
a.1) Colheita da cultura	1,0	h/m	84,7	84,7
a.2) Transporte dos grãos	0,5	h/m	41,1	20,5
<b>b) Mão-de-obra permanente<sup>b</sup></b>				
b.1) Auxiliar de colheita	0,1	d/h	5,1	0,5
----- Outros custos operacionais efetivos -----				
<b>a) Seguro agrícola</b>	6,0	%	2.114,7	126,9
<b>b) Impostos e taxas agrícolas</b>	2,3	%	3.021,0	69,5
<b>c) Depreciação de máquinas agrícolas</b>	-	-	145,7	145,7
<b>d) Remuneração esperada sobre o capital fixo</b>	4,0	%	5.440,0	217,6
<b>e) Terra</b>	3,0	%	6.500,0	195,0
<b>Total de despesas</b>				<b>2.138,3</b>

<sup>a</sup>Levantamento dos custos médios de produção no Estado do Paraná, com pagamento à vista, para o mês de janeiro da safra agrícola 2010(11) (CONAB, 2010). A estimativa não inclui os custos com controle de plantas daninhas durante a condução da cultura.

<sup>b</sup>Cálculo considera o valor salário mínimo mensal (R\$ 510,00), rateado por 100 ha.

## **9 VITA**

Augusto Kalsing é filho de Airton Antonio Kalsing e Anelise Barth. Nasceu em Estrela-RS, no dia 08 de novembro do ano de 1983. Coursou o primeiro grau no Colégio Santo Antônio, em Estrela-RS; e, no Centro Educacional Adventista do Bairro Santa Mônica, em Uberlândia-MG. Coursou o segundo grau no Colégio Santo Antônio, em Estrela-RS; e, no Colégio Municipal Castro Alves, em Posse-GO. Graduou-se, no ano de 2008, no Curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre-RS. Após, no ano de 2011, obteve o grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRGS, com apoio financeiro do Conselho Nacional e Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Atualmente, é pesquisador da Fundação de Apoio e Desenvolvimento de Tecnologia ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), em Cachoeirinha-RS.