

PERÍODO ANTERIOR AO DANO NO RENDIMENTO ECONÔMICO (PADRE): NOVA ABORDAGEM SOBRE OS PERÍODOS DE INTERFERÊNCIA ENTRE PLANTAS DANINHAS E CULTIVADAS¹

Weedy Period Prior to Economic Loss (WEEPEL): A New Approach to Weedy and Weed-Free Periods

VIDAL, R.A.², FLECK, N.G.² e MEROTTO JR., A.²

RESUMO - Admite-se a hipótese de que aspectos econômicos como o custo de controle e o valor monetário dos grãos devem ser utilizados como critério para determinar o período aceitável de interferência das plantas daninhas antes de se decidir pelo seu controle. O período inicial assim obtido foi denominado Período Anterior ao Dano no Rendimento Econômico (PADRE). Desenvolveu-se um modelo matemático utilizando-se os aspectos econômicos citados, parametrizou-se o modelo com base em resultados da literatura e foram feitas diversas simulações. Os resultados permitiram confirmar a hipótese de que o custo do controle das plantas daninhas e o preço dos grãos da cultura podem ser utilizados como bons indicadores dos períodos de interferência. O PADRE diminui com o incremento do preço da cultura, ou com a redução do custo de controle, ou com o aumento do potencial produtivo da cultura, indicando que, nessas condições, o controle precoce das plantas daninhas é economicamente justificável. O trabalho aponta algumas limitações encontradas na literatura científica e soluções para se obter o PADRE e os demais períodos de interferência.

Palavras-chave: soja, milho, competição, interferência.

ABSTRACT - This work hypothesizes economic aspects, such as weed control cost and grain price, should be used as criteria to determine weed interference periods in the crops to support weed control decisions. The weedy period based on such parameters was termed weedy period prior to economic loss (WEEPEL). A mathematical model was developed based on the above-mentioned economic aspects, model parameters were searched in the literature, and simulations performed. The simulation results allowed confirming the hypothesis that weed control cost and grain price are good criteria to determine weed interference periods. WEEPEL decreases with increasing crop grain prices, or decreasing weed control costs, or increasing crop potential yield, suggesting that under these conditions very early weed control is economically justifiable. This research points some limitations found in the scientific literature, and suggests alternatives for determination of WEEPEL and other periods.

Key words: soybean, corn, weed competition, interference.

¹ Recebido para publicação em 22.3.2005 e na forma revisada em 5.9.2005.

² Eng.-Agr., Ph.D., Professor do Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Bolsista do CNPq, <ribas.vidal@ufrgs.br>



INTRODUÇÃO

Plantas daninhas são vegetais que ocorrem espontaneamente nas áreas de interesse agrônomo e prejudicam o crescimento e o desenvolvimento normal das plantas cultivadas. Mesmo utilizando todas as medidas de manejo de plantas daninhas disponíveis, ainda sobram indivíduos suficientes para causar prejuízos da ordem de 2 bilhões de dólares, estimados para o Brasil com as culturas de soja e milho, considerando somente as perdas de grãos pela interferência das plantas daninhas (estimativa baseada em Oerke & Dehne, 2004). Parte da perda de grãos pela cultura é provavelmente decorrente da convivência inicial com as plantas daninhas quando da decisão tardia de seu manejo com herbicidas de aplicação em pós-emergência (Zagonel et al., 2000; Meschede et al., 2002, 2004).

Os períodos de convivência entre plantas daninhas e cultivadas foram definidos por Nieto et al. (1968) em três categorias e denominados no Brasil pelas siglas PAI, PTPI e PCPI, significando período anterior à interferência, período total de prevenção à interferência e período crítico de prevenção à interferência, respectivamente (Pitelli & Durigan, 1984). O primeiro período é estabelecido a partir da análise de períodos crescentes de convivência inicial entre planta daninha e cultura. O segundo é determinado pela análise de períodos crescentes de ausência de interferência inicial entre as duas comunidades vegetais. Da diferença entre ambos é determinado o terceiro período, que indica a época em que, obrigatoriamente, se deve evitar a interferência das plantas daninhas.

Vários critérios foram utilizados para se definir *até que nível de perda do rendimento da cultura é aceitável* para determinar os períodos de interferência das plantas daninhas. Alguns autores têm adotado o nível definido pelo teste de comparação de médias, enquanto outros têm fixado valores fixos entre 2 e 10% do rendimento máximo (Blanco et al., 1973, 1978; Durigan et al., 1983; Hall et al., 1992; Van Acker et al., 1993).

No Brasil, a partir de meados dos anos 80, as pesquisas dedicadas ao conhecimento do PAI assumiram muita importância devido ao advento de herbicidas de aplicação em

pós-emergência e ao incremento da área cultivada no sistema de semeadura direta. Assim, na cultura da soja, verificaram-se períodos de convivência inicial entre plantas cultivadas e daninhas entre 17 e 35 dias sem que fossem determinadas reduções significativas (pelos critérios anteriormente citados) no rendimento de grãos (Blanco et al., 1973; Durigan et al., 1983; Spadotto et al., 1994; Carvalho & Velini, 2001; Melo et al., 2001; Meschede et al., 2002). Da mesma forma, na cultura do milho, constataram-se períodos de convivência inicial das plantas daninhas e cultivadas entre 15 e 30 dias sem reduções no rendimento de grãos (Blanco et al., 1976; Ramos & Pitelli, 1994; Merotto Jr. et al., 2000).

Com a evolução do conhecimento científico no manejo das culturas, questionaram-se diversos aspectos, nesses períodos. Inicialmente, a definição do PAI em termos de número de dias após a emergência (DAE) da cultura pareceu inapropriada, pelo fato de que o estágio fenológico parece ser a tendência atual para definir os tratamentos culturais nas culturas. Dessa forma, a convivência inicial das plantas daninhas na cultura do milho podia ser tolerada até o estágio V2 ou V3 (duas ou três folhas totalmente expandidas, respectivamente) (Hall et al., 1992; Koslowski, 2002). Contudo, a definição do período de convivência das plantas daninhas pelo estado fenológico também parece inapropriada, pois leva em consideração apenas um dos componentes bióticos do sistema, a cultura, deixando de considerar as espécies daninhas. Por exemplo, numa situação em que a cultura é semeada em período frio (setembro, na Depressão Central do RS), a cultura do milho pode levar até 50 DAE para atingir o estágio V3. Entretanto, na comunidade infestante da cultura poderá haver espécies adaptadas a se desenvolver adequadamente nessas condições, de forma que, quando a cultura estiver no referido estágio de desenvolvimento, as plantas daninhas já terão dominado o nicho, comprometendo seriamente o rendimento de grãos da cultura. Mesma análise pode ser realizada quando se considera o acúmulo térmico da cultura para definir o PAI (Bedmar et al., 1999).

Diversas variáveis foram avaliadas para detectar precocemente o PAI. O nível de nitrogênio em milho foi investigado como possível



candidato a esse fenômeno, porém sem lograr sucesso (Puríssimo et al., 2002). As alterações no estágio fenológico da cultura também foram consideradas como possíveis candidatas para a previsão precoce do PAI e, novamente, não se mostraram bem sucedidas (Skóra Neto, 2003).

Na análise dos fatores que interferem na magnitude e no período da interferência entre plantas daninhas e cultivadas, constata-se que a cultura, o ambiente e as espécies daninhas modificaram drasticamente da década de 1970 para a atual. De fato, culturas como soja e milho, entre outras, tiveram melhorias de até 60% no seu potencial produtivo (McLaren, 2000). Assim, atualmente são comuns relatos de rendimentos de grãos da ordem de 4 e 12 t ha⁻¹, para soja e milho, respectivamente, enquanto na década de 1970 metas de produtividade de 2 e 6 t ha⁻¹ para as mesmas culturas pareciam utopia. Além da genética, esses incrementos no rendimento foram obtidos com melhor adequação da época de semeadura, do espaçamento e da densidade das culturas. Alterações no ambiente ocorreram por conta da adoção do sistema de semeadura direta e conseqüente aumento dos níveis de matéria orgânica no solo, melhoria na disponibilidade hídrica e nos níveis de adubação do solo e da cultura, além de melhorias na estruturação do solo e nos aspectos microbiológicos. Todas essas modificações foram acompanhadas por mudanças na flora daninha, com surgimento de novas espécies e aumento geral na densidade da infestação, principalmente das espécies perenes e daquelas advindas da estratificação do banco de sementes na camada superficial do solo. Além de tudo isso, ocorreram reduções do custo do controle das espécies daninhas e elevação do preço dos grãos das culturas, com conseqüente alteração no impacto econômico das infestantes na produtividade dessas (Vidal et al., 2004).

Neste trabalho, propõe-se uma nova abordagem em relação ao PAI, a partir dos trabalhos de Zagonel et al. (2000) e Meschede et al. (2002, 2004). Com a evolução da tecnologia e alteração dos custos e preços, o período de convivência entre plantas daninhas e cultivadas pode ser muito pequeno. Visto de outra forma, os critérios descritos no terceiro parágrafo

desta introdução não apresentavam sensibilidade suficiente para detectar a interferência inicial das plantas daninhas. Atualmente, com regressões lineares e polinômios segmentados entre período de convivência inicial das plantas daninhas e rendimento de grãos, foi possível detectar prejuízos mínimos causados pela interferência. Aliado a isso, uma das **hipóteses deste trabalho é de que o custo de controle deve ser o critério para definir qual o valor aceitável de prejuízo de grão na cultura** para, então, decidir-se pelo controle. Propõe-se que se defina o período inicial assim obtido de Período Anterior ao Dano no Rendimento Econômico (PADRE), de forma análoga ao critério utilizado para definir nível de dano econômico (Vidal et al., 2004).

A comprovação da existência do PADRE implica controle das plantas daninhas em período mais precoce, de forma a evitar o prejuízo detectado por Oerke & Dehne (2004), os quais reportaram que, apesar das medidas de controle de infestantes nas culturas analisadas (algodão, arroz, batata, beterraba, cevada, trigo, milho e soja), a redução do rendimento causada por estas atingia 9,4%, em média, no mundo. Objetivou-se, com este trabalho, realizar simulações matemáticas que evidenciem a existência do PADRE e discutir possíveis implicações científicas e práticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento do modelo

Pela definição proposta para o PADRE, a perda de rendimento tolerada na cultura (PR) é aquela equivalente ao custo do controle (CC) (equação 1).

$$CC = PR \quad [\text{eq. 1}]$$

O custo do controle das plantas daninhas consiste do preço do herbicida (PH) por área tratada mais o custo da aplicação (CA). A perda de rendimento é dada pela perda percentual diária (PP), multiplicada pelo rendimento da cultura (RC), multiplicados pelo número de dias de convivência das plantas daninhas após a emergência da cultura (DM). Substituindo os valores na equação 1, obtém-se a equação 2.

$$PH + CA = PP * RC * DM \quad [\text{eq. 2}]$$



Isolando o DM num dos lados da equação, origina-se a equação 3, que possibilita calcular o PADRE.

$$DM = PADRE = (PH + CA) / (PP * RC) \quad [eq. 3]$$

Parametrização do modelo

Para realizar as simulações matemáticas de forma realista, há necessidade de localizar na literatura as informações necessárias para os parâmetros à direita da equação 3. Os parâmetros referentes a PH, CA e RC foram localizados em literatura pertinente à área econômica e voltada ao setor produtivo.

O valor PP foi calculado a partir de dados coletados na literatura e após realizar a regressão linear entre o rendimento de grãos da cultura (variável dependente, y) e o número de dias iniciais com convivência das plantas daninhas (variável independente, x). O parâmetro b (coeficiente de declividade) desta equação, dividido pelo parâmetro a (intercepção no eixo y), resulta no coeficiente PP e representa a perda percentual no rendimento de grãos por dia de convivência entre plantas daninhas e cultivadas após a emergência.

Simulações matemáticas

Depois de análise da literatura e obtenção de valores mínimos e máximos possíveis para todos os parâmetros da equação 3, foram feitas simulações para definir o PADRE de forma análoga à desenvolvida por Vidal et al. (2004). As simulações realizadas dessa forma permitem interpretar os resultados do PADRE na melhor e na pior das situações possíveis. Com isso, pôde-se fazer análise detalhada das possíveis implicações e conseqüências das estratégias de manejo de plantas daninhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para simplificar a análise da literatura pertinente para este trabalho, concentraram-se os exames de opções de manejo nas culturas de soja e de milho. As análises econômicas foram realizadas na moeda nacional (real, R\$) e, para referência futura, a taxa de câmbio situou-se aproximadamente R\$ 3,00 para cada dólar.

Parametrização do modelo

O controle de plantas daninhas numa área pode ser realizado com produtos de aplicação em pré-emergência ou com aplicações em pós-emergência das infestantes. Considerando-se produtos em pré-emergência da cultura de soja, o preço do herbicida (PH) por hectare tratado varia entre R\$ 35,00 (imazaquin) e R\$ 50,00 (metribuzin), para controle de dicotiledôneas, e entre R\$ 88,00 (S-metolachlor) e R\$ 130,00 (trifluralin), para controle de gramináceas (AENDA, 2005). Assim, o preço de herbicidas em pré-emergência situa-se entre R\$ 123,00 e R\$ 180,00. Caso haja opção para controle de plantas daninhas com herbicidas em pós-emergência, o custo destes varia entre R\$ 90,00 (chlorimuron + sethoxydim) e R\$ 140,00 (clethodim + lactofen) (AENDA, 2005).

O custo do herbicida por hectare tratado para aplicação em pré-emergência para controle de plantas daninhas em milho situa-se na faixa de R\$ 74,00 (atrazine + simazine) a R\$ 130,00 (atrazine + S-metolachlor). No caso de aplicação em pós-emergência seletiva ao milho, o custo do controle é de R\$ 180,00 (nicosulfuron) (AENDA, 2005).

Além do preço do herbicida, ainda há necessidade de se considerar o custo da aplicação (CA), que envolve custos fixos (depreciação do trator e pulverizador) e custos variáveis (mão-de-obra, lubrificante e combustível). A faixa de variação pode ser grande, mas o valor médio de R\$ 5,10 por hectare aspergido, referido por Lamego et al. (2002), parece apropriado.

Considerando estes dois itens em conjunto (PH + CA) e estudando a faixa de variação de valores que permitissem uso para ambas as culturas (soja e milho), decidiu-se fazer as simulações com valores de **custo de controle** que se situem entre R\$ 50,00 e R\$ 200,00.

O rendimento da cultura (RC) foi padronizado no valor de 3.000 kg ha⁻¹ para a cultura de soja e 12.000 kg ha⁻¹ para a de milho. Discussões foram realizadas, analisando-se o impacto do rendimento de grãos no valor do PADRE.

O valor monetário do grão de soja e de milho depende da lei da oferta e da procura. Historicamente, foram registrados valores de



R\$ 15,00 por saco de milho e R\$ 30,00 por saco de soja. Assim, para facilitar a interpretação entre as diversas análises a serem realizadas, foram realizadas simulações considerando-se valor do grão entre R\$ 0,20 e R\$ 0,80 por kg de grão.

A perda de rendimento é dada pela perda percentual diária (PP). Os valores relativos ao PP, embora pertinentes à ciência das plantas daninhas, foram difíceis de ser obtidos devido a três razões. Primeiramente, muitos trabalhos publicados apresentam os resultados de tempo de convivência das plantas daninhas e rendimento expressos em figuras, tornando impossível identificar os verdadeiros valores numéricos originais. Em segundo lugar, quando as figuras com os resultados apresentavam as equações da regressão obtida entre as duas variáveis citadas, normalmente não era equação linear para o período entre a emergência da cultura e os 20 ou 30 primeiros DAE da cultura. Por fim, a maioria dos trabalhos apresentava intervalos iniciais de convivência entre as plantas cultivadas e daninhas – os de maior interesse para demonstração do PADRE – muito longos. Apesar dessas restrições, foram localizados na literatura dados que puderam definir limites mínimos e máximos para o parâmetro PP (Tabela 1).

Regressões lineares entre os períodos de convivência inicial das plantas daninhas e rendimento de grãos de soja demonstraram redução de 0,17 a 0,34% (PP) no rendimento da cultura de soja com cada dia de mato convivência (Tabela 1). Da mesma forma, cada

dia de interferência das plantas daninhas a partir da emergência das plantas de milho reduziu o rendimento de grãos da cultura em 0,21 a 0,49% (Tabela 1). Quanto menos competitiva for a cultura em relação às plantas daninhas, maior é o valor de PP. Esse fato é ilustrado pelos resultados apresentados na Tabela 1 para as culturas de arroz e cebola, em que o valor de PP aumentou de 0,42 para 0,94%. Para as simulações e interpretações na continuidade deste trabalho, foram consideradas situações de plantas daninhas pouco competitivas, em relação às culturas, aquelas cuja PP foi equivalente a 0,1% e muito competitiva quando PP foi equivalente a 0,5%.

Simulações

Considerando níveis de rendimento de grãos equivalentes aos da cultura de soja (3.000 kg ha⁻¹) e assumindo o valor atual do grão em R\$ 0,60 por kg e o custo médio de controle de R\$ 100,00 por hectare, pôde-se prever PADRE de aproximadamente 50 DAE para situação de infestante daninha pouco competitiva (Figura 1), ou de 10 DAE, para situação de infestante muito competitiva (Figura 2).

Em todas as simulações realizadas, constatou-se que o PADRE diminui com o incremento do preço da cultura e/ou com a redução do custo de controle (Figuras 1 a 4). Ou seja, nessas condições, é economicamente justificável a adoção de medidas de controle para evitar a convivência precoce das plantas daninhas no ciclo da cultura.

Tabela 1 – Percentual de perda de rendimento (PP), por dia de interferência das plantas daninhas

Cultura	Planta daninha	a ^{1/}	b	R ²	PP	Período	Fonte
Soja	<i>Euphorbia heterophylla</i>	3229	-5,684	0,31	0,0017	33	Meschede et al. (2002)
Soja	Monocotiledôneas	3220	-7,137	0,42	0,0022	50	Carvalho & Velini (2001)
Soja	<i>Euphorbia heterophylla</i>	3438	-9,086	0,75	0,0026	26	Meschede et al. (2004)
Soja	Mono/dicotiledôneas	2390	-7,364	0,57	0,0030	60	Spadotto et al. (1992)
Soja	<i>Bidens pilosa</i>	2115	-7,191	0,77	0,0034	140	Spadotto et al. (1994)
Milho	Dicotiledôneas	4247	-9,200	0,91	0,0021	100	Ramos & Pitelli (1994)
Milho	Dicotiledôneas	3014	-7,700	0,70	0,0025	100	Ramos & Pitelli (1994)
Milho	Mono/dicotiledôneas	8464	-41,983	0,95	0,0049	19	Zagonel et al. (2000)
Arroz	<i>Cyperus esculentus</i>	5176	-21,854	0,82	0,0042	60	Erasmus et al. (2003)
Cebola	Mono/dicotiledôneas	4783	-45,159	0,89	0,0094	100	Soares et al. (2003)

^{1/} Símbolos obtidos após regressões lineares do tipo $y=a+bx$, em que y representa o rendimento de grãos da cultura; x representa o tempo de interferência; a e b são os parâmetros de ajuste; e R² é o coeficiente de regressão. PP é o resultado da razão b/a e o Período indica a data máxima em que os valores são lineares, sendo utilizados na regressão linear.



Na Figura 1, condições de valor do grão muito reduzido ($< R\$ 0,60$ por kg de grão) originam valores de PADRE que extrapolam o ciclo da cultura ($>> 100$ dias). Assim, na Figura 1 limitou-se o valor de PADRE a 100 DAE, para restringi-la a condições realistas. Essa simulação permite interpretar como economicamente correta a objeção pelos agricultores ao controle de plantas daninhas em pós-emergência quando a cultura de milho possui baixo potencial de rendimento de grãos (3.000 kg ha^{-1}) (Figura 1). No caso da cultura de soja com bom potencial de rendimento de grãos e planta daninha pouco competitiva, verifica-se que as simulações do PADRE correspondem aos valores de PAI já reportados na literatura científica, de cerca de 20 DAE (Tabela 1).

Quando se compara a Figura 1 com a 2, constatam-se reduzidos valores de PADRE na segunda situação. Interpretaram-se esses resultados como indicativo de que, quando as plantas daninhas são muito competitivas, ou quando estas têm sua emergência antecedendo a cultura, ou quando a cultura é pouco vigorosa, incrementam-se as PP diárias, o que justifica a adoção precoce de medidas de controle das infestantes, para evitar perdas econômicas da lavoura. De fato, na Figura 2 constata-se que, em condições de baixo custo de controle de infestantes ($< R\$ 100,00$ por hectare) e/ou elevado valor da cultura ($> R\$ 0,60$ por kg de grão), o valor de PADRE é inferior a 10 DAE. Esta é, provavelmente, a

situação econômica em que se encontravam os agricultores no início da adoção (ilegal) da soja resistente ao glyphosate, em meados da década de 1990 no Brasil. Atualmente, com a cobrança de *royalties*, e futuramente, com a cobrança diferencial pela semente dos cultivares resistentes, seria sábio considerar esses valores como parte do custo do controle de plantas daninhas, a fim de fazer a previsão correta do número de dias máximo que pode ser tolerado de convivência das plantas daninhas, sem que haja perda econômica da lavoura.

Na situação de uma cultura com maior potencial de rendimento de grãos comparada em igualdade de condições a uma cultura de menor potencial de rendimento (Figura 3 vs. Figura 1; e Figura 4 vs. Figura 2), verifica-se que há redução dos valores de PADRE para a cultura de maior potencial produtivo. As implicações desses resultados são de que, quanto maior o nível tecnológico adotado pelo agricultor, maior será o retorno econômico do investimento dedicado ao controle precoce de plantas daninhas e tanto mais precoce deve ser o controle de infestantes quanto mais reduzido for o custo do controle adotado. Novamente deve ser ressaltado que, quanto maior for o potencial produtivo da cultura e melhores forem as condições para o seu desenvolvimento, provavelmente menor será o PP diário causado por uma determinada espécie daninha.

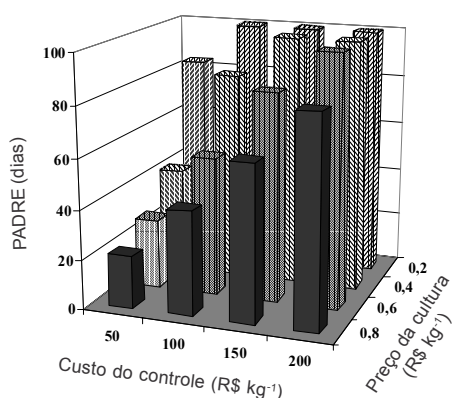


Figura 1 - Estimativa do período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE) causado pela convivência das plantas daninhas após a emergência da cultura, assumindo que as plantas daninhas reduzam 0,1% do rendimento de grãos por dia de convivência e o rendimento da cultura de soja ou milho seja de 3 t ha^{-1} .

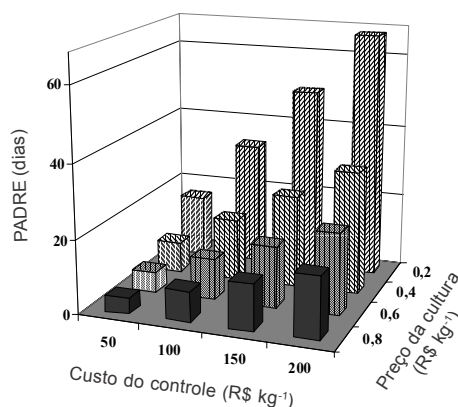


Figura 2 - Estimativa do período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE) causado pela convivência das plantas daninhas após a emergência da cultura, assumindo que as plantas daninhas reduzam 0,5% do rendimento de grãos por dia de convivência e o rendimento da cultura de soja ou milho seja de 3 t ha^{-1} .

Considerando níveis de rendimento de grãos equivalentes aos da cultura de milho ($12.000 \text{ kg ha}^{-1}$) e assumindo o valor do grão em R\$ 0,20 por kg e o custo de controle de R\$ 150,00 por hectare, pôde-se prever PADRE de aproximadamente 60 DAE, para situação de infestante daninha pouco competitiva (Figura 3), ou de 12 DAE, para situação de infestante muito competitiva (Figura 4).

Na Figura 3, diferentemente da Figura 1, todos os valores simulados para o PADRE se concentraram dentro do ciclo da cultura. Em condições pouco competitivas de infestantes e considerando-se os custos de controle em pós-emergência atualmente disponíveis e o valor do grão da cultura, a simulação realizada indica pouca justificativa econômica para adoção de medidas de controle (Figura 3). No entanto, considerando-se infestações de plantas daninhas muito competitivas (Figura 4) mesmo em condições de custo de controle elevado ($> \text{R\$ } 150,00$ por hectare), o PADRE (12 a 16 DAE) é de tal magnitude que justifica medidas de controle em pós-emergência.

Outra interpretação que se pode fazer da Figura 4 é de que, em condições de infestantes muito competitivas, de elevado valor da cultura ($> \text{R\$ } 0,40$ por kg) e de reduzido custo do controle ($< \text{R\$ } 150,00$ por hectare), seria economicamente compensadora a adoção do controle em pré-emergência das plantas

daninhas para se evitar a interferência destas no início do ciclo da cultura. Nessas condições, o PADRE é reduzido ($< 8 \text{ DAE}$) e fatores que atrapalhassem a adoção de medidas de controle em pós-emergência precoce (chuva, por exemplo) comprometeriam financeiramente o rendimento da lavoura.

Vale ressaltar que, nas condições em que o PADRE possui valor reduzido (menor do que o verificado na literatura para o PAI), o valor do período total de prevenção da interferência (PTPI) é analogamente muito superior ao descrito na literatura. Isso significa que a duração do efeito residual dos herbicidas deveria ser longa para evitar perdas econômicas da lavoura. Fica difícil efetuar as simulações de período total de prevenção à perda econômica pela ausência do parâmetro PP na literatura. O PP apropriado para esta simulação teria de ser obtido após a reinfestação da área tratada com herbicidas residuais. Provavelmente, o herbicida residual reduziria a competitividade das infestantes por efeito direto na sua fisiologia (Vidal et al., 2004) e por efeito indireto pela dianteira competitiva que daria à cultura (Rizzardi et al., 2003).

Uma das vantagens de modelos matemáticos é a possibilidade de agrupar o conhecimento científico num referencial teórico sólido, de forma que facilite sua utilização. De fato, o PADRE, como proposto nas simulações,

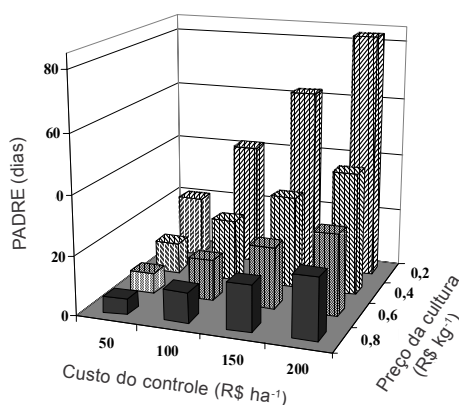


Figura 3 - Estimativa do período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE) causado pela convivência das plantas daninhas após a emergência da cultura, assumindo que as plantas daninhas reduzam 0,1% do rendimento de grãos por dia de convivência e o rendimento da cultura de milho seja de 12 t ha^{-1} .

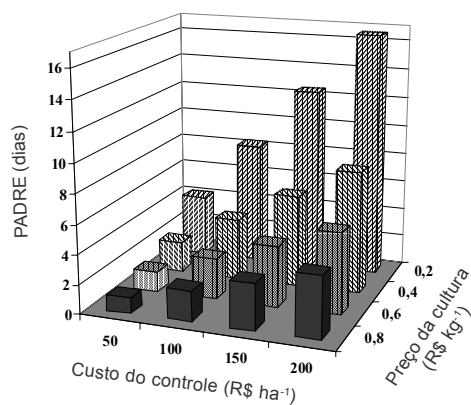


Figura 4 - Estimativa do período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE) causado pela convivência das plantas daninhas após a emergência da cultura, assumindo que as plantas daninhas reduzam 0,5% do rendimento de grãos por dia de convivência e o rendimento da cultura de milho seja de 12 t ha^{-1} .



permite integrar os resultados científicos até então existentes e associar às mesmas informações de preços e custos, permitindo que o produto tecnológico seja analisado e utilizado em relação ao contexto econômico de cada agricultor.

Para que o resultado das simulações tenha aplicações práticas, também, devem ser agregadas informações socioculturais dos usuários. Por exemplo, a atitude de produtores de soja resistente ao glyphosate de esperar o máximo de emergência de infestantes (25 a 40 DAE) para, então, efetuar o controle não se baseia em decisão econômica, mas, provavelmente, é oriunda de aspectos socioculturais, ou de falta de assistência técnica ou de parque de máquinas reduzido. Esses mesmos fatores possivelmente devem estar envolvidos na decisão incorreta de semear essa cultura em área totalmente infestada por plantas daninhas e só posteriormente (5 a 15 DAE) realizar o controle com glyphosate. Até a safra 2002-2003 o custo de controle de infestantes daninhas com glyphosate em soja resistente ao produto não ultrapassava R\$ 13,00. Naquele período o preço da oleaginosa estava situado entre os valores máximos simulados neste trabalho. Assim, as simulações realizadas com a equação 3 indicam que o PADRE reduzido (< 10 DAE) justificaria economicamente a aspersão do herbicida precocemente na cultura.

Outra situação que justifica a utilização do PADRE é aquela em que se emprega alta tecnologia – como irrigação, micro e macronutrientes, escolha de cultura em situação/época economicamente favorável, etc. Os altos rendimentos esperados dependerão de controle fitossanitário apropriado e realizado no momento adequado, sob pena de perda econômica da lavoura (Oerke & Dehne, 2004).

Neste trabalho não se planejou descreditar os benefícios trazidos à agricultura com as primeiras definições dos períodos de interferência entre plantas daninhas e cultivadas. No período em que foram utilizadas, o custo do controle era elevado e o rendimento das culturas era reduzido, quando comparado às situações atuais, de forma que a simples interpretação estatística das perdas “aceitáveis” no rendimento de grãos não diferia das

obtidas considerando-se o lucro do agricultor. O avanço proposto neste trabalho é a elaboração de um modelo que permita calcular o PADRE nas condições de cada agricultor e ilustra a carência de resultados de pesquisa que ainda existem com relação ao assunto. Por exemplo, PP existe sempre? Para uma espécie daninha, o PP independe do teto de produtividade da cultura? De fato, um dos benefícios dos modelos matemáticos é o de identificar a ausência de informações científicas, indicando possíveis necessidades de pesquisa para completar ou avançar o modelo. Assim, para melhorar as aplicações do PADRE há necessidade de mais resultados que determinem o impacto da interferência das plantas daninhas nos períodos iniciais da emergência da cultura (até os 30 dias após a emergência) (Zagonel et al., 2000; Meschede et al., 2002, 2004).

Outras limitações encontradas na maioria dos trabalhos científicos foram a dificuldade de evidenciar diferenças significativas para valores numéricos reduzidos e o ajuste de equações matemáticas extremamente complexas, mas destituídas de interpretação teórico-prática. Soluções encontradas pelos pesquisadores incluem aumento do número de tratamentos no período de interesse do estudo (Zagonel et al., 2000; Meschede et al., 2002, 2004), utilização de testemunhas duplas (Meschede et al., 2004) e ajuste de equações lineares pelo modelo “broken-stick” (Spadotto et al., 1994) ou dos polinômios segmentados (Vidal et al., 2004).

Mecanismos de interferência que explicam o PADRE começaram a ser desvendados recentemente. Plantas cultivadas possuem capacidade precoce de detectar a presença de plantas vizinhas. Essa detecção precoce de plantas ocorre pela modificação do espectro luminoso na região da luz vermelha (V) e vermelho-distante (VD) (Schmitt & Wulff, 1993; Almeida & Mundstock, 2001; Rajcan & Swanton, 2001; Merotto Jr. et al., 2002). Fitocromos são pigmentos presentes nos vegetais com a capacidade de detectar luz nas frequências mencionadas. Na presença de plantas vizinhas, há incremento de luz VD em relação ao V, detectável pelos fitocromos, que desencadeia no vegetal um processo denominado na fisiologia vegetal por estratégia de

prevenção ao sombreamento. Esta estratégia consiste na alocação de fotossintatos para desenvolvimento da parte aérea, com alongamento e incremento do peso do caule, afinamento e redução do tamanho de cada folha, enfim, a maior alocação de biomassa para caule e reduzida alocação para raízes (Almeida & Mundstock, 2001; Rajcan & Swanton, 2001; Merotto Jr. et al., 2002). O mecanismo de competição entre plantas daninhas e cultivadas proposto por Rajcan & Swanton (2001) consiste na capacidade de as plantas cultivadas detectarem precocemente alterações no espectro luminoso (aumento de VD em relação a V) muito antes de ocorrer sombreamento entre as plantas e redução da quantidade de luz para fotossíntese. Como consequência, fotossintatos são alocados para o crescimento da parte aérea em detrimento das raízes, o que limita, posteriormente, a capacidade da planta cultivada na absorção de água e nutrientes (ver revisão de Rajcan & Swanton, 2001) e subsequente redução no rendimento de grãos.

É provável que mais de um mecanismo de interferência esteja envolvido em cada etapa do desenvolvimento da planta cultivada. Por exemplo, adaptando-se a técnica dos polinômios segmentados aos resultados apresentados por Zagonel et al. (2000), constata-se que a interferência das plantas daninhas até os 19 DAE impôs PP diária de 0,49%. Após esta data e até os 31 DAE a interferência das infestantes daninhas ocasionou PP diária de 1,8%. Especula-se que entre 0 e 19 DAE esteja envolvido o mecanismo de alocação de fotossintatos devido à qualidade da luz, descrito por Rajcan & Swanton (2001), e entre 19 e 31 DAE, além deste mecanismo, possivelmente estejam envolvidos aspectos relacionados à competição por recursos limitados no meio.

Este trabalho permite afirmar que os aspectos econômicos – como custo do controle das plantas daninhas e preço dos grãos da cultura – podem ser utilizados como indicadores dos períodos de interferência das plantas daninhas. Obtiveram-se resultados na literatura que permitiram definir e simular o período anterior ao dano no rendimento econômico (PADRE). O PADRE diminui com o incremento do preço da cultura e/ou com a redução do custo de controle e com aumento do potencial

produtivo da cultura, indicando que, nessas condições, o controle precoce das infestantes é economicamente justificável.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio à realização do trabalho. Ao prof. Jamil Constantin, pelos debates iniciais que motivaram a elaboração deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- AENDA. Valores pagos pelos agricultores 1980-2000 no estado do Paraná. In: ASSOCIAÇÃO DE EMPRESAS NACIONAIS DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS. Disponível em: <<http://www.aenda.org.br/Parana2002.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2005.
- ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M. O afilhamento da aveia afetado pela qualidade da luz em plantas sob competição. **Ci. Rural**, v. 31, p. 393-400, 2001.
- BEDMAR, F.; MANETTI, B.; MONTERUBBIANESI, G. Determination of the critical period of weed control using a thermal basis. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 34, p. 183-187, 1999.
- BLANCO, H. G. et al. Observações sobre o período em que as plantas daninhas competem com a soja. **Biológico**, v. 39, p. 31-35, 1973.
- BLANCO, H. G.; ARAÚJO, J. B. M.; OLIVEIRA, D. A. Estudo sobre a competição de plantas daninhas na cultura do milho. IV- Determinação do período de competição. **Arq. Inst. Biol.**, v. 43, p. 105-114, 1976.
- BLANCO, H. G.; OLIVEIRA, D. A.; ARAUJO, J. B. M. Período crítico de competição de uma comunidade natural de mato em soja. **Biológico**, v. 44, p. 299-305, 1978.
- CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da soja. I - Cultivar IAC-11. **Planta Daninha**, v. 19, p. 317-322, 2001.
- DURIGAN, J. C. et al. Períodos de matocompetição na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivares Santa Rosa e Iac-2. I- Efeitos sobre os parâmetros de produção. **Planta Daninha**, v. 6, p. 86-100, 1983.
- ERASMO, E. A. L. et al. Efeito da densidade e de períodos de convivência de *Cyperus esculentus* na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, v. 21, p. 381-386, 2003.
- Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 23, n. 3, p. 387-396, 2005



- HALL, M. R.; SWANTON, C. J.; ANDERSON, G. W. The critical period of weed control in grain corn. **Weed Sci.**, n. 40, p. 441-447, 1992.
- KOZLOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, v. 20, p. 365-372, 2002.
- LAMEGO, F. P. et al. Resistência de *Brachiaria plantaginea* aos herbicidas inibidores de ACCase. **R. Bras. Herb.**, v. 3, p. 162-168, 2002.
- McLAREN, J. S. The importance of genomics to the future of crop production. **Pest Manag. Sci.**, n. 56, p. 573-579, 2000.
- MELO, H. B. et al. Interferência das plantas daninhas na cultura da soja cultivada em dois espaçamentos entre linhas. **Planta Daninha**, v. 19, p. 187-191, 2001.
- MEROTTO JR., A. et al. Diminuição da competição de *Brachiaria plantaginea* em milho através de capinas e herbicidas empregados em diferentes épocas. **Planta Daninha**, v. 18, p. 471-477, 2000.
- MEROTTO JR., A. et al. Interferência das plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de soja e arroz através da qualidade da luz. **Planta Daninha**, v. 20, p. 9-16, 2002.
- MESCHEDE, D. K. et al. Período crítico de interferência de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja sob baixa densidade de semeadura. **Planta Daninha**, v. 20, p. 381-387, 2002.
- MESCHEDE, D. K. et al. Período anterior à interferência de plantas daninhas em soja: estudo de caso com baixo estande e testemunhas duplas. **Planta Daninha**, v. 22, p. 239-246, 2004.
- NIETO, J. H.; BRONDO, M. A.; GONZALEZ, J. T. Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds. **PANS**, n. 14, p. 159-166, 1968.
- OERKE, E. C.; DEHNE, H. W. Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection. **Crop Protec.**, n. 23, p. 275-285, 2004.
- PITELLI, R. A.; DURIGAN, J. C. Terminologia para períodos de controle e convivência das plantas daninhas em culturas anuais e bianuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 15., 1984, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SBCPD, 1984. p. 37.
- PURÍSSIMO, C. et al. Determinação dos períodos de interferência das plantas daninhas pela análise dos teores foliares de nitrogênio e do rendimento de grãos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado. **Resumos...** Pelotas: EMBRAPA, 2002. p. 82.
- RAMOS, L. R. M.; PITELLI, R. A. Efeitos de diferentes períodos de controle da comunidade infestante sobre a produtividade da cultura do milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 29, p. 1523-1531, 1994.
- RAJCAN, I. R.; SWANTON, C. J. Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. **Field Crop Res.**, n. 71, p. 139-150, 2001.
- RIZZARDI, M. A.; FLECK, N. G.; AGOSTINETO, D. Nível de dano econômico como critério para controle de picão-preto em soja. **Planta Daninha**, v. 21, p. 273-282, 2003.
- SCHMITT, J.; WULFF, R. D. Light spectral quality, phytochrome and plant competition. **Tree**, v. 8, p. 47-51, 1993.
- SKÓRA NETO, F. Uso de caracteres fenológicos do milho como indicadores do início da interferência causada por plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, p. 81-87, 2003.
- SOARES, D. J. et al. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura de cebola (*Allium cepa*) transplantada. **Planta Daninha**, v. 21, p. 387-396, 2003.
- SPADOTTO, C. A. et al. Avaliação de parâmetros para o monitoramento da interferência de plantas daninhas na cultura de soja (*Glycine max* L. Merrill). **Planta Daninha**, v. 10, p. 33-38, 1992.
- SPADOTTO, C. D. et al. Determinação do período crítico para prevenção da interferência de plantas daninhas na cultura de soja: uso do modelo “Broken-stick”. **Planta Daninha**, v. 12, p. 59-62, 1994.
- VAN ACKER, R. C.; SWANTON, C. J.; WEISE, S. F. The critical period of weed control in soybean. **Weed Sci.**, n. 41, p. 194-200, 1993.
- VIDAL, R. A. et al. Nível de dano econômico de *Brachiaria plantaginea* na cultura de milho irrigado. **Planta Daninha**, v. 22, p. 63-69, 2004.
- ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P. Efeitos de métodos e épocas de controle das plantas daninhas na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 18, p. 143-150, 2000.