

Otimização da concentração de misturas de herbicidas considerando a resistência de plantas daninhas *

¹Elenice Weber Stiegelmeier , ²Ulcilea Alves Severino Leal,
²Departamento de Matemática, IBILCE, UNESP,
15054-000, São José do Rio Preto, SP
E-mail: elenicew@sc.usp.br, ulcilea0803@hotmail.com,

¹Vilma Alves Oliveira, ²Geraldo Nunes Silva, ³Décio Karam
¹USP - Departamento de Engenharia Elétrica ³Embrapa Milho e Sorgo
13566-590, São Carlos, SP 35701-970, Sete Lagoas, MG
E-mail: vilma@sc.usp.br, gsilva@ibilce.unesp.br, karam@cnpmc.embrapa.br

Palavras-chave: *Otimização, controle e resistência de plantas daninhas.*

Resumo: *Este trabalho propõe um modelo de otimização dinâmico para a determinação da concentração de misturas de herbicida. A densidade de sementes no início do plantio e a frequência dos alelos são tomadas como variáveis de estado e a função de dose-resposta como variável de controle. O modelo de otimização considera a aplicação de uma mistura de herbicidas visando retardar a resistência da planta daninha. O objetivo é determinar o percentual de cada concentração de herbicidas a ser aplicado, para obter uma maior eficácia no controle de plantas daninhas e maximizar o lucro num período pré-determinado. O problema de otimização dinâmico foi resolvido por programação não-linear utilizando o método ASA-CG. Resultados de simulações numéricas descrevem uma estratégia ótima para a aplicação de concentração dos herbicidas nicosulfuron e atrazine para controlar a infestação causada pela planta daninha *Bidens subalternans* para um período de 5 anos.*

1 Introdução

A aplicação de herbicida para o controle de plantas daninhas gera custos significativos ao produtor e impactos ambientais. Modelos de otimização para o controle da aveia selvagem numa colheita de grãos são apresentados em [7] e [6].

A resistência de plantas daninhas aos herbicidas ocorre em função de um processo evolutivo e o desenvolvimento de biótipos de plantas daninhas resistentes é imposto através da pressão de seleção causada pelo uso intensivo dos herbicidas. As funções de frequência genética dos alelos dominantes e recessivos em face da pressão seletiva imposta pelo herbicida seguem os princípios da genética populacional descrita segundo [1]. Quanto maior a frequência inicial do alelo do biótipo resistente, maior a probabilidade de ocorrer a seleção natural de indivíduos resistentes na população, em curto período de tempo. O conhecimento dos mecanismos e fatores que favorecem o aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes é fundamental para que técnicas de manejo e controle sejam utilizadas no sentido de evitar ou retardar o seu aparecimento [3].

O objetivo deste trabalho é propor um modelo de otimização dinâmico, considerando a concentração de mistura de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, para retardar o aumento da resistência, reduzir o uso de herbicidas e maximizar o lucro num período pré-determinado de tempo.

*Este trabalho é financiado pelo CNPq e pela FAPESP 2009/18643-0.

2 O problema de otimização

O controle de plantas daninhas é tratado como um problema de manejo com retardo da resistência. O modelo dinâmico para a densidade de sementes e a frequência dos alelos é descrito segundo [8]:

$$g_i(x_t, p_t^i, u_t^i) = (1 - \Psi)(1 - \delta)x_t + \kappa \exp \frac{\gamma \ln \left(\left(1 - \left(c + \frac{d-c}{1 + \exp[b(\ln(u_t^i) - \ln(GR_{50t}(R_t^i))]} \right) \right)^{x^g \delta x_t} \right)}{\mu + \epsilon \ln \left(\left(1 - \left(c + \frac{d-c}{1 + \exp[b(\ln(u_t^i) - \ln(GR_{50t}(R_t^i))]} \right) \right)^{x^g \delta x_t} \right)} - \eta + \xi \quad (1)$$

$$v_i(x_t, p_t^i, u_t^i) = p_t^i + s(u_t^i)p_t^i q_t^i \frac{q_t^i}{1 + s(u_t^i)((p_t^i)^2 + 2p_t^i q_t^i)} \frac{x_t^n}{x_t}, \quad (2)$$

onde $\{i = 1, \dots, l\}$ é o tipo de herbicida aplicado, g_i é a taxa de mudança no banco de sementes, v_i é a taxa de mudança na frequência dos alelos decorrente da pressão de seleção exercida pelo herbicida, com variáveis e parâmetros definidos em [8].

O campo vetorial, que representa a velocidade de evolução da dinâmica, é escolhido a partir de um conjunto $\{(g_i, v_i); i = 1, \dots, l\}$ em que cada elemento representa o campo de evolução conjunta da densidade de sementes e da frequência de alelos quando utilizado um único tipo de herbicida.

Segundo [8] e [7] considera-se a seguinte função de produção:

$$Y_i(x_t, p_t^i, u_t^i) = Y_0 \left(1 - \left(\frac{a(x_t(1 - \rho_i(u_t^i, R_t^i)))}{1 + \frac{a}{m}(x_t(1 - \rho_i(u_t^i, R_t^i)))} \right) \right) (1 - Y_p) \quad (3)$$

com

$$\rho_i(u_t^i, R_t^i) = c + \frac{d-c}{1 + \exp[b(\ln(u_t^i) - \ln(GR_{50i}(R_t^i)))]} \quad (4)$$

$$GR_{50i}(R_t^i) = ((p_t^i)^2 + 2p_t^i(1 - p_t^i))GR_{50R}^i + (1 - ((p_t^i)^2 + 2p_t^i(1 - p_t^i)))GR_{50S}^i. \quad (5)$$

Neste artigo, o problema de otimização considerando a concentração de mistura de herbicidas é modelado como um problema de programação não-linear usando como variáveis a população de plantas daninhas, x_t , a frequência dos alelos, p_t^i , a dosagem de cada herbicida, u_t^i , e o percentual da dosagem referente a cada herbicida utilizado, λ_t^i :

$$\max_{u_t^i, \lambda_t^i} J = \sum_{i=1}^l \sum_{t=0}^T \lambda_t^i \alpha^t (P_y Y_i(x_t, p_t^i, u_t^i) - P_u^i u_t^i - C^i(t)) - p^i(T) \quad (6)$$

sobre o processo $(x_t, p_t^i, u_t^i, \lambda_t^i)$ satisfazendo

$$x_{t+1} = \sum_{i=1}^l \lambda_t^i g_i(x_t, p_t^i, u_t^i) \quad (7)$$

$$p_{t+1}^i = v_i(x_t, p_t^i, u_t^i) \quad (8)$$

$$x(0) = x_0 \quad (9)$$

$$p^i(0) = p_0^i \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^l \lambda_t^i \frac{10^{-6}}{A^i} \leq \sum_{i=1}^l u_t^i \leq \sum_{i=1}^l \min \left\{ u_{max}^i, \frac{0,5}{A^i} \right\} \lambda_t^i \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^l \lambda_t^i = 1, \quad \lambda_t^i \in [0, 1] \quad i = 1, \dots, l; \quad t = 0, \dots, T \quad (12)$$

com parâmetros definidos em [8]. A restrição (12) permite que se utilize a concentração de mistura de herbicidas numa mesma aplicação.

Dado que o problema (6)-(12) possui restrições sobre a variável de controle u_t na forma de limitantes inferiores e superiores, um método de programação não-linear para variáveis restritas deve ser adotado. Assim, foi utilizado o método ASA_CG proposto por [5], disponível em [4]. Este método consiste da combinação do gradiente conjugado e gradiente projetado e possui garantia de convergência global.

3 Resultados e discussões

Nesta seção é apresentado um estudo de caso da planta daninha *Bidens subalternans*, presente na cultura do milho, com aplicação de controle através dos herbicidas nicosulfuron e atrazine, aplicados isoladamente e em concentração de mistura. Os valores dos parâmetros econômicos utilizados para a cultura do milho safra 2009/2010 [2] e do modelo de dose-resposta encontram-se na Tabela 1. Os experimentos para determinar os parâmetros das funções de dose-resposta foram conduzidos em casa de vegetação na Embrapa Milho e Sorgo de Sete Lagoas-MG, as sementes resistentes foram disponibilizadas pelo Dr. Dionisio Gazziero da Embrapa Soja de Londrina-PR.

Foi avaliado o desenvolvimento do banco de sementes, da dinâmica da resistência e do percentual da taxa ótima de concentração de mistura de herbicidas para o período de 5 anos, com condição inicial do banco de sementes de 500 sementes m^{-2} e frequência dos alelos 0,1. Os resultados foram obtidos utilizando o método ASA_CG, e a implementação computacional foi feita em linguagem de programação C.

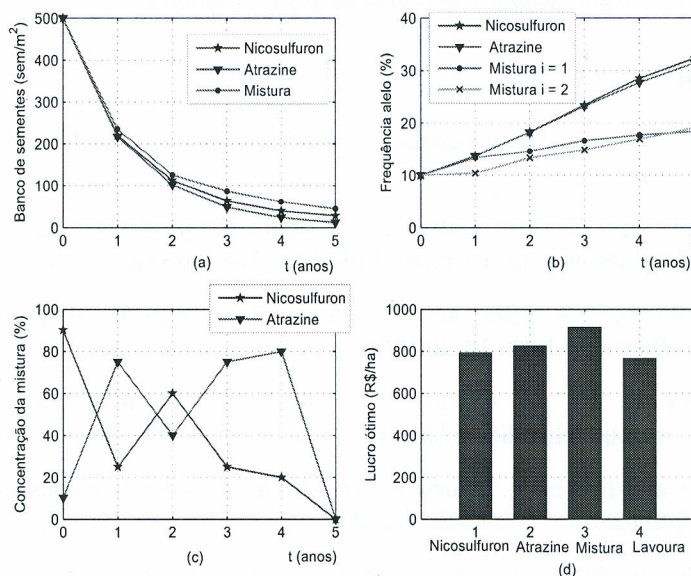


Figura 1: (a) Banco de sementes ótimo x^* (b) Frequência ótima p^* (c) Concentração de mistura ótima λ^* (d) Lucro ótimo no último ano .

Na Figura 1(a) o banco de sementes sofre um decréscimo significativo com o passar do tempo nos três casos avaliados. Na Figura 1(b) observa-se um decréscimo significativo da frequência dos alelos do biótipo resistente em relação a concentração de mistura de herbicidas. Na Figura 1(c) tem-se a taxa ótima da concentração de mistura de herbicidas para um horizonte de 5 anos. A Figura 1(d) mostra o lucro ótimo obtido no último ano para cada um dos casos avaliados e o lucro de produção de uma lavoura de milho sagra 2009/2010 [2].

Tabela 1: Valores dos parâmetros usados na simulação numérica

Dose-resposta	Nicosulfuron	Atrazine
b	-0,599	-1,6621
c	$-0,917 \cdot 10^{-3}$	$-0,225 \cdot 10^{-2}$
d	112,73	89,756
GR_{50S} (litro ha^{-1})	$0,125 \cdot 10^{-1}$	0,351
GR_{50R} (litro ha^{-1})	2,173	0,887
Econômicos		
P_y (R\$ tonelada $^{-1}$)	283,33	283,33
P_u (R\$ litro $^{-1}$)	49,90	6,90
Y_0 (tonelada ha^{-1})	8,64	8,64
C (R\$ ha^{-1})	436,26	436,26
u_{max} (litro ha^{-1})	7,00	7,00

4 Conclusão

A partir do momento que se leva em consideração como estratégia de controle a concentração de mistura de herbicidas, obtém-se um retorno financeiro significativo e possibilita retardar a dinâmica da resistência da planta daninha comparada a aplicação isolada de cada um dos herbicida. Portanto, o uso da concentração da mistura de herbicida mostra-se mais eficiente quando levado em consideração a resistência da planta daninha.

Referências

- [1] N. F. Britton. *Essential Mathematical Biology*. Springer Undergraduate Mathematics Series, London, UK, 2003.
- [2] D. L. Broch and R. S. Pedroso. Custo de produção da cultura do milho. <http://www.fundacaoms.org.br/request.php118>, Acessado em dezembro 2009.
- [3] P. J. Christoffoleti, V. R. Filho, and C. B. Silva. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *Planta Daninha*, 12(1):13-20, 1994.
- [4] W. Hager. Source code for ASA-CG version 1.3. <http://www.math.ufl.edu/~hager/papers/Software>, Acessado em novembro 2009.
- [5] W. W. Hager and H. Zhang. A new active set algorithm for box constrained optimization. *Journal of Optimization*, 17(2):526-557, 2006.
- [6] R. Jones. Sustainability and integrated weed management in australian winter cropping systems: A bioeconomic analysis. In *49th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economic Society*, pages 1-15, 2005.
- [7] R. Jones and O. J. Cacho. A dynamic optimisation model of weed control. In *44th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics*, pages 1-17, 2000.
- [8] E. W. Stiegelmeier, P. A. Munari, H. S. Kajino, V. A. Oliveira, and G. N. Silva. Modelo de otimização da aplicação de herbicida para o controle de plantas daninhas considerando a evolução da resistência. In *XVIII Congresso Brasileiro de Automática, SBA*, pages 886-893, 2010.