

Modelo Matemático para controle integrado da praga atuante na cultura do milho *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (Smith, 1797) via Programação Linear Fuzzy

Patrícia N. Santos¹ Magda S. Peixoto²
DFQM, CCTS, UFSCar, Sorocaba, SP

O Brasil é um dos grandes exportadores de produtos agrícolas, enfoque para o milho, uma de suas principais culturas, liderando a exportação mundial em 2019, superando quantidades exportadas anteriormente [1]. Nesta perspectiva, aumenta-se a necessidade de gestão de riscos que minimize custos e maximize a produtividade e uma das grandes problemáticas está associada a incidência de pragas nas plantações, tendo em vista que os custos relacionados ao controle são altos. Portanto, este trabalho propõe um modelo de controle integrado via Programação Linear Fuzzy para lagarta *Spodoptera frugiperda*, uma das principais pragas do milho consolidada nacionalmente que pode gerar prejuízo de até 34% na produção.

A Programação Linear (PL) é um caso particular dentro da programação matemática que busca resolver problemas de forma quantitativa e auxiliar na tomada das melhores decisões, está relacionada à modelagem matemática de problemas de decisão, determinando os objetivos e as restrições sob as quais se deve operar. Neste contexto as variáveis de decisão são contínuas e apresentam comportamento linear, tanto em relação à função-objetivo quanto às restrições. No entanto, em diversas situações práticas, as restrições ou mesmo a função objetivo em problemas de PL não apresentam termos precisos e nítidos, desta forma podendo ser modelados por um número fuzzy. A Teoria dos Conjuntos Fuzzy tem como objetivo modelar o modo aproximado de raciocínio, tentando imitar a habilidade humana de tomar decisões, considerando incertezas e imprecisões inerentes aos dados ou ao processo [2–4].

A forma em que apenas as restrições são números fuzzy do Problema de Programação Linear Fuzzy (PPLF) [6] é dada por:

$$\text{Max ou Min} \quad f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

Sujeito a :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq B_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$X_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Em que a função f em (1) é chamada de *função objetivo* e deverá ser minimizada ou maximizada, o sistema de equações em (2) representa as *restrições do problema* e em (3) tem-se as *condições de não negatividade* das variáveis. E B_i é um número fuzzy,

¹patricianascimento@estudante.ufscar.br

²magda@ufscar.br

$$B_i = \begin{cases} 1 & , se x \leq b_i \\ \frac{b_i+p_i-x}{p_i} & , se b_i < x < b_i + p_i \\ 0 & , caso contrário \end{cases} \quad (4)$$

na qual $x \in \mathbb{R}$. Em geral, os problemas de programação linear fuzzy são, primeiramente, convertidos em problemas lineares ou não lineares equivalentes.

O método de controle integrado deste modelo viabiliza o controle químico com uso de inseticidas seletivos e controle biológico inserindo população do inimigo natural no ambiente. Buscou-se minimizar a quantidade de inseticida aplicada na lavoura para controle da lagarta *S. frugiperda* considerando a interação presa-predador com seu inimigo natural, a tesourinha *Euborellia annulipes* (Dermaptera: Anisolabididae) (Lucas, 1847). Os níveis de controle são tidos como baixos quando via monitoramento são identificadas, em média, 5 lagartas/planta em estágios fenológicos iniciais de plantas de milho [5]. A tesourinha *E. annulipes* destaca-se pela sua grande capacidade predatória podendo consumir, diariamente, em torno de 374 ovos de *S. frugiperda* para indivíduos no 5^o instar (estágio de desenvolvimento)[7]. O problema de PPL Fuzzy caracteriza a quantidade de inseticidas pela função objetivo, sob as restrições número de pragas e predadores modelados como números fuzzy.

Agradecimentos

As autoras agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), projetos número 2021/06204-3 e 2020/01658-3, pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Indicadores gerais AGROSTAT**. Online. Acessado em 20/01/2022, <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index>.
- [2] Marcos Arenales, Vinicius Armentano et al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2006. ISBN: 9788535251937.
- [3] Laécio Carvalho de Barros e Rodney Carlos Bassanezi. **Tópicos de lógica fuzzy e bio-matemática**. Campinas: Grupo de Biomatemática, Instituto de Matemática, Estatística e Computação . . . , 2010. ISBN: 8587185055.
- [4] Marco Goldbarg, Henrique Pacca Luna e Elizabeth Goldbarg. **Programação linear e fluxos em redes**. Elsevier Brasil, 2016.
- [5] Leticia Hellwig. “Reavaliação do nível de dano de Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho convencional em casa de vegetação e avaliação do refúgio no saco para milho transgênico em terras baixas”. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pelotas, 2015.
- [6] George J Klir e Bo Yuan. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. ISBN: 0131011715.
- [7] Aldeni Barbosa da Silva, Jacinto de Luna Batista e Carlos Henrique de Brito. “Capacidade predatória de Euborellia annulipes (Lucas, 1847) sobre Spodoptera frugiperda (Smith, 1797)”. Em: **Acta Scientiarum. Agronomy** 31.1 (2009), pp. 7–11. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i1.6602.