



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04  
de dezembro 2020

## Metodologia para seleção de defensivos agrícolas

**Luís Fernando Paulista Cotian**

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

**João Carlos Colmenero**

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

**Aldo Braghini Junior**

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

**Resumo:** Com o aumento da população e, para produzir alimentos para todo o mundo, há a necessidade do uso dos defensivos agrícolas, mas há uma dificuldade entre os agricultores de selecionar qual defensivo agrícola é o recomendado para sua cultura, muitas vezes a produção é menor por uso errôneo deste agroquímico, para isso, o presente artigo tem por objetivo auxiliar os agricultores a escolherem de forma mais assertiva o defensivo com auxílio de dois métodos multicritérios, sendo o primeiro para a ponderação, intitulado como Entropia, afim de não haver tendência em algum dos critérios. Já o segundo método é para classificar as alternativas, será usado o TOPSIS, no fim será mostrada uma tabela com a classificação de cada alternativa. Neste artigo será utilizada como exemplo a cultura cana-de-açúcar, por ser um das principais culturas reconhecidas mundialmente, embora este estudo possa ser replicado em qualquer outro cultivo.

**Palavras-chave:** Defensivos Agrícolas, Método Multicritério, TOPSIS, Entropia.

## Methodology for selection of pesticides

**Abstract:** With the increase in population and, in order to produce food for the whole world, there is a need for the use of crop protection products, but there is a difficulty among farmers to select which crop protection product is recommended for their crop, production is often lower due erroneous use of this agrochemical, for this purpose, the present article aims to help farmers to choose in a more assertive way the pesticide with the aid of two multicriteria methods, the first for weighting, entitled as Entropy, in order to have no tendency in some criteria. The second method is to classify the alternatives, TOPSIS will be used, at the end a table will be shown with the classification of each alternative. In this article, the sugarcane crop will be used as an example, as it is one of the main cultures recognized worldwide, although this study can be replicated in any other crop.

**Keywords:** Pesticides, Multicriteria method, TOPSIS, Entropy.

### 1. Introdução

Até 2050, a população mundial chegará a 9,1 bilhões, 34% a mais do que hoje. Quase todo esse aumento populacional ocorrerá nos países em desenvolvimento. A urbanização continuará em ritmo acelerado e cerca de 70% da população mundial será urbana (em comparação com 49% hoje). Os níveis de renda serão muitos múltiplos do que são agora. Para alimentar essa população maior, mais urbana e mais rica, a produção de alimentos

(líquida de alimentos usados para biocombustíveis) deve aumentar em 70%. A produção anual de cereais precisará subir para cerca de 3 bilhões de toneladas, dos 2,1 bilhões hoje em dia, e a produção anual de carne precisará aumentar mais de 200 milhões de toneladas para atingir 470 milhões de toneladas (FAO, 2009).

Prevê-se que a população global de 7 bilhões de pessoas cresça 70 milhões por ano, aumentando em 30% para 9,2 bilhões em 2050. Esse aumento da densidade populacional deve aumentar a demanda por produção de alimentos em 70%, principalmente devido a mudanças nos hábitos alimentares dos países em desenvolvimento alimentos de alta qualidade, por exemplo, maior consumo de carne e produtos lácteos e maior uso de grãos na alimentação animal. A disponibilidade de terras agrícolas adicionais é limitada. Qualquer expansão vai acontecer principalmente às custas de florestas e habitats naturais contendo vida selvagem, parentes silvestres de cultivos e inimigos naturais de pragas de colheita. Além disso, mais terras agrícolas serão usadas para produzir produtos de base biológica, como biocombustível ou fibra, em vez de alimentos. Portanto, precisamos cultivar alimentos em menos terra, com menos água, usando menos energia, fertilizantes e defensivos agrícolas do que usamos hoje. Dadas essas limitações, é urgentemente necessária uma produção sustentável em níveis elevados. A redução das atuais perdas de rendimento causadas por pragas é um grande desafio para a produção agrícola (POPP; PETŐ; NAGY, 2013).

Para tornar a agricultura mais produtiva e lucrativa diante dos custos crescentes e dos padrões crescentes de saúde humana e ambiental, é necessário usar a melhor combinação de tecnologias disponíveis. Muitos dos aumentos no rendimento por unidade de área podem ser atribuídos a um controle mais eficiente do estresse (biótico), em vez de um aumento no potencial de rendimento. A redução das perdas atuais de produção causadas por pragas, patógenos e ervas daninhas são grandes desafios à produção agrícola (OERKE; DEHNE, 2004). A intensidade da proteção das culturas aumentou consideravelmente como exemplificado por um aumento de 15 a 20 vezes na quantidade de pesticidas usados em todo o mundo (OERKE, 2006).

## **2. Defensivos Agrícolas**

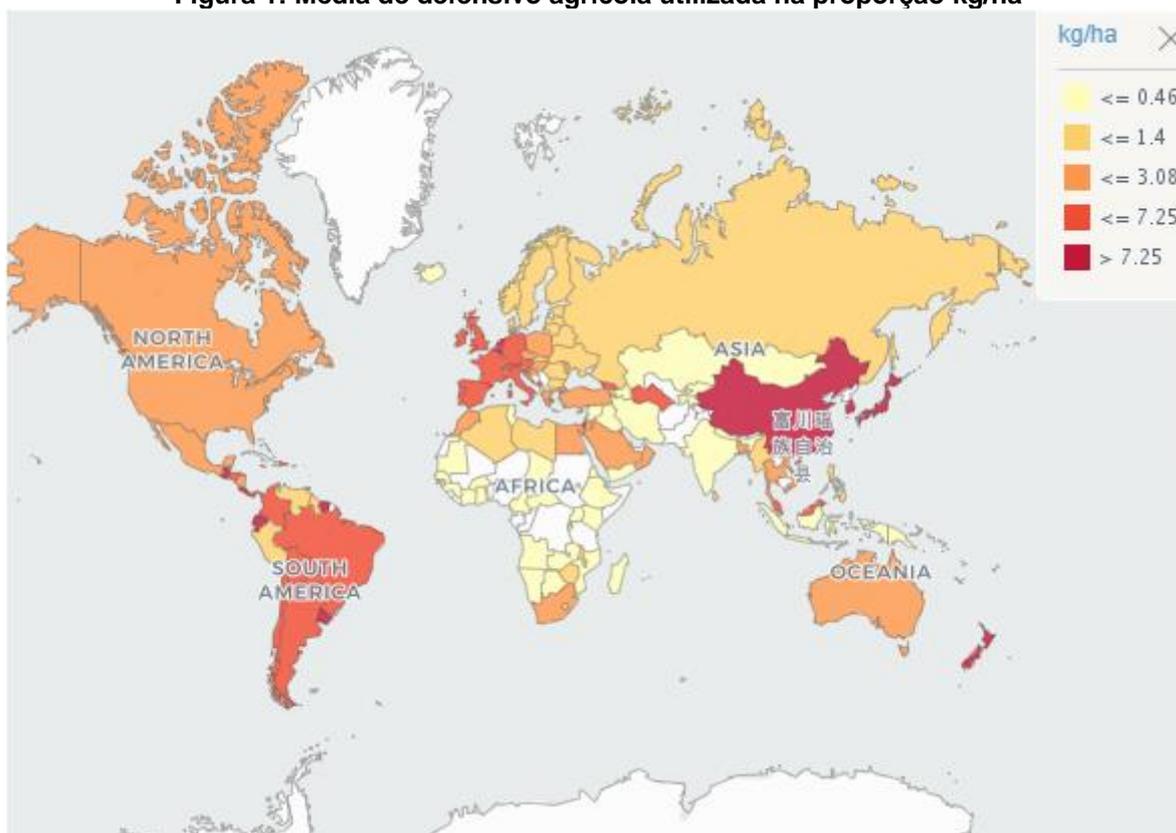
Os defensivos agrícolas permitiram mais do que duplicar a produção de alimentos durante o século passado, e a necessidade atual de aumentar a produção de alimentos para alimentar uma população humana em rápido crescimento mantém a pressão sobre o uso intensivo de pesticidas e fertilizantes (CARVALHO, 2017).

Prevê-se que a população global de 7 bilhões de pessoas cresça 70 milhões por ano, aumentando em 30% para 9,2 bilhões em 2050. Esse aumento da densidade populacional deve aumentar a demanda por produção de alimentos em 70%, principalmente devido a mudanças nos hábitos alimentares dos países em desenvolvimento, alimentos de alta qualidade, por exemplo, maior consumo de carne e produtos lácteos e maior uso de grãos na alimentação animal (FAO, 2009).

Bajwa (2014) ressalta que, com a limitação da expansão da área de terra cultivada, a maioria dos ganhos na produção agrícola veio do aumento da produtividade por meio de dois insumos principais, ou seja, fertilizantes e pesticidas.

A **Figura 1** traz a média de defensivos agrícolas utilizados no ano de 2018, último ano registrado no site *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

Figura 1: Média de defensivo agrícola utilizada na proporção kg/ha



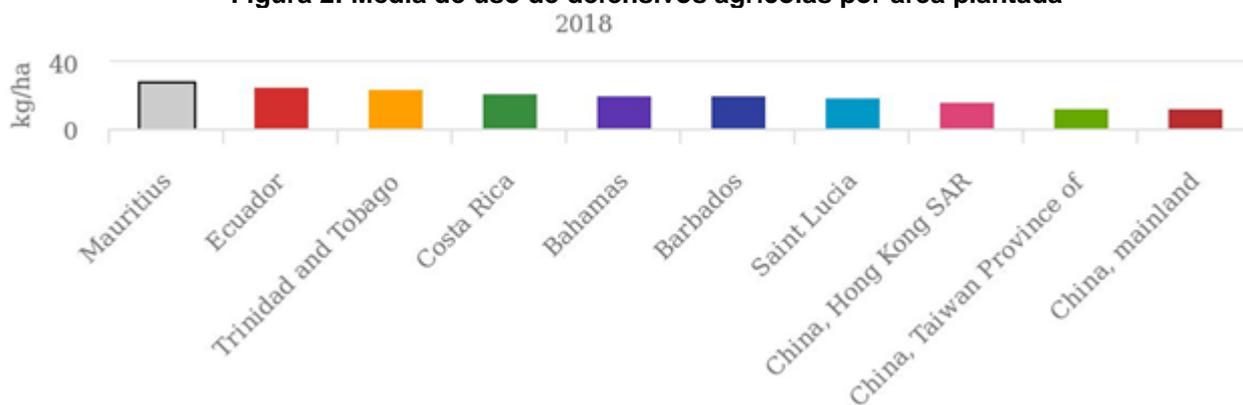
Fonte: <http://www.fao.org> (2020)

É possível notar que os países que lideram o uso são Nova Zelândia, China, Japão, Coreia do Sul, Taiwan, Noruega, Bélgica, Nicósia, Israel, Belize, Guatemala, Costa Rica, Suriname, Equador. Já o Brasil, tem média de 5,94 kg/ha.

Alguns desses países têm a média alta devido a sua dimensão territorial, que é o caso da Coreia do Sul, Noruega, Bélgica, entre outros. Mas o que é preocupante é o caso da China ter a média de 13,07 kg/ha.

Já por área de plantação, a **Figura 2**, mostra o top 10 países com a maior média de uso de defensivos agrícolas por área plantada.

Figura 2: Média de uso de defensivos agrícolas por área plantada



Fonte: <http://www.fao.org> (2020)

Neste top 10, em primeiro lugar, está Ilhas Maurício, com média de 27,95 quilos por hectare, seguido de Equador com média de 25,8 kg/há e, finalizando o top 10 vem a China com média de 13,07 kg/há.

Portanto, é preciso cultivar alimentos em menos terra, com menos água, usando menos energia, fertilizantes e defensivos agrícolas do que se usa hoje. Dadas essas limitações, é urgentemente necessária uma produção sustentável em níveis elevados. A redução das atuais perdas de rendimento causadas por pragas é um grande desafio para a produção agrícola.

Aproximadamente 70% dos defensivos agrícolas usados no mundo são aplicados em países desenvolvidos e 30% nos países em desenvolvimento (PIMENTEL, 1987)

Carvalho (2017), explica que o aumento de produção de alimentos nos dias de hoje, deve incluir a qualidade com menos contaminantes tóxicos. Há vários caminhos em aberto por exemplo, organismos geneticamente modificados, agricultura orgânica, mudanças de hábitos alimentares e desenvolvimento de tecnologias alimentares. As agroindústrias precisam desenvolver práticas avançadas para proteger a saúde pública, tendo mais cautela por meio de testes prévios, mas não se esquecendo da educação dos agricultores e usuários em geral, além de um acordo mundial sobre boas práticas agrícolas.

Não obstante, a crescente população humana exponencialmente enfatiza ainda mais a necessidade de melhorar a produção de alimentos. Essa necessidade é agravada por conflitos que paralisam a produção de alimentos e deslocam milhões de refugiados e, juntamente com os efeitos das mudanças climáticas na agricultura, agravam a escassez de alimentos em muitas regiões e exigem esforços renovados na produção de alimentos (ONU 2015).

O uso de defensivos agrícolas não tem sido o mesmo em todo o mundo devido ao custo dos produtos químicos (a maioria deles patenteados), mas também devido ao custo da mão-de-obra e às pragas específicas de cada região climática/geográfica. As taxas médias de aplicação de defensivos agrícolas por hectare de terra arável foram calculadas pela FAO e os valores médios mais altos, atingindo 6,5-60 kg / ha, ocorreram na Ásia e em alguns países da América do Sul (FAO,2005)

No sul da Ásia, permanecem em uso, às vezes ilegalmente, para controlar vetores da malária e pragas domésticas em áreas urbanas nos trópicos (Taylor et al. 2003).

A aplicação de defensivos agrícolas na agricultura foi feita com a ajuda de várias técnicas, desde a pulverização manual pelos trabalhadores a pé até as técnicas de pulverização baseadas em caminhões e aviões.

Também foram relatados dispersão de resíduos de defensivos agrícolas no ambiente e assassinatos em massa de biota não humana, como abelhas, pássaros, anfíbios, peixes e pequenos mamíferos (Köhler e Triebkorn 2013; Paoli et al. 2015; WHO 2017). Relatórios iniciais e sistemas estruturados de relatório de incidentes certamente ajudaram a desenvolver regulamentos para aplicações de defensivos agrícolas, incluindo dosagem de produtos químicos e melhores períodos de aplicação (Hester e Harrison 2017). Ao longo dos anos, um esforço considerável de pesquisa foi desenvolvido também para entender o comportamento desses produtos químicos no ambiente, incluindo seu ciclo e destino, bem como sua toxicidade para a biota.

Atualmente, os resíduos de defensivos agrícolas na América do Norte e na União Europeia são cuidadosamente monitorados. Em geral, os alimentos comercializados são compatíveis com as concentrações máximas admissíveis (CPM) e as porcentagens de amostras com resíduos detectados que excedem as CPM, felizmente, são em pequeno número. Por exemplo, na União Europeia, entre mais de 83.000 amostras de alimentos de

28 Estados-Membros analisados em 2014, 97% das amostras analisadas estavam dentro dos limites legais; destes, 53,6% estavam livres de resíduos quantificáveis e 43,4% continham resíduos que estavam dentro das concentrações permitidas (EFSA, 2016). Não obstante, em produtos vegetais, foram encontradas 154 substâncias diferentes em concentrações mensuráveis, incluindo produtos químicos para proteção de culturas recentes e antigas e, embora a autoridade alimentar da EFSA tenha avaliado o risco para os consumidores como baixo, foram consideradas necessárias recomendações para melhorar ainda mais a segurança alimentar e diminuir a exposição dos consumidores através de dieta (EFSA 2016).

O efeito combinado da Revolução Verde permitiu que a produção mundial de alimentos dobrasse nos últimos 50 anos. De 1960 até o presente, a população humana mais que dobrou, atingindo sete bilhões de pessoas. Em 2050, a população deverá aumentar em 30%, para cerca de 9,2 bilhões (POPP, PETO e NAGY, 2013).

Globalmente, os produtores agrícolas aplicam cerca de US \$ 40 bilhões em defensivos agrícolas por ano. A participação de mercado dos biodefensivos agrícolas é de apenas 2% do mercado global de proteção de culturas (McDougall 2010).

Os agricultores altamente desenvolvidos, países industrializados esperam um retorno de quatro ou cinco vezes no dinheiro gasto com defensivos agrícolas (GIANESSI e REIGNER 2005).

Podemos atender às demandas mundiais de alimentos se os produtores continuarem, aumentarem ou interromperem o uso de defensivos agrícolas devido aos benefícios econômicos reduzidos? O melhor Manejo Integrado de Pragas (MIP) preserva os benefícios econômicos do uso de defensivos agrícolas? Essas são apenas algumas das perguntas que os cientistas e especialistas em manejo de pragas enfrentam no momento em que a agricultura enfrenta alguns de seus maiores desafios da história entre agora e o ano de 2050 (Popp 2011).

### 3. Método Multicritério

Entre muitos métodos famosos de multicritério, a Técnica para o Desempenho de Pedidos por Semelhança com a Solução Ideal (TOPSIS - *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) é um método prático e útil para classificação e seleção de várias alternativas possíveis através da medição de distâncias Euclidianas.

O método multicritério TOPSIS foi desenvolvido por Hwang e Yoon em 1981, o mesmo se baseia no conceito de que a alternativa escolhida deverá ter a menor distância da solução ideal positiva – PIS (do inglês Positive Ideal Solution), portanto, a solução que maximiza os critérios de benefícios e minimiza os critérios de custo; e o mais distante da solução ideal negativa – NIS (do inglês Negative Ideal Solution), ou seja, a solução que maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício.

A principal vantagem do uso do TOPSIS é a exigência de muito menos pontos de dados de especialistas, como ponderação de critérios e preferência linguística de alternativas, onde a metodologia TOPSIS trabalha com base no princípio que consideramos um conjunto de  $n$  critérios e  $m$  alternativas e, cada alternativa selecionada tenha distância mínima da solução ideal positiva e distância máxima da solução ideal negativa. Já que o TOPSIS requer a ponderação de critérios por meio de especialistas, mas muitas vezes é difícil para os especialistas ponderar de forma precisa estes critérios (CHANG et al., 2008).

As etapas de cálculo do método de entropia são as seguintes.

**Primeiro**, construa uma matriz de decisão.

Suponha que existem  $m$  defensivos e  $n$  critérios, formando assim uma matriz de decisão de  $m$  defensivos e  $n$  critérios:

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde  $m$  é o número total de defensivos ( $i = 1, 2, \dots, m$ ). Cada defensivo tem  $n$  critérios a serem avaliados ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

Para critérios de benefício, a função de construção da normalização é:

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(a_{ij})} \quad (2)$$

Enquanto para o tipo de custo, a função de construção da normalização é:

$$X_{ij} = \frac{\min(a_{ij})}{a_{ij}} \quad (3)$$

Após a transformação, a matriz de grau padrão  $X$  pode ser obtida e mostrada abaixo:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Então a razão do valor de índice para o índice  $j$  na amostra  $i$  é:

$$P_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} \quad (5)$$

A informação  $e_j$  da entropia de é expressa pela fórmula abaixo:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (6)$$

**Segundo**, o peso por entropia pode ser calculado com a fórmula abaixo:

$$w_j = \frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^n (1-e_j)} \quad (7)$$

Na fórmula,  $w_j$  é definido como o peso da entropia do parâmetro  $j$ th.

**Teceiro**, determinar a matriz normalizada.

$$N_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}} \quad (8)$$

Quarto, calcular os pesos normalizados para a matriz de decisão.

$$V = N_D \cdot W_{n \times n} = \begin{bmatrix} V_{1i} & V_{ij} & V_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{m1} & V_{mj} & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

**Quinto**, determinar a solução ideal.

$$S^+ = \{S_j^+ = \max (v_{ij})\} j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

$$1 \leq i \leq m$$

$$S^- = \{S_j^- = \min (v_{ij})\} j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

$$1 \leq i \leq m$$

**Sexto**, calcular a distância Euclidiana

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [\omega_j * (S_j^+ - r_{ij})]^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [\omega_j * (S_j^- - r_{ij})]^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

**Sétimo**, calcular a proximidade relativa

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

### 3. Amostra de dados

A fim de auxiliar os agricultores na qualidade da escolha de tratamento e combate de pragas, este estudo selecionou 13 defensivos agrícolas, cuja cultura selecionada foi a cana-de-açúcar que, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2017, dados do último ano do censo, teve uma área de 10.229.881 hectares de áreas plantadas e 10.184.340 hectares de áreas colhidas.

O cálculo dos pesos por entropia, será utilizado na tabela de defensivos agrícolas, onde foram enumerados de 1 a 13: A1 (Chlorantraniliprole), A2 (Lambda-cialotrina, A3 (Chlorfluazuron), A4 (Flubendiamida), A5 (Triflumuron), A6 (Novaluron), A7 (Chlorfluazuron), A8 (Tebufenozide), A9 (Triflumuron), A10 (Teflubenzuron), A11 (Novaluron), A12 (Novaluron) e A13 (Triflumuron). Já os critérios avaliados, bem como sua classificação entre benefício e custo foram descritos da seguinte maneira: Fator toxicológico (C1), Risco Ambiental (C2), Custo (C3), Quantidade de Aplicação (C4), Intervalo de Segurança (C5), Abrangência de Insetos (C6) e Abrangência de Cultura (C7).

Este estudo utiliza o modelo TOPSIS de entropia para avaliar qual dos defensivos agrícolas é o que tem maiores vantagens ao ser utilizado na cultura escolhida.

### 4. Estudo de caso

Com o levantamento dos dados acima, a matriz de decisão foi montada e para não exibir o custo real dos defensivos agrícolas a pedido de um agrônomo especialista em vendas do mesmo, todos os valores do critério C3 foram multiplicados por um fator, com o intuito manter o preço original em sigilo, este foi o único critério que teve a multiplicação por um fator, desta forma a matriz segue abaixo:

Tabela 1: Matriz de decisão

Produtos	Critérios						
	-	-	-	-	-	+	+
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	3	4	1150	1	60	8	5
A2	4	5	818	2	60	29	18
A3	5	4	55	2	60	14	10
A4	3	3	450	1	30	10	4
A5	4	3	160	2	40	12	11
A6	5	4	117.5	2	7	22	16
A7	5	4	60	2	60	12	9
A8	1	3	80	2	28	19	16
A9	3	3	90	1	40	12	10
A10	2	4	55	2	40	60	42
A11	5	4	90	2	14	22	16
A12	3	4	110	2	7	22	18
A13	3	3	112.5	1	40	9	8

Fonte: O autor

Para a aplicação do método de Entropia, do autor Zeleny (1976), seguindo a ordem das equações (1), (2), (3), (4), (5), (6) e (7), nos valores da Tabela 1, os pesos são demonstrados na **Tabela 2** a seguir:

Tabela 2: Pesos calculados pelo método de entropia

	Critérios						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
$W_{ij}$	0.14368	0.14776	0.1413	0.14629	0.13645	0.14217	0.14234

Fonte: O autor

Estes pesos serão utilizados no segundo passo, onde será calculado por meio do método TOPSIS apresentado anteriormente.

Partindo novamente da Tabela 1, os cálculos a seguir, serão feitos com base nas equações (8), (9), (10), (11), (12), (13) e (14), assim, a classificação ficará da seguinte forma:

Tabela 3: Classificação final do TOPSIS

Classificação Alternativas	
13	A1
8	A2
10	A3
9	A4
12	A5
4	A6
11	A7
7	A8
5	A9
1	A10
3	A11
2	A12
6	A13

Fonte: O autor

## 5. Conclusões

A análise empírica dos 13 defensivos agrícolas usados para combater pragas que atacam diariamente as lavouras de cana-de-açúcar é útil para mostrar que produtos de alto valor, em alguns casos são menos efetivos que defensivos com valores inferiores.

É importante ressaltar que o modelo de obtenção dos pesos por entropia utilizado no método TOPSIS pode refletir cientificamente e efetivamente em um defensivo agrícola utilizado pelo agricultor. Os resultados da análise podem aumentar o nível cognitivo dos agricultores para o uso consciente destes produtos.

Ao analisar os critérios para o produto classificado como primeiro, pode-se perceber que o custo influenciou muito pouco, pois ao obter a ponderação por entropia, o peso deste critério foi de aproximadamente 14,13%, já outros critérios que são mais preocupantes em relação ao meio ambiente como toxicologia e quantidade de aplicações, tiveram respectivamente 14,37% e 14,63%. Isso mostra que todos os critérios foram levados em consideração ao ponderar, onde, muitas vezes quando há a opinião do decisor, o custo pode ser o fator preponderante na compra do defensivo.

Neste exemplo de aplicações do método, a classificação trouxe o produto A10 como o mais vantajoso, levando em consideração todos os 7 critérios e com valor de 1,2, ou seja, aproximadamente 15% do produto com o maior valor que é de 8,0.

O critério com menor peso foi o de intervalo de segurança para a colheita.

Sendo assim, o estudo mostra sua importância, no fato que, com os níveis alarmantes de perdas de produtividade de alimentos, um uso racional dos defensivos agrícolas, seguindo todas as informações do fabricante, aumentaria a produtividade e diminuiria o desperdício, onde, tanto o meio ambiente quanto o produtor seriam beneficiados, além de melhorar a saúde alimentar com a qualidade e quantidade produzida.

## Referências

AGRISERVICE, P. M.. **Industry Overview**: 2009 Market. 2010.

BAJWA, U.; SANDHU, K. S. Effect of handling and processing on pesticide residues in food-a review. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 2, p. 201-220, 2014.

CARVALHO, F. P. Pesticides, environment, and food safety. **Food and Energy Security**, v. 6, n. 2, p. 48-60, 2017.

CHANG, N.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of environmental management**, v. 87, n. 1, p. 139-153, 2008.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. The 2014 European Union report on pesticide residues in food. **EFSA Journal**, v. 14, n. 10, p. e04611, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. How to Feed the World in 2050.

In: **Executive Summary-Proceedings of the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization, 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Pesticide Indicators. Disponível em < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP/visualize> > Acesso em: 09 out. 2020.

GIANESSI, L. P.; REIGNER, N. The value of fungicides in US crop production. Croplife Foundation. **Crop Protection Research Institute (CPRI)**, 2005.

HESTER, R. E.; HARRISON, R. M. (Ed.). **Agricultural chemicals and the environment: issues and potential solutions**. Royal Society of Chemistry, 2017.

HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun. Methods for multiple attribute decision making. In: **Multiple attribute decision making**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1981. p. 58-191.

KÖHLER, H.R.; TRIEBSKORN, R. Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond?. **Science**, v. 341, n. 6147, p. 759-765, 2013.

OERKE, E. C.; DEHNE, H. W. Safeguarding production - Losses in major crops and the role of crop protection. **Crop Protection**, v. 23, n. 4, p. 275-285, 2004.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006.

PAOLI, D. GIANNANDREA, F.; GALLO, M.; TURCI, R.; CATTARUZZA, M.S./ LOMBARDO, F.; LENZI, A.; GIANDINI, L. Exposure to polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene, semen quality and testicular cancer risk. **Journal of endocrinological investigation**, v. 38, n. 7, p. 745-752, 2015.

PIMENTEL, David. Pesticides: energy use in chemical agriculture. In: **Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology**. Elsevier, p. 157-175.1987.

POPP, Jozsef. Cost-benefit analysis of crop protection measures. **Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit**, v. 6, n. 1, p. 105-112, 2011.

POPP, J.; PETŐ, K.; NAGY, J. Pesticide productivity and food security. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 1, p. 243-255, 2013.

ZELENY, Milan. The attribute-dynamic attitude model (ADAM). **Management Science**, v. 23, n. 1, p. 12-26, 1976.

WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. Agrochemicals, health and environment: directory of resources. 2017.