

ABORDAGEM MULTICRITÉRIO E LÓGICA FUZZY PARA PRIORIZAÇÃO DE PORTFÓLIO DE PRODUTOS EM UM SISTEMA AGROINDUSTRIAL

Ciro Jardim Figueiredo^{a*}, Milton Helio Lima da Silva^b

^a*Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife – PE, Brasil*

^b*Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém – PA, Brasil*

Resumo

Em diversas situações que envolvem múltiplas escolhas existe a necessidade de tomar algum tipo de decisão. Então, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma proposta multicritério associando duas diferentes abordagens para um caso de tomada de decisão em uma ambiente agroindustrial. Um modelo usando o método PROMETHEE I e Lógica Fuzzy foram usados para ordenar o conjunto de alternativas de produtos desenvolvidos com base em óleo essencial retirado de uma espécie vegetal encontrada na amazônia. Um agente de decisão participou diretamente do processo, fornecendo as informações requisitadas pela proposta desenvolvida. Ao final, foi gerado uma ordenação das alternativas e que atenderam as necessidades impostas pelos critérios usados no problema.

Palavras-chave: Apoio à decisão; Agroindústria; Bioprodutos.

Abstract

In situations involving multiple choices there is a need to make some kind of decision. Then, the objective of this study was to develop a multicriteria proposal involving two different approaches to a case of decision-making in an agribusiness environment. A model using PROMETHEE I and Fuzzy Logic method were used to sort the set of alternatives developed products based on essential oil taken from a plant species found in the Amazon. A decision agent participated directly in the process by providing the information required by the proposal developed. At the end, was generated and an ordering of the alternatives that met the needs imposed by the criteria used in the problem.

Keywords: Decision support; Agribusiness; Bioproducts.

*Autor para correspondência: e-mail: figueiredocj@yahoo.com.br

1. Introdução

A Amazônia Brasileira possui grande destaque na sua diversidade biológica, em função de proporcionar diferentes bioprodutos que podem ser usados para diversos fins. Todavia, torna-se um desafio conceber as etapas de processamento e domínio tecnológico deste novos bens (Cremasco & Nazareno, 2011). Neste sentido, o estudo de fontes aromáticas é crucial para o manejo adequado e sistematização do conhecimento destas espécies, merecendo grande destaque a família *Piperaceae*.

A família *Piperaceae* possui cerca de 2.000 espécies, sendo o gênero *Piper* agrupado em mais de 1.000 espécies (Maia *et al.*, 1998; Jaramillo & Manos, 2001; Nunes *et al.*, 2007). Assim, destaque-se *Piper aduncum* L. (pimenta de macaco) por possuir óleo essencial rico em Dilapiol, substância capaz de inibir fitopatógenos que afetam diversas culturas agrícolas, com efeitos testados, comprovando a eficácia deste novo bioproduto (Bastos, 1997; Fazolin *et al.*, 2005; Estrela, *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2007; Rafael *et al.*, 2008).

Portanto, nos últimos anos vem se obtendo a sistematização do processo de beneficiamento do óleo essencial de *P. aduncum* L. para viabilização da produção do óleo em parceria com pequenas comunidades agrícolas no Estado do Pará. Assim, os esforços direcionados no assunto identificaram que os resultados sobre o processo de coleta de biomassa, etapas de secagem e destilação do óleo essencial apresentam viabilidade de expansão e comercialização em um mercado que busca por produtos que não sejam nocivos ao meio ambiente (Figueiredo *et al.*, 2010; Figueiredo *et al.*, 2011).

O óleo essencial como produto final do processo, pode se aplicado em dois segmentos: agricultura e como inibidor dos mosquitos transmissores da dengue, o *Aedes aegypti* L. e malária o *Anopheles marajoara*, através de bioprodutos com ação repelente.

Devido ao diferencial e o impacto que estes novos tipos de produtos podem alcançar ao serem inseridos no mercado, torna-se relevante decidir qual deles deve ser priorizado para produção efetiva. Além disso, os critérios que influenciam no processo de escolha, também interferem durante o processo decisório. Em situações como esta, em que é necessário fazer escolhas entre um conjunto de possíveis alternativas e que critérios interferem no processo, tem-se um problema de decisão multicritério (Almeida, 2011).

Segundo Belton & Stewart (2002) problemas deste tipo são caracterizados por apresentarem um conjunto de alternativas, influenciadas por determinados critérios, e que um grupo de pessoas deve decidir por um sub-conjunto de alternativas mais desejáveis que as outras.

Para Gomes *et al.* (2009) a tomada de decisão é determinada na situação no qual um “centro decisor” (um indivíduo ou grupo de pessoas) precisa eleger uma melhor alternativa dentre as possíveis, sendo que estas decisões podem ser simples, complexas, específicas ou estratégicas.

Na literatura muitos trabalhos apresentam o uso de multicritério para apoiar diferentes problemas de decisão. São verificados trabalhos na área de priorização de projetos, gestão de serviços públicos, segurança *software* para avaliação de desempenho, dentro outros trabalhos que visam fazer uma recomendação final utilizando destas abordagens (Benicio *et al.*, 2013; Chaves *et al.*, 2013; Figueiredo *et al.*, 2013; Lacerda *et al.*, 2013).

A abordagem multicritério também pode ser associada com outras áreas voltadas para tomada de decisão. Trabalhos voltados para seleção de estabelecimentos de serviços comerciais e problemas envolvendo decisão com base em lógica fuzzy e métodos multicritério e julgamento das relações de preferência. (Mikhailov *et al.*, 2011; Parreiras & Ekel, 2013; Tolga *et al.*, 2013). Outros estudos também apresentam a utilização da lógica fuzzy associada com técnicas de otimização (Hinojosa *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2011).

Então, o objetivo deste estudo foi realizar um *ranking* do portfólio dos produtos com base no óleo essencial de *P. aduncum* L. Para isto foi usado o método de apoio multicritério à decisão PROMETHEE I. Este método apresenta em uma de suas etapas um procedimento nebuloso, portanto foi adotada a técnica de lógica Fuzzy para incrementar e auxiliar o processo decisório, criando assim, um modelo híbrido associando as duas técnicas.

O artigo segue organizado da seguinte forma. Primeiramente são apresentados alguns pontos de destaque sobre apoio multicritério à decisão, em seguida são apresentados os pontos principais sobre o método PROMETHEE I e a técnica de Lógica Fuzzy e que foram usadas no trabalho. Na seção 3 é apresentada a metodologia usada e a adaptação feita entre os métodos. Em seguida a aplicação real é feita, na seção 4 e na seção 5 são discutidos os resultados. E por fim, na última seção são apresentadas as conclusões acerca do estudo.

2. Referencial teórico

Esta seção irá apresentar os conceitos sobre os temas abordados para a construção do modelo. Primeiramente serão discutidos os temas sobre Decisão Multicritério e em seguida será feita uma breve explicação o método PROMETHEE I. Na última seção serão descritos os conceitos básicos sobre Lógica Fuzzy.

2.1. Apoio Multicritério à Decisão

Segundo Cavalcante & Almeida (2005) os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) procuram auxiliar na busca de soluções para problemas que envolvam múltiplas alternativas de escolha em função de diferentes critérios, que na maioria dos casos são conflitantes. Já Belton & Stewart (2002) afirmam que é a situação na qual dado um conjunto de alternativas, haverá uma determinada preferência por um subconjunto de alternativas. Os mesmos autores comentam a existência dos métodos de sobreclassificação, dentre eles o PROMETHEE.

Almeida (2013) define que o uso de qualquer método AMD está pautado na necessidade do decisor em definir os objetivos que ele pretende alcançar, em que estes objetivos são representados por múltiplos critérios. Em Gomes *et al.* (2004) o uso de um método AMD se faz presente devido a certas características da situação, tendo destaque para: alternativas e critérios que não estão totalmente compreendidos, critérios que podem ser quantificáveis e outros não, a escala de cada critério que pode variar, bem como outros fatores presentes de acordo com o problema.

Dentre os métodos de AMD destacam-se os da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), que incluem o I, II, III, IV, V e VI. As variantes da família de I a IV constroem um *ranking* das alternativas propostas. Enquanto que o V produz um subconjunto das alternativas com base no conjunto do PROMETHEE II, e o VI gera um intervalo de pesos quando o decisor não está apto a mensurar os pesos (Almeida, 2011; Brans *et al.*, 1986; Gomes *et al.*, 2004; Hu & Chen, 2011;). De acordo com Almeida (2011) estes métodos criam uma relação de sobreclassificação valorada, baseado em conceitos que possuem conotação física ou econômica.

2.2. PROMETHEE I

O método está constituído em duas partes: construção das relações de sobreclassificação entre as alternativas e critérios e a segunda parte que consiste nessa exploração de sobreclassificação. O termo sobreclassificação, do inglês, *outranking*, traduz a seguinte ideia: dada duas alternativas a e b , aSb (a sobreclassifica b), se, e somente se a é pelo menos tão boa quanto b (Brans *et al.*, 1986).

Segundo Almeida (2011), primeiramente, deve-se construir a matriz de decisão, composta pelas alternativas e critérios, cada alternativa com seu respectivo juízo de valor em relação a cada critério, e cada critério com o seu peso, que representa o grau de importância

para o decisor. A partir dos pesos determinados, é obtido o grau de sobreclassificação de a sobre b , para cada par de alternativas, expresso pela Equação 1 seguinte:

$$\pi(a,b) = \sum_{i=1}^n p_i F_i(a,b) \tag{1}$$

Em que p_i corresponde a soma dos pesos dos critérios e $F_i(a,b)$ é a diferença de desempenho da alternativa a sobre b , levando-se em consideração o critério i , expresso por $[g_i(a) - g_i(b)]$ (Gomes *et al.*, 2004). Brans *et al.* (1986) esclarecem que $F_i(a,b)$ pode assumir valores entre 0 e 1 dependendo da forma da função utilizada para expressar as preferências do decisor, ou seja, a função quando assume valor 1 expressa a máxima intensidade de preferência de uma escolha sobre outra, e 0 quando não há preferência. O Quadro 1 resume as funções existentes.

Quadro 1: Funções existentes para diferentes situações de preferência expressas pelo decisor. Fonte: Brans *et al.* (1986).

Situação	Função	Resultado gerado
1 – critério usual: não há definição de parâmetro	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b)=1$ $F(a,b)=0$
2 – quase-critério: é definido o parâmetro q	$g_i(a) - g_i(b) > q$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b)=1$ $F(a,b)=0$
3 – limiar de preferência: defini-se o parâmetro p	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	$F(a,b)=1$ $F(a,b)=[g_i(a) - g_i(b)]/p$ $F(a,b)=0$
4 – pseudo-critério: são definidos os parâmetros q e p	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b)=1$ $F(a,b)=1/2$ $F(a,b)=0$
5 – área de indiferença: são definidos os parâmetros q e p	$g_i(a) - g_i(b) > p$ $q < g_i(a) - g_i(b) \leq p$ $g_i(a) - g_i(b) \leq q$	$F(a,b)=1$ $F(a,b)=(g_i(a) - g_i(b) - q)/(p - q)$ $F(a,b)=0$
6 – critério gaussiano: o desvio padrão é fixado	$g_i(a) - g_i(b) > 0$ $g_i(a) - g_i(b) \leq 0$	A preferência aumenta segundo uma distribuição normal
Em que p é o limiar de preferência e q o limiar de indiferença		

Na fase de exploração das relações de sobreclassificação, Almeida (2011) coloca que devem ser calculados os Fluxos de Sobreclassificação de saída $[\Phi^+(a)]$ e de entrada $[\Phi^-(a)]$. O primeiro indica a “intensidade de preferência” de a sobre as demais alternativas, quanto mais elevado o valor de a melhor para esta alternativa. Enquanto que o segundo mede a intensidade de todas as alternativas sobre a , quanto mais baixo esse valor melhor a alternativa a . Assim, são obtidas as suas pré-ordens contendo os fluxos de entrada e saída.

Por fim, Gomes *et al.* (2004) comentam que deve-se realizar a interseção destas duas pré-ordens, criando uma pré-ordem parcial desejada, com base nas seguintes condições:

Preferência: aPb se

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) \leq \Phi^-(b); \text{ ou}$$

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) < \Phi^-(b).$$

Indiferença: aIb se

$$\Phi^+(a) = \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(a) = \Phi^-(b)$$

Incomparabilidade: aRb se:

$$\Phi^+(a) > \Phi^+(b) \text{ e } \Phi^-(b) < \Phi^-(a); \text{ ou}$$

$$\Phi^+(b) > \Phi^+(a) \text{ e } \Phi^-(a) < \Phi^-(b)$$

2.3. Conjuntos Fuzzy

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy pode ser sintetizada, como a tradução de informações matemáticas e conceitos imprecisos que são transformados em um conjunto de regras linguísticas. E estas regras quando agrupados na forma de condições (*se...então*) podem ser escritas em linguagem computacional (Vargens, *et al.*, 2003; Zadeh, 1983;).

Segundo Artero (2009) a teoria dos conjuntos nebulosos, como também é chamada, surgiu devido à complexidade dos problemas que envolvem lógica e fazem uso de proposições como “verdadeiro” e “falso” e devido a extensão dos problemas fica inviável a utilização destas sentenças binárias. O autor destaca que a técnica introduzida por Zadeh em 1965, propõe o uso de uma faixa de valores de zero a um para representar diferentes estados, ao invés dos estados simples de 0 ou 1. Ou seja, um elemento pertence, ou, não pertence a um determinado conjunto, como exemplificado na Equação 2.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (2)$$

Por outro lado, na lógica Fuzzy, supondo um conjunto universo U , e um subconjunto nebuloso $A \subset U$, A é determinado por uma função de pertinência que associa para cada elemento de $x \in U$, um grau $\mu_A(x)$ entre 0 e 1. Portanto, infinitos valores absolutos podem ser utilizados no estudo envolvendo lógica nebulosa, logo os elementos têm um grau de pertinência para um dado conjunto (Oliveira Jr. *et al.*, 2007; Artero, 2009).

Baseado em Artero (2009); Oliveira Jr. *et al.* (2007); Zadeh (1983) seguem descritos as fases usadas para resolução de problemas Fuzzy:

- Primeiramente deve-se obter os dados de entrada (dados numéricos chamados de *crisp*) que irão ser transformados em informações nebulosas, essa transformação se chama fuzzificação;

- Em seguida, deve-se determinar as variáveis linguísticas do estudo e identificar diferentes classes que podem existir em um atributo, temperatura é um exemplo, pois pode-se existir uma sensação de temperatura baixa, média, ou, alta;
- O nível de pertinência para cada classe em um dado atributo deve ser realizado pela definição do formato de uma função que indicará o grau de pertinência ao atributo para cada valor absoluto e que pode ser representada por uma função triangular, beta, normal, etc, como segue ilustrado na Figura 1 seguinte;

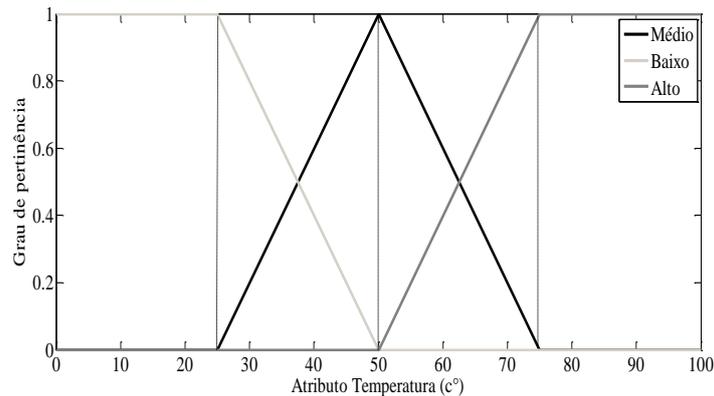


Figura 1: Exemplo de classificação Fuzzy para o critério Temperatura na forma trapezoidal.

- Após a determinação dos atributos e definição das classes para cada atributo deve-se realizar a inferência fuzzy, que são as regras semânticas baseadas em situações reais ocorridas no passado, ou, obtidas por meio do conhecimento de um especialista que consistirá em um possível resultado. As regras podem ser do tipo: $SE < \mu_{leve} E \mu_{forte} > ENTÃO \mu_{aceitar}(x)$;
- Na última etapa ocorre o processo de defuzzificação, que transforma um valor fuzzy em um valor real, que é a resposta desejada em um sistema real. Novamente deve-se construir curvas de funções para a saída dos dados, que também podem ser representadas por funções definidas com auxílio de especialistas, como exemplificada na Figura 1. A transformação do valor fuzzy em um valor absoluto pode ser feita por diferentes métodos existentes, todavia neste estudo será empregado o método do centro geométrico (COG), também citado como de área ou de gravidade, expresso pela Equação 3 seguinte.

$$COG = \frac{\sum x \mu_A(x)}{\sum \mu_A(x)} \quad (3)$$

Finalmente, a associação entre as duas abordagens permitirá que o decisor possa expressar suas preferências através de escalas verbais ordinais, não necessitando de uma elicitación de valores, como ocorreria se fosse usado somente o PROMETHEE I. Isso implica em uma maior facilidade para poder expressar suas preferências.

É importante destacar que as informações verbais expressas pelo decisor poderiam ser julgadas como uma pouca quantidade de informação. Entretanto, a associação com a Lógica Fuzzy irá reverter esse conceito, pois o processo de análise fuzzy irá retornar com os valores numéricos, garantindo assim uma informação mais precisa mediante as análises das alternativas.

3. Metodologia

Segundo Silva & Menezes (2005) este estudo é classificado quanto a sua natureza como aplicada, pois seus resultados irão gerar novas informações direcionadas ao conhecimento sobre o uso de métodos multicritério e sua associação com outras ferramentas, neste caso, com a lógica Fuzzy. Possuindo uma abordagem quantitativa e qualitativa, pois ao mesmo tempo em que necessita de visões subjetivas (dados qualitativos) para a tomada de decisão, também insere ao longo do estudo, métodos quantitativos que serão desenvolvidos para solução do problema.

Então, a proposta do modelo é construir uma ordenação das alternativas referentes aos produtos desenvolvidos com base no óleo essencial de *P. aduncum* L. Os produtos são: vela com base no óleo, refil elétrico, loção e biodefensivo. Os três primeiros possuem ação repelente contra os mosquitos *Aedes aegypti* L. e *Anopheles marajoara*, causadores da dengue e febre amarela, respectivamente. O quarto produto é direcionado no segmento agrícola, para uso no combate efetivo de fitomoléstias que prejudicam economicamente culturas do norte do país.

O modelo é composto por sete fases que englobam as informações fornecidas pelo especialista responsável que irá inserir as informações necessárias para o julgamento e das etapas das propostas abordadas, Lógica Fuzzy e PROMETHEE I. A Figura 2 seguinte ilustra o seguinte procedimento

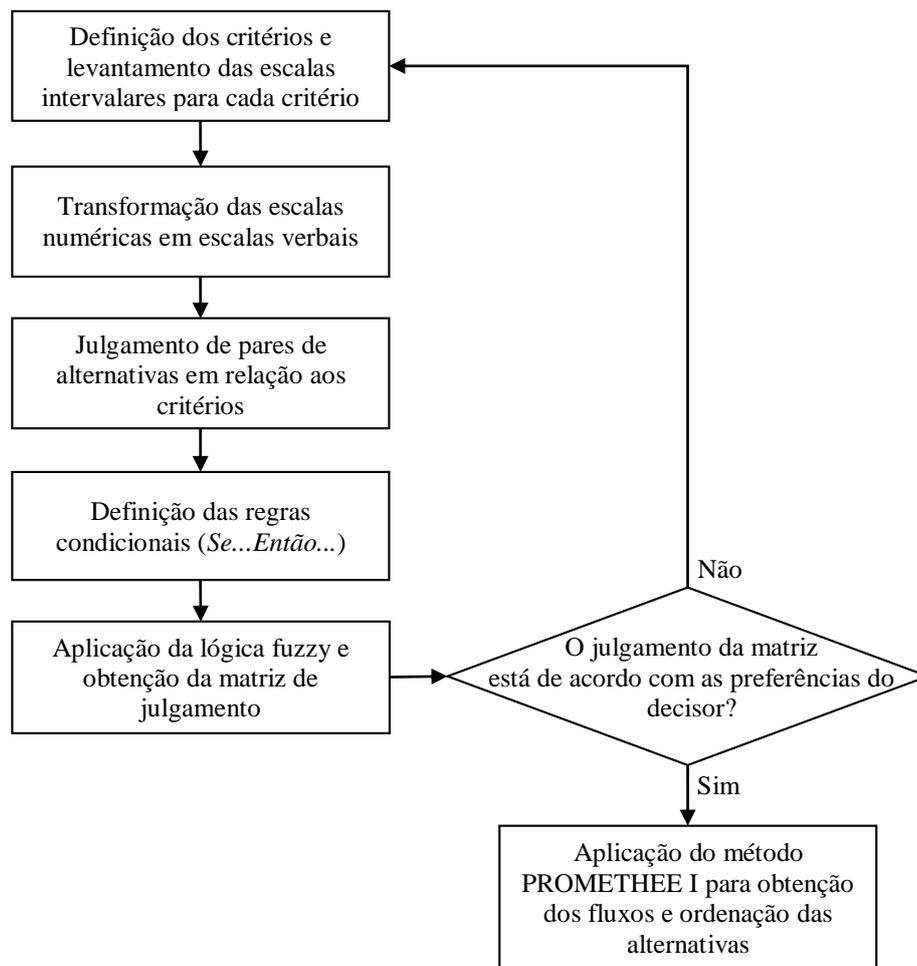


Figura 2: Fluxograma da proposta PROMETHEE-FUZZY.

O julgamento das alternativas em relação a cada critério foi realizado (análise inter-critério) usando uma escala intervalar e não houve o julgamento do grau de importância dos critérios (análise intra-critério), pois a associação com a lógica Fuzzy eliminou esta fase do método PROMETHEE I.

Para as análises foi usado o programa Matlab®, versão 2008, usando o Editor FIS para lógica Fuzzy.

4. Aplicação dos métodos PROMETHEE I e Lógica Fuzzy

Como reportado na Seção 2.2 o método PROMETHEE I é constituído em duas fases: a primeira que tem por objetivo construir as relações de sobreclassificação entre as alternativas e critérios e a segunda, que explora as relações de sobreclassificação. O método dos conjuntos Fuzzy consiste em definir os atributos e associá-los com uma classificação Fuzzy, transformar os

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

valores absolutos em valores nebulosos e depois executar as relações semânticas (sentenças condicionais), para em seguida gerar os valores absolutos novamente (defuzzificação).

Através desta síntese foram definidos os passos necessários para adaptar o método PROMETHEE I com a técnica Fuzzy.

- Primeiramente foram selecionados os critérios para o problema (Custo, Rapidez, Mercado e Inovação). O Quadro 2 seguinte apresenta a justificativa para o uso de cada critério;

Quadro 2: Definição dos critérios e justificativa para o uso.

Critério	Justificativa
Custo	representa todo o recurso monetário envolvido na produção e comercialização do produto (matéria prima, mão de obra, logística de abastecimento de materiais, etc). Como essa fase representa a maturação do projeto, não há valores reais, mas avaliações sobre os gastos envolvidos uma que será posto em prática o produto
Rapidez	indica a facilidade em produzir o produto e coloca-lo para disponibilização no mercado
Mercado	se o mercado está apto para adquirir este novo tipo de empreendimento
Inovação	se o produto realmente é diferente em relação aos concorrentes

- Posteriormente, o decisor foi questionado sobre as classificações que cada critério poderia receber. Para o critério Custo, houve uma classificação em um custo “baixo”, “moderado”, ou, “alto”. Todos os atributos foram classificados na forma de uma função trapezoidal. A Figura 3 abaixo ilustra as classificações de pertinência para o critério Custo e no Quadro 3 estão resumidas as informações quanto as classificações usadas para cada critério;

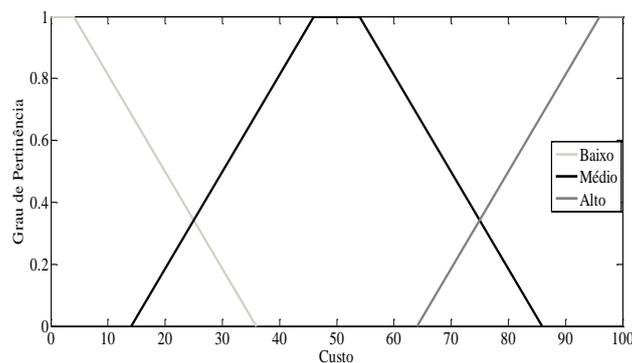


Figura 3: Critério Custo e suas classificações, segundo o decisor.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Quadro 3: Classificações usadas para cada critério, segundo as preferências do decisor.

Custo	Classificação		
	Baixo	Médio	Alto
Rapidez	Baixa	Moderada	Elevada
Mercado	Crítico	Moderado	Aquecido
Inovação	Pouco	Similar	Diferenciado

- Em seguida foram definidas as escalas utilizadas, para o problema em questão. Foi usada uma escala intervalar, pois de acordo com Almeida (2011), este tipo de escala mostra o quanto uma alternativa pode acrescentar mais de valor em relação à outra alternativa, o que provoca o aumento da percepção do decisor;
- Depois foram determinadas as relações semânticas, através de regras condicionais e que foram realizadas com o auxílio do decisor. Nesta fase, ele foi questionado acerca de cada critério e as relações que deveriam existir para gerar as classificações de saída, o Quadro 4 faz uma síntese de algumas relações condicionais usadas;

Quadro 4: Algumas relações semânticas usadas para expressar situações condicionais.

Condição	Custo	Conector	Rapidez	Conector	Mercado	Conector	Inovação	Conclusão	Comparação
<i>Se</i>	Baixo	<i>e</i>	Baixa	<i>e</i>	Crítico	<i>e</i>	Pouco	<i>então</i>	Indiferente
<i>Se</i>	Alto	<i>e</i>	Baixa	<i>e</i>	Crítico	<i>e</i>	Pouco	<i>então</i>	Indiferente
<i>Se</i>	Alto	<i>e</i>	Moderada	<i>e</i>	Crítico	<i>e</i>	Pouco	<i>então</i>	Indiferente
<i>Se</i>	Alto	<i>e</i>	Moderada	<i>e</i>	Aquecido	<i>e</i>	Diferenciado	<i>então</i>	Preferível
<i>Se</i>	Médio	<i>e</i>	Moderada	<i>e</i>	Moderado	<i>e</i>	Similar	<i>então</i>	Preferivelmente fraca
<i>Se</i>	Alto	<i>e</i>	Moderada	<i>e</i>	Moderado	<i>e</i>	Diferenciado	<i>então</i>	Preferivelmente fraca
<i>Se</i>	Baixo	<i>e</i>	Baixa	<i>e</i>	Aquecido	<i>e</i>	Diferenciado	<i>então</i>	Preferível
<i>Se</i>	Médio	<i>e</i>	Moderada	<i>e</i>	Moderado	<i>e</i>	Diferenciado	<i>então</i>	Preferivelmente fraca
<i>Se</i>	Médio	<i>e</i>	Elevada	<i>e</i>	Aquecido	<i>e</i>	Pouco	<i>então</i>	Preferível

Por fim, o decisor foi convidado a comparar uma alternativa em relação à outra, atribuindo uma resposta verbal quando comparado o par de alternativas em relação a um determinado critério. A partir desta comparação verbal e aplicando as regras semânticas resumidas no Quadro 4 foram gerados os resultados fuzzy e que foram transformados em um valor entre 0 e 1. Estes valores obtidos pelas comparações pareadas entre as alternativas gerava a matriz de comparações. A partir desta matriz foram determinados os fluxos de sobreclassificação de saída $[\Phi^+(a)]$ e entrada $[\Phi^-(a)]$, para determinação da pré-ordem parcial, através do método PROMETHEE I.

5. Resultados e Discussão

Os resultados mostram a matriz gerada pelo processo de defuzzificação realizada pelo programa utilizado e que foi gerada pelas comparações realizadas pelo decisor do problema. A Tabela 1 segue descrita abaixo.

Tabela 1: Matriz gerada pelo emprego do método Fuzzy.

	Vela (1)	Repelente elétrico (2)	Loção (3)	Biodefensivo (4)
Vela (1)		0,607	0,500	0,500
Repelente elétrico (2)	0,574		0,613	0,613
Loção (3)	0,609	0,613		0,605
Biodefensivo (4)	0,613	0,613	0,613	

Esses valores apresentados na Tabela 1 foram usados posteriormente no cálculo dos fluxos de entrada e saída e que o método PROMTETHEE I utiliza para fazer sua ordenação. Uma análise detalhada entre as amplitudes destes valores permite concluir que houve uma determinada aproximação entre as relações de preferência entre as alternativas. Ou seja, nas comparações pareadas a diferença de uma alternativa *a* em relação a *b* e *b* em relação a *a* não foram elevadas. Essas amplitudes seguem ilustradas na Figura 4 seguinte, em valores absolutos.

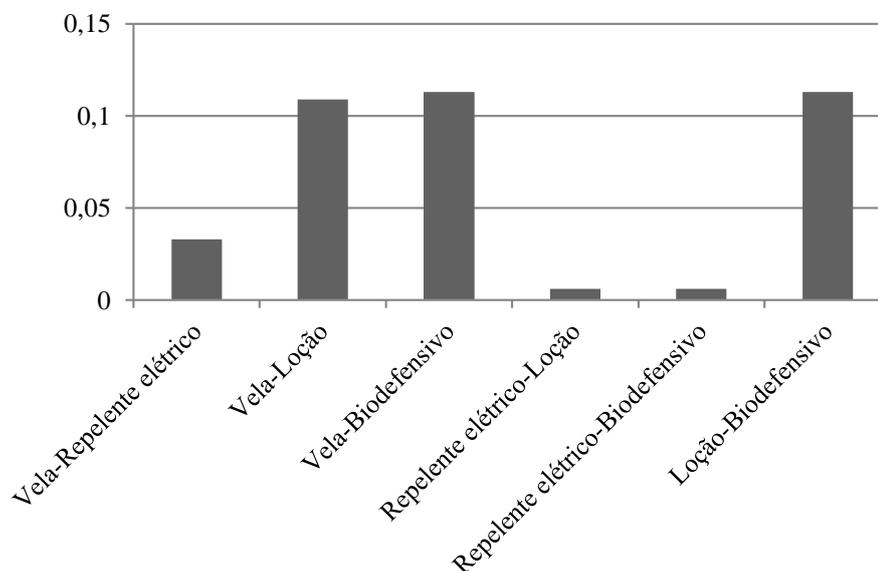


Figura 4: Amplitude dos valores gerados pela fase da lógica fuzzy.

A justificativa para haver essa baixa amplitude se refere justamente na dificuldade em se escolher uma alternativa, sem usar um modelo estruturado que possa captar essas informações de preferência do decisor. Portanto, a adaptação dos dois métodos se mostra bastante relevante no sentido de agregar determinadas informações para a tomada de decisão e

assim gerar uma recomendação final, ao invés de simplesmente tomar uma decisão quando se há dificuldade em fazer uma escolha, ou, mesmo a ordenação de alternativas.

Em seguida foram calculados os fluxos de sobreclassificação de entrada e saída, por meio da soma das linhas que representa o fluxo de saída de uma alternativa em relação às outras e a pela soma das colunas que representa o fluxo de entrada das alternativas em relação à outra opção, como demonstrado na Tabela 2 seguinte.

Tabela 2: Matriz contendo os fluxos de entrada e saída.

	Vela (1)	Repelente elétrico (2)	Loção (3)	Biodefensivo (4)	Φ^+
Vela (1)		0,607	0,500	0,500	1,607
Repelente elétrico (2)	0,574		0,613	0,613	1,800
Loção (3)	0,609	0,613		0,605	1,827
Biodefensivo (4)	0,613	0,613	0,613		1,839
Φ^-	1,796	1,833	1,726	1,718	

Após a definição da matriz contendo os fluxos de entrada e saída, foi determinada a pré-orden parcial, com base nas regras que indicam as situações de Preferência (aPb), Indiferença (aIb) e Incomparabilidade (aRb). Assim, foi observado que a alternativa 4 supera todas as demais alternativas, ou seja, ela sobreclassifica as demais, demonstrando ser pelo menos tão boa em relações as outras opções do problema desenvolvido. A Figura 5 apresenta um esquema do *ranking* gerado pelo método PROMETHEE I em associação com a técnica Fuzzy e as relações observadas de Preferência e Indiferença.

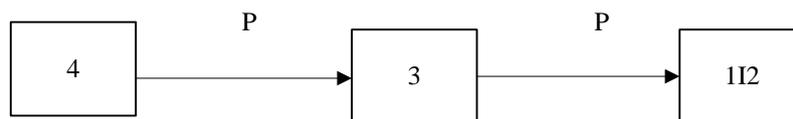


Figura 5: Pré-ordem parcial expressando o ranking gerado pelo método PROMETHEE.

Foi observado, também, que a alternativa 1 foi superada pelas alternativas 3 e 4 e incomparável a escolha 2. Segundo o decisor a escolha 1 apresenta um sentimento de importância inferior as demais alternativas e sua introdução somente serviu para poder auxiliá-lo a pensar melhor nos seus desejos em relação as alternativas em função de cada critério. Ele também justificou que no mercado já existe um produto semelhante e com grande aceitação pelo público usuário, e que a introdução de algo similar poderia não ser de grande impacto visto que o óleo de *P. aduncum* L. é pouco conhecido e haveria um custo muito elevado para divulgação.

O decisor também se mostrou satisfeito com a indicação em primeiro lugar no *ranking*, da escolha 4. Ele afirmou, que esta opção possui um contato melhor e mais direto de ser feito com os clientes (agricultores), visto que atualmente se preza muito pelo uso de produtos que não agridam o meio-ambiente, além do lançamento ter um custo reduzido, tanto com mão-de-obra, instalações e matéria-prima. Outro ponto de destaque, é o fato do biodefensivo ser um produto natural que não provoca riscos de intoxicação com relação ao uso de agrotóxicos.

Quando questionado a respeito da abordagem Fuzzy com uma ferramenta multicritério (visto que o mesmo já estava familiarizado com a segunda ferramenta), o mesmo se mostrou satisfeito com a aplicação, pois se sentiu mais confortável para expressar seus sentimentos de preferência.

6. Considerações finais

Este estudo compreendeu o *ranking* de um portfólio de produtos baseados no óleo essencial de *P. aduncum* L. que constitui uma ação contra fitomoléstias e combate aos mosquitos transmissores da dengue e febre amarela. Portanto, a escolha pelo decisor tornou-se uma situação delicada, pois envolvia diferentes critério que afetavam na escolha.

A abordagem da ferramenta multicritério PROMETHEE I com a técnica de lógica Fuzzy foi usada, para possibilitar ao decisor melhor expressar suas preferências. A justificativa pelo uso dos conjuntos nebulosos, se dá pelo fato de que a própria metodologia multicritério adotada faz uso de conceitos fuzzy para que o decisor possa expressar suas preferências, porém, ela varia de acordo com a característica da alternativa e do critério, impossibilitando assim uma definição única.

Portanto, houve a eficiência a partir do momento em que se conseguiu unir as duas técnicas para apoio à decisão e se obteve um resultado alcançado. Em seguida, o próprio decisor se mostrou apto a responder através do uso da ferramenta do Matlab® e este ainda afirmou ser de fácil manuseio e compreensão. Além de se sentir apto a expressar suas preferências e concordar com o resultado apresentado pelas metodologias utilizadas.

Por fim, para estudos futuros pretende-se adaptar uma nova fase que possibilite uma análise de sensibilidade, sendo esta considerada uma limitação do estudo, sustentada por duas razões. A primeira corresponde à pequena quantidade de alternativas e a segunda a opção em não propor uma simulação de outros cenários, fato influenciado pelo problema proposto. Assim, para um trabalho posterior, pretende-se alterar a adaptação realizada, trocando a lógica fuzzy por uma proposta de rede neural e que permita uma avaliação mais interativa com o decisor.

Referências

- Almeida, A. T. (2011). O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão, 2. Editora Universitária da UFPE, Recife.
- Almeida, A. T. (2013). Processo de Decisão nas Organizações: construindo modelos de decisão multicritério. Atlas, São Paulo.
- Artero, A. O. (2009). Inteligência Artificial: teórica e prática. Livraria da Física, São Paulo.
- Bastos, C. N. (1997). Efeito do óleo de *P. aduncum* L. sobre *Clinipellis perniciosus* e outros fungos fitopatogênicos. *Fitopatologia brasileira*, 1, 441-443.
- Belton, V.; Stewart, T. J. (2002). Multiple criteria decision analysis: An integrated approach. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts.
- Benicio, J.; Mello, J. C. S.; Bragança, L.; Guimarães, V. (2013). Método MACBETH para ranqueamento dos esportes olímpicos: uma análise complementar à análise de eficiência DEA. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 5, 314-330.
- Brans, J. P.; Vincke, P.; Mareschal, B. (1986) How to select and how to rank projects: the Promethee method. *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238.
- Cavalcante, C. A. V.; Almeida, A. T. (2005). Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando o PROMETHE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*, 2, 279-296.
- Chaves, L. C.; Ensslin, L. Ensslin, S. R.; Valmorbidia, S. M. I.; Shinohara, K. J. (2013). Segurança de software: uma abordagem multicritério para avaliação de desempenho. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 5, 136-171.
- Cremasco, M. A.; Nazareno, B. P. (2011). Análise termogravimétrica do óleo essencial de pimenta longa (*Piper hispidinervium* C. DC). *Acta Amazonica*, 2, 275-278.
- Estrela, J. L. V. ; Fazolin, M. ; Catani, V. ; Alécio, M. R. ; Lima, M. S. (2006). Toxicidade de óleos essenciais de *Piper aduncum* e *Piper hispidinervium* em *Sitophilus zeamidis*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2, 217-222.
- Fazolin, M.; Estrela, J. L. V.; Catani, V.; Lima, M. S.; Alécio, M. (2005). Toxicidade do óleo de *Piper aduncum* L. a adultos de *Ceratomyza tingomarianus* Bechyne (Coleoptera: Chrysomelidae). *Neotropical Entomology*, 3, 485-489.
- Figueiredo, C. J. J.; Silva, M. L.; Sarmiento, B. C.; Pereira, W. M. A.; Chaves, A. F. (2010). Utilização de técnicas operacionais para otimização dos processos de corte e colheita de *Piper aduncum* L. *Inovação, Gestão e Produção*, 3, 37-45.
- Figueiredo, C. J. J.; Freitas, F. F. T.; Silva, M. H. L.; Sarmiento, B. C.; Pereira, W. M. A. (2011). Uso de Sistemas Especialistas para avaliação de um processo agroindustrial. *Inovação, Gestão e Produção*, 1, 79-88.
- Figueiredo, C. J. J.; Chaves, A. L. F.; Serra, C. M. V. (2013). Apoio à Decisão para priorização de projetos em uma empresa médico-hospitalar, Belém-PA. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 5, 476-494.

- Gomes, L. F. A. M.; Gomes, C. F. S.; Almeida, A. T. (2009). Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério, 3. Atlas, São Paulo.
- Hinojosa, M. A.; Mármol, A. M.; Monroy, L.; Fernández, F. R. (2012). A multi-objective approach to fuzzy linear production games. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 12, 927-943.
- Hu, Y.; Chen, C. A (2011). PROMETHEE-based classification method using concordance and discordance relations and its application to bankruptcy prediction. *Information Sciences*, 22, 4959-4968.
- Jaramillo, M. S.; Manos, P. S. (2001). Phylogeny and patterns of floral diversity in the genus Piper (Piperaceae). *American Journal of Botany*, 4, 706-716.
- Lacerda, L. S.; Mello, J. C. C. B. S.; Gomes Júnior, S. F. (2013). Um estudo multicritério para a escolha das cidades-sedes para a copa do mundo Fifa 2014. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 5, 100-112.
- Li, A.; Shi, Y.; He, J.; Zhang, Y. (2011). A fuzzy linear programming-based classification method. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10, 1161-1174.
- Maia, J. G. S. ; Zoghbi, M. G. B. ; Andrade, E. H. ; Santos, A. S. ; Silva, M. H. L. ; Luz, A. I. R. ; Bastos, C. N. (1998). Constituents of the essential oil of Piper aduncum L. growing wild in the Amazon region. *Flavour Fragrance*, 4, 269-272.
- Mikhailov, L.; Didekhani, H. Sadi-Nezhad, S. (2011). Weighted prioritization models in the fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10, 681-694.
- Nunes, J. D. ; Torres, G. A. ; Davide, L. C. ; Salgado, C. C. (2007). Citogenética de Piper hispidinervum e Piper aduncum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 7, 1049-1052.
- Oliveira Jr.; Caldeira, A. M.; Machado, M. A. S.; Souza, R. C.; Tanscheit, R. (2007). *Inteligência Computacional Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab*. Thompson, Rio de Janeiro.
- Parreiras, R.; Ekel, P. (2013) Construction of nonreciprocal fuzzy preference relations with the use of preference functions. *Pesquisa Operacional*, 33, 305-323.
- Rafael, M. S.; Hereira-Rojas, W. J.; Roper, J. J.; Nunomura, S. M. Tadei, W. P. (2008). Potential control of Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) with Piper aduncum L. (Piperaceae) extracts demonstrated by chromosomal biomarkers and toxic effects on interphase nuclei. *Genetic and Molecular Research*, 3, 772-781.
- Silva, E. L.; Menezes, E. M. (2005). *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*, 4. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Silva, W. C. ; Ribeiro, J. D.; Souza, H. E. M.; Corrêa, R. S. (2007). Atividade inseticida de Piper aduncum L., (Piperaceae) sobre Aetalion sp. (Hemiptera: Aetalionidae), praga de importância econômica no Amazonas. *Acta Amazonica*, 2, 293-298.
- Tolga, A. C.; Tuysuz, F. Kahraman, C. (2013). A fuzzy multi-criteria decision analysis approach for retail locations selection. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 12, 729-755.

PESQUISA OPERACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO

Vargens, J. M., Tanscheit, R.; Vellasco, M. M. (2003). Previsão da produção agrícola baseada em regras lingüísticas e lógica fuzzy. *Sociedade Brasileira de Automática*, 2, 114-120.

Zadeh, L. A. (1983). The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 199-227.