

Análise multicritério aplicada à escolha de oleaginosas para a produção de biodiesel

O uso de fontes alternativas de energia vem ganhando muita força devido ao aumento da preocupação com as questões ambientais, sociais e econômicas. Um exemplo disso é a utilização dos biocombustíveis derivados de óleos e gorduras de origem animal ou vegetal, que surgem como uma promessa para substituição do óleo diesel, com especial destaque para o biodiesel. O biodiesel representa uma nova opção geradora de energia dentro do setor energético brasileiro. Um combustível renovável, de qualidade comprovada que vai ajudar na redução da dependência do diesel de petróleo. Atuando, também, no desenvolvimento do agronegócio, buscando atingir dessa forma todos os membros da cadeia de produção do biodiesel. A seleção de matérias-primas para produção de biodiesel geralmente envolve situações de conflito de interesses no processo de gestão. Para ajudar na resolução recomendasse um conjunto de ferramentas capazes de gerenciar conflitos como os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AHP, MACBETH, SMART, ELECTRE, PROMETHEE, MODM, etc.). Este artigo tem por finalidade analisar, através de metodologia multicritério, qual das culturas ou espécies oleaginosas é mais apropriada para produção de biodiesel. Para isso foi utilizado os métodos da família PROMETHEE (I, II e GAIA), que ordenam as alternativas de acordo com os critérios estabelecidos em fluxos líquidos de sobre classificação parciais e totais. A representação do sistema de escolha se deu pelo exercício da criação e posterior comparação de dois cenários: um de base e outro mais abrangente, cada um levando em conta as alternativas (dendê, canola, soja, etc.) e critérios (conteúdo médio de óleo, meses de colheita, custos de produção, etc.) próprios. A ordenação final do resultado gerado na análise multicritério no cenário 1 foi: dendê; soja; canola; mamona e amendoim. Enquanto no cenário 2: dendê; canola; soja; girassol; amendoim; babaçu e mamona.

Palavras-chave: Energia; Biodiesel; Multicritério.

Multicriteria analysis applied to the choice of oilseeds for the production of biodiesel

The use of alternative energy sources has gained a lot of strength due to increased concern about the environmental, social and economic issues. An example is the use of biofuels derived from fats and oils of animal or vegetable origin, arising as a promise to replace diesel oil, with special emphasis on biodiesel. Biodiesel represents a new option for generating energy within the Brazilian energy sector. A renewable fuel, proven quality that will help reduce dependence on petroleum diesel. Also working on the development of agribusiness, thereby seeking to reach all members of the chain of production of biodiesel. The selection of raw materials for biodiesel production generally involves situations of conflict of interest in the management process. To assist in the resolution, it was recommend a set of tools capable of managing conflicts such as Multicriteria Decision Support (AHP, MACBETH, SMART, ELECTRE, PROMETHEE, MODM, etc.). This article aims to analyze through multicriteria methodology which culture or oilseeds species is more suitable for biodiesel production. For this, the methods of the family PROMETHEE (I, II and GAIA) were used, which order the alternatives according to the criteria established in partial and total net over classification flows. The representation of the system of choice was based on the exercise of the creation and subsequent comparison of two scenarios: a of base and one more comprehensive, each taking into account the alternatives (palm, rapeseed, soy, etc.) and criteria (medium oil content, harvest months, production costs, etc.) own. The final ordering of the result generated in the multicriteria analysis in scenario 1 was: palm; soy; rapeseed; castor bean and peanut. While in scenario 2: palm; canola; soy; sunflower, peanut, babassu and castor bean.

Keywords: Energy; Biodiesel; Multicriteria.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **10/06/2018**

Approved: **24/07/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Genilson do Nascimento Carvalho Júnior 

Universidade Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5719009888601411>
<http://orcid.org/0000-0002-1378-2238>
genilson.carvalho.junior@gmail.com

Roberto Guimarães Pereira 

Universidade Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9607255646013062>
<http://orcid.org/0000-0001-6094-1396>
temrobe@vm.uff.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0021

Referencing this:

CARVALHO JÚNIOR, G. N.; PEREIRA, R. G.. Análise multicritério aplicada à escolha de oleaginosas para a produção de biodiesel. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.5, p.231-247, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0021>

INTRODUÇÃO

A substituição dos combustíveis fósseis tem sido motivada por fatores ambientais, econômicos e sociais, uma vez que toda a sociedade depende de seu uso. Nesse contexto, uma alternativa que se tem destacado é o uso de biocombustíveis. Pode-se definir biocombustível como todo produto útil para a geração de energia, obtido total ou parcialmente de biomassa. Na tabela 1 são apresentados exemplos de biocombustíveis com matérias primas, processos de obtenção e composições químicas dos mesmos:

Tabela 1: Biocombustíveis.

Biocombustível	Matéria prima	Processos de obtenção	Composição química
Carvão vegetal	Madeira	Pirólise	Carbono (C)
Álcool	Açúcares (glicose, amido, celulose, etc)	Fermentação anaeróbica	Etanol (CH ₃ CH ₂ OH)
Biogás	Todo tipo de biomassa	Fermentação anaeróbica	Hidrocarbonetos leves
Biogás de síntese	Biomassa em geral	Gaseificação	Mistura de vários gases, essencialmente (CO e H ₂)
Biodiesel	Óleos e gorduras	Esterificação ou transesterificação	Monoésteres de ácidos graxos
Bio-óleo	Óleos e gorduras	Craqueamento ou hidrocraqueamento	Mistura de hidrocarbonetos e compostos oxigenados

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2008).

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) lançado oficialmente em 6 de dezembro de 2004, surgiu como uma forma de uniformizar as informações e difusão do conhecimento, a ideia central é fazer com que todos os benefícios gerados pelo programa cheguem a todos os membros da cadeia produtiva do biodiesel. Dando devido reconhecimento à agricultura familiar e da sua eventual valorização feita através de medidas que vão ajudar a mesma. A captação de crédito e regime tributário segue o modelo do tipo de oleaginosa (amendoim, mamona, canola, etc), tamanho do produtor (pequeno, médio ou grande), região (Norte, Sul, etc) e cada elemento da cadeia vão participar conforme seu campo de atuação (agronegócio e agricultura familiar).

O Brasil está em segundo lugar atualmente no ranking mundial da produção de biodiesel, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. De 2014 a 2015, houve um aumento de 15% na produção nacional desse biocombustível, total de quase 4 bilhões de litros de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Lembrando que em 2008 o Brasil era apenas quarto colocado, outro fator que contribuiu para o crescimento do mercado brasileiro de biodiesel é o aumento mandatório e gradativo do percentual de mistura (ver tabela 2).

Tabela 2: Legislação acerca do percentual de mistura compulsória.

Percentual de Mistura	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	10%
Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) – Data	Resolução nº3 – (23 de setembro de 2005)	Resolução nº2 – (13 de março de 2008)	Resolução nº2 – (27 de abril de 2009)	Resolução nº6 – (16 de setembro de 2009)	Medida Provisória nº647 – (28 de maio de 2014)	Medida Provisória nº647 – (28 de maio de 2014)	Resolução nº3 – (15 de abril de 2016)	Resolução nº23 – (9 de novembro de 2017)
Data de Aplicação	1 de janeiro de 2006	1 de julho de 2008	1 de julho de 2009	1 de janeiro de 2010	1 de julho de 2014	1 de novembro de 2014	23 de março de 2017	1 de março de 2018

Fonte: Adaptado de Alvarenga (2013).

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser produzido a partir de gorduras animais (sebo de boi, banha de porco, gordura de frango, óleos de peixes, etc) ou de óleos vegetais, existindo dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê, girassol, canola, gergelim, soja, dentre outras. Também, é possível preparar o biodiesel a partir de resíduos industriais ou domésticos, como as sobras de frituras e sabões produzidos no refino do óleo de soja, por esse motivo a energia gerada pelo biodiesel é dita renovável. Substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores automotivos (caminhões, tratores, automóveis, etc) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc). O processo inicia-se misturando a matéria prima de origem animal ou vegetal com um álcool (metanol ou etanol) e catalisadores que podem ser ácidos, básicos ou enzimáticos.

No Brasil o biodiesel deve atender às especificações de qualidade da ANP em sua resolução No. 45 de 25.08.2014. Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções, o percentual de biodiesel misturado ao diesel é indicado pelo número após a letra B (blend-mistura). A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100. A Lei federal 11.097/2005 que introduziu o biodiesel determinou aumentos consecutivos na mistura com o diesel, delegando competência à ANP para regular e fiscalizar a comercialização de biocombustíveis. Atualmente o percentual é de 10% (B10) iniciado em março de 2018, consoante ao texto da Lei nº 13.263 de 23 de março de 2016.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) visa direcionar por meio da recomendação de ações a ‘pessoa’ que vai tomar a decisão (decisor), funcionando como ferramenta de apoio no processo de gestão. O AMD busca não pregar uma verdade absoluta, mas um conjunto de oportunidades montado e interpretado pelos analistas, evidenciado na figura de um modelo matemático. O biodiesel representa a busca por uma mudança de postura perante a discussão sobre as questões ambientais, sociais e econômicas através de alternativas mais sustentáveis. A tabela 3 revela exemplos de fatores econômicos, sociais e ambientais na escolha da oleaginosa.

Tabela 3: Fatores econômicos, sociais e ambientais.

Fatores		
Econômico:	Social:	Ambiental:
Produtividade agrícola	Custo da terra	Grau de mecanização
Teor de óleo no grão	Empregabilidade	Esgotamento do solo
Custo de produção	Manejo da cultura	Demanda hídrica

Fonte: Adaptado de Khalil (2006).

Esses fatores podem ser usados como exemplos de critérios nos métodos de apoio à decisão. Na tabela 4 é mostrada a potencialidade de matérias-primas (oleaginosas e gordura animal) brasileiras por região geográfica. As variedades de oleaginosas apresentadas na tabela acima podem ser utilizadas nos métodos de apoio à decisão como exemplos de alternativas e diferentes cenários. O presente artigo tem como objetivo principal classificar as culturas utilizadas para a produção de biodiesel industrial por intermédio da análise multicritério. Foi feita uma análise da potencialidade do Brasil na produção de biodiesel, relacionando as fontes principais cultiváveis de biodiesel com os métodos de AMD.

Tabela 4: Variedades de matérias-primas (oleaginosas e gordura animal) por região.

Região	Oleaginosas e gordura animal
Norte	Dendê; Babaçu; Soja e Gordura animal
Centro-Oeste	Soja; Algodão; Girassol; Mamona e Gordura animal
Sul	Soja; Colza; Girassol; Algodão e Gordura Animal
Nordeste	Babaçu; Soja; Mamona; Dendê; Algodão; Coco e Gordura Animal
Sudeste	Soja; Mamona; Algodão, Amendoim e Gordura Animal

Fonte: Adaptado de Embrapa (2016).

REVISÃO TEÓRICA

A tomada de decisão foi definida de forma diferente por vários pesquisadores, Harris (2012) define formalmente a tomada de decisão como "o estudo de identificar e escolher alternativas com base nos valores e preferências dos tomadores de decisão". Segundo Mutikanga et al. (2011), tomada de decisão é "o processo cognitivo que leva à seleção de um curso de ação entre alternativas".

Em 1969, um marco importante para análise de decisão aconteceu durante o VII Simpósio de Programação Matemática, quando Roy apresentou uma seção sobre organização de múltiplos objetivos (Classement et choix en presence de points de vue multiples: la methode ELECTRE). De acordo com Tsoukiàs (2008), outro marco para a teoria de decisão ocorreu em 1976, quando os autores Keeney e Raiffa publicaram um livro (Decision with Multiple Objectives: preferences and value tradeoffs) expandindo a teoria da decisão com a presença de múltiplos critérios.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) surgiu formalmente como ramo da Pesquisa Operacional (PO) na década de 1970, envolvendo abordagens diferenciadas. No entanto, alguns métodos elementares já existiam desde o século XVIII onde estudos precursores da metodologia multicritério deram origem as duas principais escolas de pensamentos conhecidas até hoje.

Os primeiros estudos formais nesse assunto apareceram após a Revolução Francesa com as publicações de Borda (escola americana) e Condorcet (escola francesa). Estes autores queriam resolver problemas em que várias pessoas opinavam, em especial, na situação da atribuição de penas a réus em um tribunal (BARBA-ROMERO et al., 1997, citado por SOARES DE MELLO et al., 2003).

Para o tão sonhado desenvolvimento sustentável a busca é por uma fonte de energia renovável como a biomassa e seus derivados: Gomes et al. (2013); Chaves et al. (2014); Clímaco et al. (2012); Delai et al. (2014) e Narayanan et al. (2007). Há uma demanda mundial crescente por energias ditas renováveis ou bioenergia, escolher qual tipo utilizar não é uma tarefa fácil. Por isso recomenda-se o uso de alguma ferramenta de gestão como, por exemplo, os métodos multicritérios: Scott et al. (2012); Guardiola et al. (2017); Rabelo et al. (2009); Ferreira et al. (2010); Ren et al. (2013); Newlands et al. (2012); Cardoso et al. (2012) e Castrillón et al. (2017).

A diversificação dos métodos multicritérios se dá através da combinação dos mesmos para resolução de um problema (modelos híbridos), podendo incluir a participação de outros programas para melhorar os resultados encontrados: Gomes (1999) e Corral et al. (2015). Ou devido a sua aplicação em outras áreas do conhecimento sem ter a necessidade de estar somente ligada a área ambiental: Gomes et al. (2015) e Silva et al. (2014). Atualmente, tem-se feito muito uso dos modelos híbridos ou técnicas híbridas dos métodos

multicritérios para seleção de biocombustíveis, ainda mais quando aborda casos complicados como em Sakthivel et al. (2015) e Nwokoagbara et al. (2015).

Apoiar as decisões é um dos compromissos básicos dos métodos multicritérios. O que acabou contribuindo em um crescente uso da ferramenta multicritério na última década, principalmente nas áreas ambientais, onde o resultado alcançado com uso dos métodos de AMD diferentes envolvendo o mesmo problema não varia significativamente com o método aplicado, gerando classificações semelhantes de alternativas para a gestão ambiental: Huang et al. (2011) e Scott et al. (2012).

METODOLOGIA

Para Gomes et al. (2004, citado por CARDOSO et al., 2012), as etapas correspondentes aos vários métodos de análise multicritério existentes, cada um com suas particularidades, são: Definição dos atores envolvidos - especialistas (quando for o caso), analistas e decisores; Analista - é a pessoa encarregada de interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados para a decisão. Embora não seja recomendável, pode ser que aconteça do analista ser um dos decisores; Modelo - é o conjunto de regras e operações matemáticas que permitem transformar as preferências e opiniões dos decisores em um resultado quantitativo; Identificação dos tomadores de decisão - os tomadores de decisão são um grupo de pessoas ou uma pessoa que vai decidir qual(is) alternativa(s) é(são) a(s) melhor(es) para solucionar o problema; Formulação do problema - é o problema de 'pesquisa', ou seja, é o que se quer decidir; Determinação das ações ou alternativas - é a criação de ações ou alternativas, representado pelo conjunto de alternativas \underline{A} ($A = \{a_1...a_j...a_n\}$); Elaboração de critérios ou atributos - é a construção de critérios ou atributos, representado pelo conjunto de critérios \underline{F} ($F = \{g_1...g_j...g_m\}$); Avaliação das alternativas - é a criação de uma matriz de avaliações que permite avaliar as alternativas de acordo com cada critério. As linhas correspondem às alternativas e as colunas aos critérios; Determinação de pesos - é a criação de ponderações para cada critério; Agregação dos critérios - é a reunião e ordenamento das alternativas em conformidade com os critérios estabelecidos, ficando a primeira alternativa como a melhor solução para o problema exposto.

Dependendo do método multicritério utilizado algumas dessas etapas podem deixar de existir e outras podem ser acrescentadas, etapas estas específicas ao método selecionado. Roy et al. (1993) definem quatro problemáticas de apoio à decisão e Gartner (2008) afirma que os problemas normalmente se enquadram em um dos quatro tipos apresentados na tabela 5.

As estruturas de preferência (tabela 6) são definidas sobre o conjunto \underline{A} das alternativas. São constituídas por um conjunto de relações binárias (H_1, \dots, H_N) sobre \underline{A} , que satisfazem às exigências de exaustividade e exclusão mútua, isto é, dadas duas alternativas \mathbf{a} e \mathbf{b} de \underline{A} , existe uma só relação H_i que se aplica ao par. As quatro relações fundamentais são indiferença (I), preferência estrita (P), preferência fraca (Q) e incomparabilidade (R) (SOARES DE MELLO et al., 2003).

Tabela 5: Problemáticas de apoio à decisão.

Tipos de problema	Características	Representação
Escolha	Seleção de somente uma das alternativas	α
Triagem ou alocação em classes	Escolha de todas as boas alternativas, podendo ser ordenadas ou não	β
Classificação ou ordenação	Escolha de algumas das melhores alternativas	γ
Descrição ou cognição	Descrição das alternativas e suas consequências	δ

Fonte: Adaptado de Vilas Boas (2006).

Tabela 6: Estruturas de preferência das alternativas.

Estruturas de Preferência	Representação	Descrição
Indiferença	$a \mid b$	Significa que há razões que justificam a indiferença na escolha entre as duas alternativas.
Preferência estrita	$a P b$	Representa a existência de fatores que provam o favorecimento da alternativa a em relação à alternativa b .
Preferência fraca	$a Q b$	Demonstra a existência de dúvida entre $a \mid b$ e $a P b$.
Incomparabilidade	$a R b$	Representa a inexistência de situações que legitimem alguma das disposições anteriores.

Fonte: Adaptado de Soares de Mello et al. (2003).

A escolha de qual método de AMD que será utilizado deve ser feita em função do tipo de problema de decisão que se tem em mãos. O conjunto de critérios usados em uma determinada situação de decisão deve satisfazer três condições (conhecidas como axiomas de Roy) para ser uma família coerente de critérios. Em Gomes et al. (2007) esses axiomas em linguagem não matemática são: Exaustividade - impõe a necessidade de descrever o problema levando em conta todos os aspectos relevantes; Coesão - obriga à correta análise de quais são os critérios de maximização e quais os de minimização; Não Redundância - obriga a excluir critérios que avaliem características já consideradas por outro critério. Segundo Vilas Boas (2006), depois de obter as preferências do decisor efetua-se a agregação, definindo o tipo de método multicritério de apoio à decisão a ser aplicado. Com base no procedimento de agregação das preferências, classificam os AMD em três tipos (ver tabela 7).

Tabela 7: Métodos de agregação das preferências.

I) Métodos de agregação a um critério único de síntese	II) Métodos de subordinação ou outranking	III) Métodos interativos
UTA	QUALIFLEX	MODM
PREFCALC	ORESTE	-
UTASTAR	MELCHIOR	-
MINORA	PROMETHEE	-
AHP	TACTIC	-
MACBETH	MAPPAC	-
MAVT	PRAGMA	-
SMART	N-TOMIC	-
EVAMIX	ELECCALC	-
TOPSIS	ELECTRE I, II, III e IV	-
-	MERCHIOR	-
-	REGIMA	-
-	NAIADE	-

Os problemas que envolvem a seleção de matérias-primas (de origem animal ou vegetal) para produção de biodiesel encontrado em artigos sobre biocombustíveis geralmente utilizam os métodos de subordinação ou outranking. Por causa disso, apesar dos diversos métodos de AMD existentes, neste artigo foi escolhida a utilização da metodologia PROMETHEE (**P**reference **R**anking **O**rganization **M**ethod for **E**nrichment **E**valuation). Outro fator importante que pesou, também, na escolha desse método é a facilidade de obtenção do programa na versão básica (Software de Análise Multicritério Visual PROMETHEE 1.4 -

Academic Version), necessário para rodar o modelo, um arquivo leve e executável sem necessidade de instalação obrigatória no computador para funcionar.

Os métodos PROMETHEE têm como objetivo proporcionar aos decisores um melhor entrosamento e entendimento da metodologia de apoio à decisão utilizada. Ele atua na construção de relações de superação valorizadas, incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica facilmente compreensível pelo decisor (GARTNER, 2008).

Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério (que permite integrar explicitamente elementos mal definidos ou conhecidos com uma margem de imprecisão), construindo o grau de superação entre cada par de ações ordenadas levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a respeito de cada atributo (FLAMENT, 1999, citado por VILAS BOAS, 2006).

Em PROMETHEE I se obtém um ordenamento parcial (Φ^+ , Φ^-), no PROMETHEE II pode-se obter um ordenamento completo (Φ) considerando os fluxos líquidos de cada alternativa. Outras variantes do método analisam situações mais sofisticadas de decisão, em particular problemas com um componente estocástico. Dessa forma se desenvolveram as versões PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V (FLAMENT, 1999, citado por VILAS BOAS, 2006). E PROMETHEE GAIA – extensão dos resultados do PROMETHEE, através de um procedimento visual e interativo. Para Morais et al. (2006) a utilização do PROMETHEE II exige o conhecimento de alguns conceitos:

w_j - é o peso do critério j ;

$g_j(a)$ - é o valor da alternativa a no critério j ;

q - limite de indiferença, o maior valor para $[g_j(a) - g_j(b)]$ abaixo do qual existe uma indiferença;

p - limite de preferência, o menor valor para $[g_j(a) - g_j(b)]$ acima do qual existe uma preferência estrita;

o modelo de critério verdadeiro é definido quando $p = q = 0$, pseudocritério fica $p \geq 0$ e $q \geq 0$, semi-critério onde $p = q$ e o pré-critério onde $q = 0$;

$F_j(a, b)$ - é a função de preferência, valor que varia de 0 a 1 e representa o comportamento do decisor frente as diferenças provenientes da comparação par a par entre as alternativas, para um dado critério, indicando a intensidade da preferência da diferença $g_j(a) - g_j(b)$ (BRANS et al. 2002).

$\Pi(a, b)$ é o grau de sobreclassificação de a em relação a b , também chamado de intensidade de preferência multicritério. É calculado por:

$$\Pi(a, b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j F_j(a, b) \quad \text{sendo, } W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (1)$$

$\Phi^+(a)$ é o fluxo de saída e representa a média de todos os graus de sobreclassificação de a , com respeito a todas as outras alternativas. É dado pela expressão:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(a, b)}{n - 1} \quad (2)$$

Quanto maior $\Phi^+(a)$, melhor a alternativa e mostra o quanto uma ação é preferida à outra.

$\Phi^-(a)$ é o fluxo de entrada, representa a média de todos os graus de sobreclassificação de todas as outras alternativas sobre **a**. É dado pela expressão:

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\Pi(b, a)}{n - 1} \tag{3}$$

Quanto menor $\Phi^-(a)$, melhor é a alternativa e representa quanto uma ação é preterida por outra.

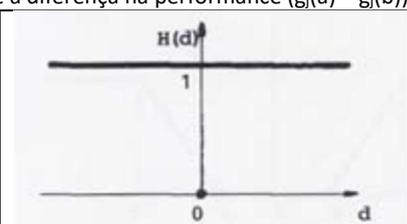
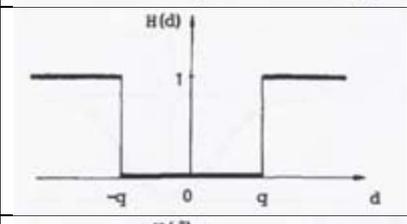
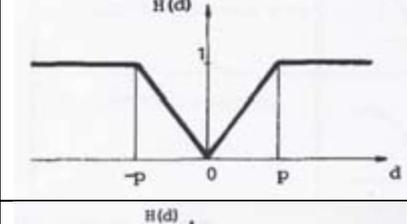
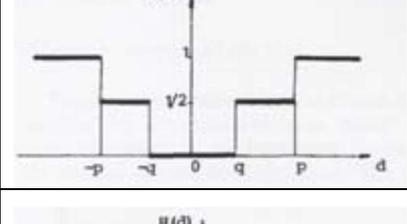
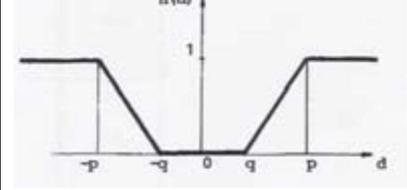
$\Phi(a)$ é o fluxo líquido de sobreclassificação e representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. É dado pela expressão:

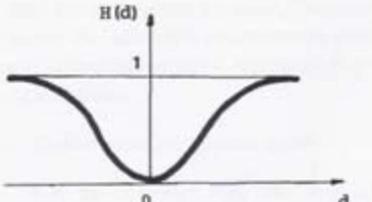
$$\begin{aligned} \Phi(a) \\ = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \end{aligned} \tag{4}$$

Quanto maior $\Phi(a)$, melhor a alternativa.

O procedimento PROMETHEE deve ser associado com uma função de preferência (tabela 8), a cada critério para comparação por pares. Embora cada decisor esteja examinando os mesmos critérios (podendo associar pesos diferentes), a seleção da função de preferência pode ser feita de forma globalizada ou individual.

Tabela 8: Formas das funções de preferência.

Critério (onde d é a diferença na performance ($g_j(a) - g_j(b)$))	Parâmetros
<p>I Critério usual</p> 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d = 0 \\ 1 & \text{se } d \neq 0 \end{cases}$ <p>Há uma indiferença entre a e b se e somente se $g(a) = g(b)$. Qualquer diferença entre a avaliação das alternativas implica em preferência estrita.</p> <p>nenhum</p>
<p>II Quase - critério</p> 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } -q \leq d \leq q \\ 1 & \text{se } d < -q \text{ ou } d > q \end{cases}$ <p>Duas alternativas são indiferentes enquanto a diferença entre as avaliações (d) não ultrapassar o limiar de indiferença. Acima desse limiar, a preferência é estrita.</p> <p>Q</p>
<p>III Critério de Preferência Linear</p> 	$H(d) = \begin{cases} d/p & \text{se } -p \leq d \leq p \\ 1 & \text{se } d < -p \text{ ou } d > p \end{cases}$ <p>A preferência do decisor cresce linearmente até que o limiar de preferência (p) seja atingido. Após esse limiar, a preferência é estrita.</p> <p>p</p>
<p>IV Critério nível</p> 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ 1/2 & \text{se } q < d \leq p \\ 1 & \text{se } p < d \end{cases}$ <p>a e b são considerados como indiferentes até que a diferença (d) entre $g_j(a)$ e $g_j(b)$ não ultrapasse q_j; entre q_j e p_j o grau de preferência é fraco e acima de p_j a preferência é estrita.</p> <p>P, Q</p>
<p>V Critério de preferência linear com zona de indiferença</p> 	$H(d) = \begin{cases} 0 & \text{se } d \leq q \\ (d - q)/(p - q) & \text{se } q < d \leq p \\ 1 & \text{se } p < d \end{cases}$ <p>a e b são considerados como indiferentes até que a diferença (d) entre $g_j(a)$ e $g_j(b)$ não ultrapasse q_j; acima desse limiar, o grau de preferência cresce linearmente com d_j até atingir uma preferência estrita a partir de p_j.</p> <p>P, Q</p>

VI Gaussiana		$H(d) = 1 - e^{-d^2/2\sigma^2}$ O desvio padrão (σ) deve ser fixado e a preferência aumenta segundo uma distribuição normal.	σ
------------------------	---	--	----------

Fonte: Adaptado de Brans et al. (1986, citado por MORAIS et al., 2006).

É importante definir com clareza quem são as alternativas e critérios envolvidos para resolução do problema multicritério. Os critérios correspondem a alguns aspectos relevantes na produção das oleaginosas selecionadas, que podem influenciar indiretamente ou diretamente em alguns casos o custo de produção do biodiesel. Sendo ainda possível em alguns métodos de AMD a utilização de vários cenários diferentes para simular uma dada situação envolvendo a 'vontade' do decisor (avaliação individual) ou grupo de decisores (avaliação global). Na tabela 9, tem-se as alternativas que serão utilizadas para composição dos cenários multicritérios e seus respectivos identificadores (os mesmos usados no programa).

Tabela 9: Alternativas de ação.

Identificador	Alternativa
A1	Dendê
A2	Colza ou Canola
A3	Mamona
A4	Amendoim
A5	Soja
A6	Babaçu
A7	Girassol

Na tabela 10, tem-se os critérios considerados para a formação dos cenários devidamente identificados (seguindo a mesma padronização das alternativas), com uma breve explicação sobre cada um deles e otimização recomendada. Foi considerado um peso por critério na especificação da importância relativa dos critérios. Para avaliação, esses critérios serão maximizados ou minimizados de acordo com a necessidade.

Tabela 10: Critérios considerados.

Identificador	Critério	Descrição	Otimização
C1	Conteúdo médio de óleo	A porcentagem de óleo que pode ser encontrado em cada amêndoa ou grão de oleaginosa.	Max ou Min
C2	Meses de colheita	Mostra o número de meses da colheita.	Max ou Min
C3	Rendimento médio em óleo	Revela o rendimento de óleo em tonelada por hectare.	Max ou Min
C4	Produtividade Média	Indica quantas toneladas podem ser produzidas da oleaginosa por hectare	Max ou Min
C5	Custos de Produção	Refere-se ao custo necessário para o cultivo da espécie em dólar por tonelada.	Max ou Min
C6	Preço óleos	Corresponde ao valor de preços dos óleos utilizados na produção de biodiesel.	Max ou Min
C7	Demanda por área cultivada	É a extensão de área necessária para cultivo de oleaginosas.	Max ou Min

RESULTADOS

As possíveis alternativas estratégicas são: amendoim; canola; dendê; mamona e soja (tabelas 4 e 9), para o cenário 1 (tabela 11) baseado em Bilich et al. (2006), incluindo algumas considerações adicionais que

serão discutidas mais a frente. Os critérios utilizados, otimização considerada e respectivos pesos associados estão na tabela 14.

Tabela 11: Alternativas e critérios do Cenário 1

Espécie	Origem do óleo	Cont. médio de óleo [%]	Meses de colheita	Rend. médio em óleo [t/há]	Prod. Média [t/há]	Custos de Produção [US\$/t]	Preço óleos [US\$/t]
Amendoim (<i>Arachis Hypogaea</i>)	Grão	45	3	0,7	1,9	1300	1281
Colza ou Canola (<i>Brassic napus</i>)	Grão	44	3	0,7	2,3	650	653
Dendê (<i>Elaeis Guineensis N.</i>)	Amendôa	26	12	4,5	2,2	286	450
Mamona (<i>Ricinus communis</i>)	Grão	44	3	0,75	1,0	720	1040
Soja (<i>Glycine max</i>)	Grão	17	3	0,4	2,3	85	560

Fonte: Elaborada a partir de Cardoso et al (2012), Embrapa, Conab e Cadernos NAE (citado por BILICH et al. 2006).

Função de preferência: I – Critério usual (caso simplificado considerado o mesmo para todos os critérios). A maioria dos critérios considerados nos cenários 1 e 2 tem naturezas econômicas como mostra Khalil (2006) na tabela 3, ou seja, pertencem a um mesmo grupo de fatores (tabela 12). Por isso foi utilizada essa função de preferência para os critérios considerados.

Tabela 12: Natureza dos critérios escolhidos.

Fatores Econômicos	Critérios
Produtividade agrícola	C2, C4 e C7
Teor de óleo no grão	C1 e C3
Custo de produção	C5 e C6

Fonte: Elaborado a partir de Khalil (2006).

Tabela 13: Discussão envolvendo os motivos da otimização de cada critério.

Critérios	Otimização	Discussão
C2 e C4	Max	A maximização é considerada ideal tanto na fase de aumento do número de meses da colheita, quanto maior esse número melhor para a produtividade média, evitando desperdícios.
C7	Min	Esse critério é o que traz maior debate atualmente, sempre surge o famoso dilema Produção de Alimentos X Biocombustíveis. Sem entrar no mérito da questão o presente trabalho optou pela minimização deste critério.
C1 e C3	Max	A maximização se faz necessária para buscar o melhor aproveitamento do óleo encontrado e extraído.
C5 e C6	Min	A minimização se faz necessária para redução dos gastos devido às flutuações econômicas de mercado, principalmente quando se considera o uso de moedas estrangeiras nas operações de cultivo e compra de óleos.

Tabela 14: Critérios, otimização e pesos do cenário 1.

Critérios	Otimização	Pesos associados
C1	Max	3
C2	Max	1
C3	Max	6
C4	Max	7
C5	Min	9
C6	Min	10

Bilich e Silva não falam qual função de preferência utilizaram e nem quais critérios foram maximizados ou minimizados na escolha de seleção deles (axiomas de Roy). Considerando o cenário 1 (figura 1), essa informação se torna relevante na etapa de discussão das diferenças apresentadas e comparação de cenários.

Biodiesel	Cont. médio	Meses colheita	Rend. médio	Prod. média	Custos prod.	Preço
Unit	%	unit	t/ha	t/ha	US\$/t	US\$/t
Cluster/Group						
Preferences						
Min/Max	max	max	max	max	min	min
Weight	3.00	1.00	6.00	7.00	9.00	10.00
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	percentage	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics						
Minimum	17.00	3.00	0.40	1.00	\$ 85.00	\$ 450.00
Maximum	45.00	12.00	4.50	2.30	\$ 1,300.00	\$ 1,281.00
Average	35.20	4.80	1.41	1.94	\$ 608.20	\$ 796.80
Standard Dev.	11.55	3.60	1.55	0.49	\$ 417.23	\$ 313.25
Evaluations						
<input checked="" type="checkbox"/> Dendê	26.00	12.00	4.50	2.20	\$ 286.00	\$ 450.00
<input checked="" type="checkbox"/> Canola	44.00	3.00	0.70	2.30	\$ 650.00	\$ 653.00
<input checked="" type="checkbox"/> Mamona	44.00	3.00	0.75	1.00	\$ 720.00	\$ 1,040.00
<input checked="" type="checkbox"/> Amendoim	45.00	3.00	0.70	1.90	\$ 1,300.00	\$ 1,281.00
<input checked="" type="checkbox"/> Soja	17.00	3.00	0.40	2.30	\$ 85.00	\$ 560.00

Figura 1: Cenário 1 com as alternativas e critérios definidos. Fonte: Promethee Academic

Essa figura mostra a completa entrada de dados: definição das alternativas, escolhas de critérios e pesos, função de preferência, valores das alternativas em relação aos critérios, etc. A tabela 15 mostra a classificação gerada pelo PROMETHEE para o cenário 1.

Tabela 15: Classificação do cenário 1.

Classificação	Alternativas	Φ	$\Phi+$	$\Phi-$
1	Dendê	0.5556	0.7778	0.2222
2	Soja	0.2778	0.6042	0.3264
3	Canola	0.1181	0.4931	0.3750
4	Mamona	-0.3611	0.2986	0.6597
5	Amendoim	-0.5903	0.1736	0.7639

Serão utilizados dados mais abrangentes no cenário 2 (figura 2), principalmente em relação aos custos de produção e preço dos óleos retirados de <http://www.biomercado.com.br/>, <https://www.conab.gov.br/> e <https://www.embrapa.br/>. As alternativas estratégicas serão as mesmas consideradas no cenário 1 com a inclusão de babaçu e girassol. Os critérios utilizados, função de preferência (I) e grau de otimização serão os mesmos do cenário 1 com o acréscimo da demanda por área cultivada e pesos associados diferentes (tabela 17). As datas das cotações nos principais mercados: nacional (Brasil) e internacional (Argentina, EUA, Índia, Malásia e Rotterdam) dos preços dos óleos utilizados na tabela 16 referem-se ao período de 2016-2017.

Tabela 16: Alternativas e critérios do Cenário 2.

Espécie	Origem do óleo	Cont. de óleo [%]	Meses de colheita	Dem. área cult. [há]	Rend. em óleo [t/há]	Prod. Média [t/há]	Custos Produção [US\$/t]	de	Preço óleos [US\$/t]
Amendoim (<i>Arachis Hypogaea</i>)	Grão	45	3	1420	0,7	1,9	1100		1150
Babaçu (<i>Attalea speciosa M.</i>)	Amêndoa	66	12	8900	0,6	1,8	300		1363
Colza ou Canola (<i>Brassica napus</i>)	Grão	44	3	1430	0,7	2,3	420		717
Dendê (<i>Elaeis Guineensi N.</i>)	Amêndoa	24	12	200	4,5	2,2	254		474
Girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	Grão	43	3	1090	1,0	1,3	1431		1100
Mamona (<i>Ricinus communis</i>)	Grão	45	3	1400	0,75	1,0	573		1224
Soja (<i>Glycine max</i>)	Grão	17	3	2850	0,4	2,3	125		618

Fonte: Elaborada a partir de Cardoso et al (2012), Embrapa, Biomercado, Conab e Cadernos NAE.

Tabela 17: Critérios, otimização e pesos do cenário 2.

Critérios	Otimização	Pesos associados
C1	Max	7
C2	Max	5
C3	Max	7,5
C4	Max	8,5
C5	Min	10
C6	Min	10
C7	Min	8

	Cont. médio	Meses colheita	Rend. médio	Prod. média	Custos prod.	Preço	Dem. área cult.
Unit	%	unit	t/ha	t/ha	US\$/t	US\$/t	ha
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences							
Min/Max	max	max	max	max	min	min	min
Weight	7.00	5.00	7.50	8.50	10.00	10.00	8.00
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	percentage	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	17.00	3.00	0.40	1.00	\$ 125.00	\$ 474.00	200.00
Maximum	66.00	12.00	4.50	2.30	\$ 1,431.00	\$ 1,363.00	8900.00
Average	40.57	5.57	1.24	1.83	\$ 600.43	\$ 949.43	2470.00
Standard Dev.	14.80	4.07	1.34	0.47	\$ 448.65	\$ 316.05	2722.28
Evaluations							
<input checked="" type="checkbox"/> Dendê	24.00	12.00	4.50	2.20	\$ 254.00	\$ 474.00	200.00
<input checked="" type="checkbox"/> Canola	44.00	3.00	0.70	2.30	\$ 420.00	\$ 717.00	1430.00
<input checked="" type="checkbox"/> Mamona	45.00	3.00	0.75	1.00	\$ 573.00	\$ 1,224.00	1400.00
<input checked="" type="checkbox"/> Amendoim	45.00	3.00	0.70	1.90	\$ 1,100.00	\$ 1,150.00	1420.00
<input checked="" type="checkbox"/> Soja	17.00	3.00	0.40	2.30	\$ 125.00	\$ 618.00	2850.00
<input checked="" type="checkbox"/> Babaçu	66.00	12.00	0.60	1.80	\$ 300.00	\$ 1,363.00	8900.00
<input checked="" type="checkbox"/> Girassol	43.00	3.00	1.00	1.30	\$ 1,431.00	\$ 1,100.00	1090.00

Figura 2: Cenário 2 com as alternativas e critérios definidos. Fonte: Promethee Academic**Tabela 18:** Classificação do cenário 2.

Classificação	Alternativas	Φ	Φ^+	Φ^-
1	Dendê	0.6161	0.8006	0.1845
2	Canola	0.0863	0.4896	0.4033
3	Soja	0.0402	0.4777	0.4375
4	Girassol	-0.1667	0.3869	0.5536
5	Amendoim	-0.1682	0.3646	0.5327
6	Babaçu	-0.2024	0.3914	0.5938
7	Mamona	-0.2054	0.3571	0.5625

DISCUSSÃO

A comparação dos cenários será feita por meio de observações das classificações obtidas por cada cenário. O cenário considerado por Bilich e Silva em 2006 (tabela 19), apresentou algumas modificações em relação ao cenário 1 utilizado no presente trabalho.

Tabela 19: Classificação do cenário gerado por Bilich e Silva.

Classificação	Alternativas	Φ	$\Phi+$	$\Phi-$
1	Soja	0.50	0.72	0.22
2	Dendê	0.25	0.63	0.38
3	Canola	-0.12	0.38	0.49
4	Mamona	-0.17	0.40	0.56
5	Amendoim	-0.47	0.24	0.70

Fonte: Elaborada a partir de Bilich et al. (2006).

A figura 3 revela o caminho da preferência das alternativas depois de passar da etapa de classificação pelo programa PROMETHEE I (fluxos parciais). A distância entre as alternativas também mostra a diferença dos fluxos envolvidos na comparação.

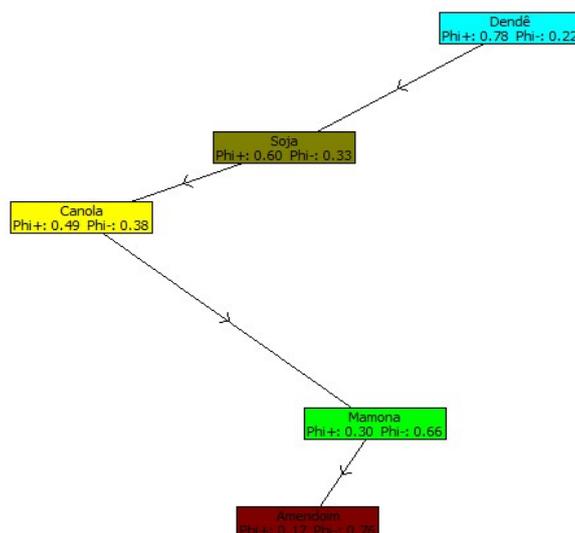


Figura 3: Rede de preferência do cenário 1. Fonte: Promethee Academic

Fazendo a comparação entre o ranking do cenário considerado por Bilich et al. (2006) da tabela 19 e o ranking do cenário 1 da tabela 15, observa-se que: soja e dendê trocaram de posições com as demais alternativas permanecendo nas mesmas, apresentando valores diferentes em seus fluxos líquidos. O porquê dessa diferença surge como questão a ser respondida.

Bilich e Silva utilizaram o software Decision Lab baseado na metodologia multicritério PROMETHEE, assim como o Visual PROMETHEE 1.4 - Academic Version. Apesar das diferenças estéticas (interface gráfica) de cada programa, ambos usam a mesma metodologia, em teoria para valores iguais de alternativas e critérios os resultados gerados deveriam ser os mesmos. Mas como já mencionado antes, Bilich e Silva não falam quais funções de preferências foram usadas em seus critérios e respectiva otimização dos mesmos (maximização ou minimização). Então as diferenças apresentadas nos rankings aconteceram devido a esses dois casos (funções de preferência e/ou otimização diferentes) mencionados acima. A figura 4 mostra a rede de preferência do cenário 2.

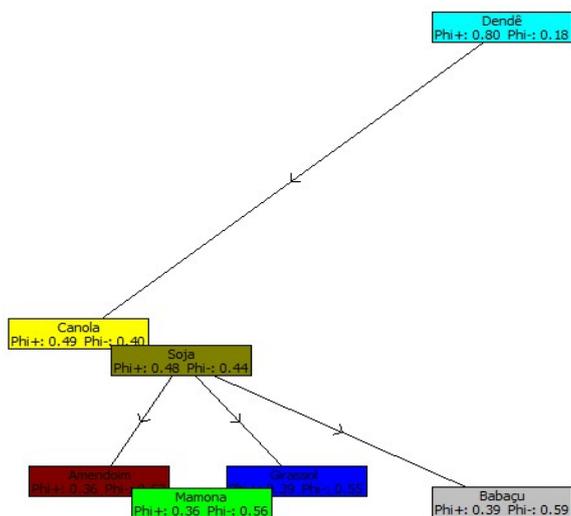


Figura 4: Rede de preferência do cenário 2. Fonte: Promethee Academic

A representação espacial das alternativas em relação aos critérios para integração dos resultados nos Planos Gaia mostra para onde está tendendo o Eixo de Decisão (em vermelho na figura abaixo). Ou seja, qual(is) critério(s) vão pesar/influenciar mais no processo de escolha das alternativas em relação aos critérios envolvidos na análise e conseqüentemente na classificação final dos resultados.

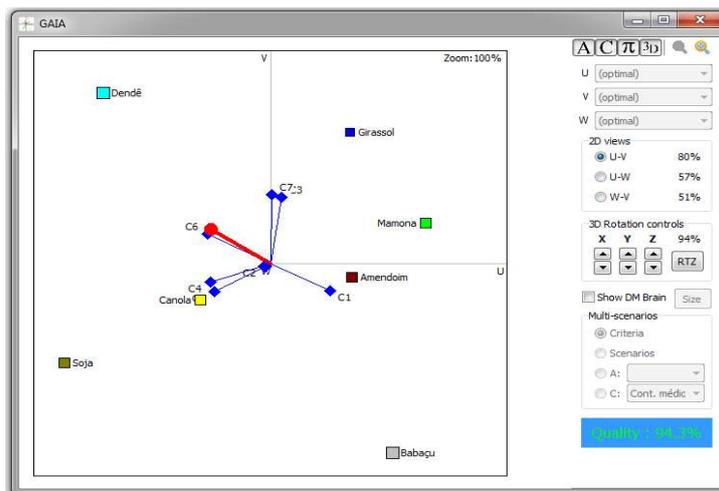


Figura 5: Visualização do Plano Gaia no cenário 2. Fonte: Promethee Academic

Comparando os rankings gerados nos cenários 1 e 2 (tabelas 15 e 18), tem-se as seguintes informações abaixo: Rede de preferência mais parelha no cenário 2 (fig. 4) e espaçada no cenário 1 (fig. 3); Mudança no rank (troca de posições entre soja e canola, amendoim se mantendo na quinta posição e mamona caindo para última posição); Girassol aparecendo na quarta posição e babaçu na sexta; Melhora das performances do dendê, mamona e amendoim com piora da canola e soja. Uma forma de ajudar a melhorar essa comparação é focar nos resultados obtidos através dos fluxos líquidos de sobreclassificação apresentados por cada cenário 1 e 2 (tabela 20).

Tabela 20: Fluxos obtidos nos cenários 1 e 2.

Alternativas	Φ	Classificação Geral
Dendê 2	0.6161	1
Dendê 1	0.5556	2

Soja 1	0.2778	3
Canola 1	0.1181	4
Canola 2	0.0863	5
Soja 2	0.0402	6
Girassol 2	-0.1667	7
Amendoim 2	-0.1682	8
Babaçu 2	-0.2024	9
Mamona 2	-0.2054	10
Mamona 1	-0.3611	11
Amendoim 1	-0.5903	12

O dendê do cenário 2 se saiu melhor na classificação final, mas em compensação tivemos três oleaginosas do cenário 1 na segunda, terceira e quarta colocação. Sendo elas respectivamente: dendê, soja e canola. Verifica-se pelo software PROMETHEE 1.4 que o método favorece um completo ranking de ações sempre baseado em um fluxo líquido de sobreclassificação, facilitando incluir preferências e indiferenças em uma pré-ordem completa entre as alternativas e critérios estabelecidos. Deste estudo direciona-se para a real competitividade do Brasil na produção de biodiesel, seu papel no fortalecimento da base agroindustrial brasileira e no incremento da matriz energética com sustentabilidade, impactando na geração de empregos e benefícios ambientais. É importante ainda salientar que o biodiesel independente da matéria prima e/ou rota tecnológica é introduzido no mercado brasileiro de combustíveis com especificação única atendendo os padrões de qualidade estabelecidos pela ANP. Padrões esses em conformidade com as normas internacionais de biocombustíveis.

A decisão final sempre vai caber ao decisor podendo englobar o uso de uma ou mais alternativas de acordo com as vantagens e desvantagens apresentadas no modelo de AMD do empreendimento em questão, buscando a melhor forma de otimização do processo geral como um todo. Desta forma, pode-se enfatizar que a abordagem multicritério é, por natureza, multidisciplinar priorizando a convergência de metas no processo de gestão.

CONCLUSÕES

Dentre as culturas de oleaginosas com potencial para a produção do biodiesel brasileiro consideradas nos cenários 1 e 2, dendê teve o melhor desempenho na classificação em ambos os cenários com base nos critérios investigados em cada um desses cenários. Para o cenário 1 a classificação final ficou assim: dendê; soja; canola; mamona; amendoim. Já no cenário 2 a classificação final foi: dendê; canola; soja; girassol; amendoim; babaçu; mamona.

O uso dos métodos multicritérios como importante ferramenta no auxílio da escolha de melhor oleaginosa para a produção do biodiesel visa resolver, sobretudo, à gestão de conflitos onde os resultados demonstrados permitem visualizar e analisar questões relevantes da sistemática de decisão e poderão auxiliar os tomadores de decisão no aprimoramento das suas atividades no setor agroindustrial.

Um dos fatores relevantes na metodologia multicritério, além da sua versatilidade em se adaptar aos diversos tipos de problemas com temas variados (econômicos, ambientais, sociais, etc), é a capacidade de fazer com que atores (decisores, analistas e especialistas) de diferentes áreas do conhecimento, conversem

entre si na resolução de um problema que pode ser ou não de natureza multidisciplinar, utilizando uma linguagem universal que vai passar a ser o método multicritério escolhido ou modelo multicritério. Essa representação será cada vez melhor se isso de fato acontecer, todos têm de ser respeitados na preparação do processo de decisão.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. J.; YOUNG, C. E. F.. Produção de biodiesel no Brasil, inclusão social e ganhos ambientais. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA DA ENERGIA, 4. **Anais**. Montevideu: Aladee, 2013.
- BARBA-ROMERO, S.; POMEROL, J. C.. **Decisiones Multicriterio**: Fundamentos Teóricos e Utilización Práctica. Alcalá: Colección de Economía, 1997.
- BILICH, F.; SILVA, R. DA S.. Análise multicriterio da produção de biodiesel. In: SIMPÓSIO DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13. **Anais**. Bauru: Unesp, 2006.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B.. **PROMÉTHÉE-GAIA**: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples. 1 ed. Bruxelles: Ellipses, 2002.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B.. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, Netherlands, v.24, n.2, p.228-238, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- BRASIL. **Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República n.2**. Brasília: NAE, 2005.
- BRASIL. **Lei n.11.097**: Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis ns. 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.
- BRASIL. **Lei n.13.263**: Altera a Lei n.13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Brasília: DOU, 2016.
- BRASIL. **Lei n.45**: Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Brasília: DOU, 2014.
- CARDOSO, B. F.; NASCIMENTO, J. S.; ARAÚJO, A. F. V. A.; RODRIGUES, W.; OLIVEIRA, T. J. A. O.. Análise Multicritério na seleção de oleaginosas na cadeia de produção de Biodiesel. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v.59, n.1, p.97-107, 2012.
- CASTRILLÓN, A. M. G.; RAMÍREZ, S. Q.. Propuesta metodológica para la evaluación del portafolio de proyectos: caso de estudio 'oleaginosas promisoras'. **I+D Revista de Investigaciones**, Colômbia, v.10, n.2, p.26-39, 2017.
- CHAVES, M. C. C.; GOMES, C. F. S.. Avaliação de biocombustíveis utilizando o apoio multicritério à decisão. **Production**, São Paulo, v.24, n.3, p.495-507, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000035>
- CLÍMACO, J.; VALLE, R.. Apoio Multicritério à Decisão e Desenvolvimento Sustentável. In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE PESQUISA OPERACIONAL, 16. **Anais**. Rio de Janeiro: FGV, 2012.
- CORRAL, S.; NUEZ, D. L. N.; LARA, D. R. M. L.. Integrated assessment of biofuel production in arid lands: Jatropha cultivation on the island of Fuerteventura. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, United Kingdom, v.52, n.1, p.41-53, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.070>
- DELAI, J. M.; SANTOS, R. F.; SANTOS, M. A.; ANZOATEGUI, R.; CARMO, E. R. C.. Biodiesel: uma análise da produção no Brasil. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.1, p.109-123, 2014.
- FERREIRA, M. O.; MOURA, K. H. L.; SALES, R. S. P.. Seleção de oleaginosas para produção de biodiesel no agreste pernambucano com a aplicação dos métodos multicritérios para a decisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30. **Anais**. São Carlos: UFSCar, 2010.
- FLAMENT, M.. **Glossário multicritério**. Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicritério. Madri: UNESCO, 1999.
- GARTNER, I. R.. **Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais**: evidências e propostas. 2 ed. Brasília: Universa, 2008.
- GOMES JÚNIOR, S. F.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.. Emprego de Métodos Ordinários Multicritério na análise do campeonato mundial de fórmula 1. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA. **Anais**. Rio de Janeiro: EGN, 2007.
- GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G.. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. **Production**, São Paulo, v.25, n.1, p.54-68, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000068>
- GOMES, C. F. S.; MAIA, A. C. C.. Ordenação de alternativas de biomassa utilizando o apoio multicritério à decisão. **Produção**, São Paulo, v.23, n.3, p.488-499, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000005>
- GOMES, E. G.. **Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C..

Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo: Thompson, 2004.

GUARDIOLA, J. F. H.; LOPES, R. F.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; SILVA, F. C. S.. Modelo de Análise Multicritério na Avaliação de diferentes cultivos na Produção de Biodiesel. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 49. **Anais.** Blumenau: FURB, 2017.

HARRIS, R.. Introduction to Decision Making. **VirtualSalt,** California, v.1, n.4, p.1-3, 2012.

HUANG, I. B. H.; KEISLER, J.; LINKOV, I.. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. **Science of The Total Environment,** Netherlands, v.409, n.19, p.3578-3594, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>

KEENEY, R.; RAIFFA, H.. **Decision with Multiple Objectives:** preferences and value tradeoffs. New York: John Wiley & Sons, 1976.

KHALIL, C. N.. As tecnologias de produção de biodiesel. **O futuro da indústria: biodiesel,** Brasília, v.14, n.1, p.83-90, 2006.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T.. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional,** Rio de Janeiro, v.26, n.3, p.567-584, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382006000300007>

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K.. Multi-criteria Decision Analysis: a strategic planning tool for water loss management. **Water Resources Manage,** Holanda, v.25, n.1, p.3947-3969, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9896-9>

NARAYANAN, D.; ZHANG, Y.; MANNAN, M. S.. Engineering for Sustainable Development (ESD) in Bio-Diesel Production. **Process Safety and Environmental Protection,** Texas, v.85, n.5, p.349-359, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1205/psep07016>

NEWLANDS, N. K.; SMITH, L. T.. Biodiesel from Oilseeds in the Canadian Prairies and Supply-Chain Models for Exploring Production Cost Scenarios: A Review. **ISRN Agronomy,** New York, v.2012, n.1, p.1-11, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5402/2012/980621>

NWOKOAGBARA, E.; OLALAYE, A. K.; WANG, M.. Biodiesel from Microalgae: The Use of Multi-Criteria Decision Analysis for Strain Selection. **Fuel,** England, v.159, n.1, p.241-249, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.074>

OLIVEIRA, F. C. C.; SANTOS, W. L. P.; SUAREZ, P. A.. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. **Química Nova na Escola,** São Paulo, v.28, n.1, p.3-8, 2008.

PRADO, E. A.; ZAN, R. A.; GOLFETTO, D. C.; SCHWADE, V. D.. Biodiesel: um tema para uma aprendizagem efetiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 34. **Anais.** Passo Fundo: UPF, 2006.

RABELO, R. S.; PLÁCIDO, G. R.; TININIS, A. G.; TININIS, C. R. C. S.. Estudo da viabilidade de oleaginosas do Cerrado goiano com vistas à produção de biodiesel por meio da metodologia multicritério. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS, 2. **Anais.** Recife: UFPE, 2009.

REN, J.; MANZARDO, A.; MAZZI, A.; FEDELE, A.; SCIPIONI, A.. Energy Analysis and Sustainability Efficiency Analysis of Different Crop-Based Biodiesel in Life Cycle Perspective. **The Scientific World Journal,** London, v.2013, n.1, p.1-12, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/918514>

ROY, B.. **Classement et choix en presence de points de vue multiples:** la methode ELECTRE. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1968.

ROY, B.; BOUYSSOU, D.. **Aid Multicritère à la decision.** Paris: Economica, 1993.

SAKTHIVEL, G.; ILANGKUMARAN, M.; GAIKWAD, A.. A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANP-TOPSIS analysis. **Ain Shams Engineering Journal,** Egypt, v.6, n.1, p.239-256, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.08.003>

SCOTT, J. A.; HO, W.; DEY, P. K.. A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. **Energy,** United Kingdom, v.42, n.1, p.146-156, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.074>

SILVA, V. B. DE S.; SCHRAMM, F.; CARVALHO, H. R. C. DE C.. O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa-formação do Pronatec. **Production,** São Paulo, v.24, n.3, p.548-558, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000048>

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; LETA, F. R.; PESSOLANI, R. V. B.. Conceitos básicos do Apoio Multicritério à Decisão e sua aplicação no projeto Aerodesign. **Engvista,** Niterói, v.5, n.8, p.22-35, 2003.

TSOUKIÁS, A.. From decision theory to decision aiding methodology. **European Journal of Operational Research,** Europa, v.187, n.1, p.138-161, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.02.039>

VILAS BOAS, C. L.. **Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios:** estudo da barragem do Ribeirão João Leite. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenera Publishing,** da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.