AVALIAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS UTILIZANDO O APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

Maria Cecília de Carvalho Chaves
Puc-Rj mariaceci@hotmail.com

Carlos Francisco Simões Gomes
Ibmec-RJ Carlos.francisco@pq.cnpq.br; cgomes@ibmecrj.br

Eliane Ribeiro Pereira
UFRJ-Rj egr1@globo.com

RESUMO

Há algumas décadas que o mundo tem buscado um desenvolvimento sustentável, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável. A preocupação com diversas questões ambientais não se limita à preservação do planeta. O objetivo deste trabalho é expor a relevância dos biocombustíveis na matriz energética mundial, apresentando as principais biomassas disponíveis atualmente, suas características, qualidades e defeitos com a finalidade de selecionar o biocombustível mais adequado ao contexto nacional. Este bicombustível deve se apresentar como uma alternativa viável e menos agressiva ao meio ambiente que o petróleo. Para comparar as alternativas será utilizada a Metodologia MACBETH devido a multiplicidade de critérios e juízos de valores envolvidos no processo decisório.

Palavras chaves: MACBETH, bicombustível, sustentabilidade.

ABSTRACT

For some decades the world has sought a sustainable and environmentally friendly, socially just and economically viable. The concern about various environmental issues is not limited to preserving the planet. The objective of this paper is to present the importance of biofuels in world energy matrix, showing the main biomass currently available, its characteristics, qualities and defects in order to select the most suitable for biofuel Brazilian context. This fuel should be presented as a viable alternative and aggressive to the environment than oil. To compare the alternatives will be used MACBETH methodology due to multiple criteria and value judgments involved in decision making.

Keywords: MACBETH, biofuel, sustainability.

1. Introdução

Estudos apontam para a necessidade de adoção imediata de medidas mitigadoras ou de reversão dos danos já causados ao meio-ambiente, sob pena de impossibilitarmos a existência de vida em nosso planeta em poucas décadas (Portal do Biodiesel, 2009).

De acordo com a atual importância dos biocombustíveis para a redução da emissão de gases e introdução de novas fontes de energia renováveis na matriz energética mundial, o presente trabalho objetiva analisar os combustíveis biomassa.

O objetivo deste trabalho é expor a importância dos biocombustíveis na matriz energética mundial. Devido à necessidade de se considerar diversos pontos de vista conflitantes, tais como custos de produção, desenvolvimento de novas tecnologias e impactos ambientais e sociais, que dificultam a escolha do biocombustível, será utilizado o método MACBETH de Apoio Multicritério à Decisão, por permitir uma análise mais completa dos critérios quantitativos e principalmente qualitativos de cada combustível avaliado.

Diante da multiplicidade de critérios, foi necessário identificar um método para decidir qual o biocombustível mais adequado de acordo com os juízos de valor estabelecidos pelo decisor.

A abordagem MACBETH foi definida como o método mais apropriado para a análise do problema devido ao seu caráter compensatório, seu tipo de problemática e suas vantagens em relação ao julgamento de inconsistência e por isso aplicado para identificação do biocombustível de acordo com seus resultados em relação aos critérios inicialmente estabelecidos.

2. A questão da sustentabilidade energética: biocombustível

Com a diminuição nos últimos anos da descoberta de novas reservas de petróleo e o ritmo mais elevado de consumo, especialistas afirmam que num futuro próximo teremos consumido metade de todo óleo do planeta. Apesar dos avanços tecnológicos, as novas jazidas encontradas são de petróleo com um custo de produção mais elevado, que exigem um grande volume de recursos na prospecção, como a produção em águas profundas e ultra-profundas e óleos pesados ou extra-pesados.

Apesar dos hidrocarbonetos nas próximas décadas continuarem a ser a principal fonte energética, em razão dos pontos acima descritos, o desenvolvimento de pesquisas de outras fontes de energia é fundamental e nesse contexto a estratégia brasileira foi buscar experiências na área de biocombustíveis.

Biocombustível é a denominação genérica dada aos combustíveis derivados de biomassa, como cana-de-açúcar, oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Os mais conhecidos e utilizados são o etanol (álcool) e o biodiesel, que podem ser aproveitados puros ou em adição ao combustível convencional. Comparados aos combustíveis fósseis, como o diesel e a gasolina, por serem biodegradáveis, os biocombustíveis são mais limpos, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e causando menor impacto à natureza (Sauer, 2007).

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo, como mostra a figura 1, ocupando posição de destaque quanto à participação de fontes renováveis (hidroeletricidade, biomassa, etc). De toda a energia consumida no Brasil, 44,4% provém de fontes renováveis, ao passo que a participação dessas fontes na matriz energética mundial é aproximadamente de 13%. Entretanto, como mostrado na Figura 1, as fontes não-renováveis ainda são predominantes, correspondendo a 55,6%, dos quais 38,8% provêm do petróleo e derivados, 9,5% do gás natural, 5,8% do carvão mineral e 1,5% da energia nuclear (Rodrigues e Accarini, 2007).

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEM-2007)

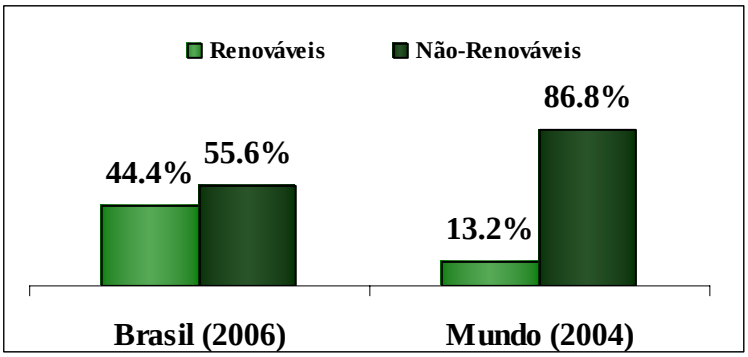

Figura 1: Participação de Fontes Renováveis e Não-Renováveis na Matriz Energética

Existe a necessidade de diminuição na emissão de gases poluentes, principalmente pelas diversas mudanças climáticas em razão do efeito estufa, provocado pelo consumo desenfreado de combustíveis altamente poluentes.

Em 1997, os países industrializados e outros integrantes das Nações Unidas, firmaram o Protocolo de Kyoto (GREEN PEACE, 2009), um tratado internacional, que cria diretrizes gerais para amenizar os problemas ambientais dos impactos ecológicos dos modelos de desenvolvimento industrial e de consumo vigentes, tendo como principal diretriz a redução das emissões de gás carbônico em 5,2% em relação aos níveis de emissões de 1990 pelos países desenvolvidos até 2012.

De acordo com a Figura 2, existem diversas formas de obtenção de energias renováveis, como *(i)* a partir de biomassa vegetal ou animal; *(ii)* aproveitamento direto da energia solar e geotérmica; ou *(iii)* conversão de energia a partir do vento, de marés, correntezas, etc. Ainda como mostra a Figura 1, a biomassa pode ser obtida através de três formas distintas: *(i)* biomassa intensiva em amido, carboidratos, celulose ou lipídios para obtenção de biocombustíveis; *(ii)* biomassa vegetal para obtenção de palha, lenha, carvão, chips ou briquetes; e *(iii)* resíduos florestais, agrícolas ou industriais para queima direta ou obtenção de biogás. O presente trabalho irá abordar apenas uma delas, a biomassa para produção dos biocombustíveis.

Fonte: www.biodieselbr.com

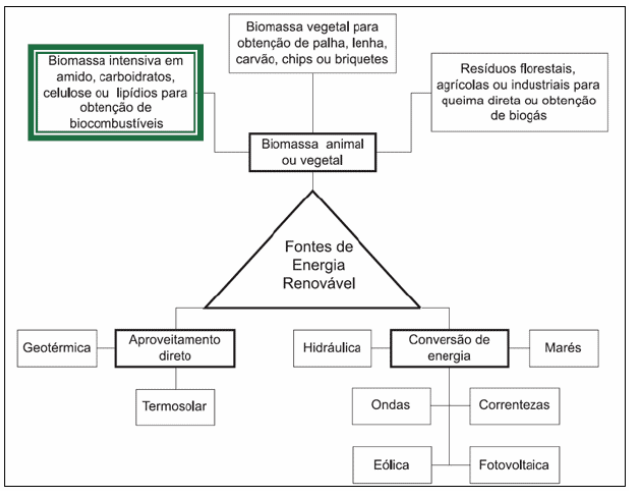

Figura 2: energias renováveis

2.1 Biodiesel

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais que reagem quimicamente com o álcool ou o metanol.

Ele pode ser produzido a partir de diferentes espécies oleaginosas entre elas mamona, dendê, girassol, babaçu, soja e algodão, além da cana-de-açúcar, de biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica; e de origem animal, que podem ser obtidas do sebo bovino, suíno e de aves.

Esse combustível pode ser utilizado isoladamente ou adicionado a outros combustíveis convencionais. Além de substituir o diesel de petróleo em motores de caminhões, tratores, automóveis, também pode ser empregado na geração de energia e calor (Simões, 2007).

Segundo a Cartilha do Biodiesel disponibilizada pelo SEBRAE (SEBRAE, 2009), este biocombustível reduz de forma drástica a emissão de gases poluentes, contribuindo com benefícios imediatos principalmente nos grandes centros urbanos. Estudos científicos realizados pela União Européia indicam que o uso de 1 kg de biodiesel colabora para a redução de 3 kg de CO2, um dos gases que provocam o efeito estufa.

Os investimentos em projetos destinados ao desenvolvimento do biodiesel no Brasil ganharam força no final dos anos 90, mas ficaram restritos às áreas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), em especial aos projetos desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Em Dezembro de 2003, o Governo Brasileiro constituiu a Comissão Executiva Interministerial (CEI) e o Grupo Gestor (GG) para implantação das ações para produção e uso do biodiesel. Com base nos estudos e relatórios da CEI e do GG foi lançado em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), vinculado a programas de melhoria do nível de vida de populações de baixa renda, com desenvolvimento de áreas carentes (regiões Norte e Nordeste) e geração de empregos.

Para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva, a remuneração do agricultor é fundamental nos custos de produção de biodiesel, que é constituído principalmente pelos insumos (80%), representado pelas oleaginosas. Os incentivos tributários estabelecidos pelo Governo Federal, que em áreas mais carentes pode chegar a 100% de isenção fiscal dos tributos federais, restando apenas o imposto sobre a circulação de mercadorias e serviços, o ICMS, promove ainda a inclusão social, o desenvolvimento econômico e o equilíbrio ambiental (Sauer, 2007).

Em 2005 foi sancionada a Lei nº 11.097/2005, que fixou em 5% o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado e dá prazo de oito anos para que esse percentual seja atingido. Desde 2008 o diesel vendido no País possui, no mínimo, 2% de biodiesel. Entretanto, em março de 2008 foi estabelecida uma nova regra pela Resolução nº 2 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 2% para 3% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel.

Em razão da variedade de matérias-primas e as diferentes tecnologias utilizadas, a cadeia produtiva do biodiesel é mais diversificada que a do álcool, permitindo a integração do mercado de óleos vegetais com o de diesel (Sauer, 2007).

2.2 Bioetanol

No setor de biocombustíveis, o Brasil é o país com maior experiência mundial em razão de seu programa de etanol, implantado em cadeia nacional e com mais de 30 anos de experiência, impulsionado pelo Governo Federal, pela Petrobras e pela indústria sucroalcooleira.

O Proálcool introduziu no mercado a mistura gasolina-álcool (álcool anidro), que varia de 20% a 25% de acordo com a legislação federal; e incentivou o desenvolvimento de veículos movidos exclusivamente a álcool (álcool hidratado) e os carros *flex-fuel*, transformando o Brasil em um dos maiores produtores, consumidores e exportadores de etanol do mundo.

O setor de produção de biocombustíveis no Brasil tem se desenvolvido dentro dos parâmetros adequados em relação à sustentabilidade ambiental, sendo possível, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), incorporar mais de 100 milhões de hectares aos 62 milhões hoje ocupados pela agricultura, sem necessidade de desmatamento de florestas virgens para atender eventual aumento de demanda por etanol.

Com os investimentos em pesquisas, o aprimoramento das técnicas empregadas e os sucessivos ganhos de produtividade na cadeia produtiva do etanol, as áreas utilizadas para produzir a mesma quantidade de cana-de-açúcar tem sido cada vez menores, evitando a

necessidade de incorporação de novas áreas de plantio. Esta menor extensão de terra para a mesma produção, a biomassa produzida por unidade de área e o ciclo de vida da produção da cana-de-açúcar, tornam o álcool da cana-de-açúcar muito superior a qualquer outro tipo de biocombustível produzido em larga escala.

O balanço energético verificado na produção do álcool a partir da cana-de-açúcar é excelente, pois a relação entre a energia produzida e a energia de origem fóssil utilizado como insumo na cadeia de produção do etanol é de 8,3, que significa que, para cada unidade de energia empregada no processo produtivo do etanol, mais de oito unidades de energia são produzidas.

Nos E.U.A o balanço energético feito pelo *American Institute of Biological Sciences* é de 1,1 obtido na produção de álcool a partir do milho.

As novas tecnologias também têm permitido o aproveitamento mais eficiente da planta, como a hidrólise do bagaço e da palha da cana, com uma produtividade cada vez maior. Já existe o entendimento científico mundial de que o uso do etanol combustível acarreta redução considerável de diversos poluentes e gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO_2).

A utilização do etanol em substituição os aditivos a base de metais pesados (como o chumbo e o manganês) e o MTBE (éter metil terbutílico); ausência de enxofre; emissão desprezível de partículas, e redução de emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, são outras vantagens ambientais da utilização de etanol combustível.

2.3 Biodiesel de Algas

Com a crescente demanda pelo biodiesel, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para identificar matérias-primas alternativas aos óleos vegetais de plantas superiores e de gorduras animais. Neste sentido novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para a produção de biodiesel a partir de algas e plânctons que podem ser utilizados como biomassa (Catilhos, 2008).

As algas são organismos fotossintéticos que usam a energia do sol para converter água e CO2 em biomassa. Elas utilizam também o ambiente aquático para se desenvolverem, não sendo necessária a produção a partir de plantas cultivadas na terra (Revista BiodieselBR, 2009). Assim, evita o conflito existente entre as plantações destinadas à alimentação e aquelas destinadas à produção de biocombustíveis.

As algas são grandes filtros naturais de carbono, pois segundo os pesquisadores, elas são responsáveis por 54% do oxigênio da terra, é um forte motivador para o desenvolvimento do projeto, pois seria uma resposta ao combate dos gases do efeito estufa, além de fonte de biodiesel e etanol. O grande desafio é descobrir a espécie mais adequada para a produção do combustível, pois existem mais de 300 mil espécies na natureza e 30 mil catalogadas (Escandiuzzi, 2008).

Pelo processo realizado no laboratório da UFSC, as microalgas são coletadas, isoladas e identificadas, depois levadas para tanques de cultivo, para reprodução. As espécies que se reproduzem com maior velocidade e que possuem maior quantidade de óleo são consideradas as melhores para produção do biodiesel. Após quatro dias, as algas isoladas são levadas para secagem e embaladas para evitar o contato com a luz e o oxigênio do ar. Na última etapa, as microalgas secas são colocadas em reator para extração do óleo que será utilizado na fabricação do combustível por meio de reações químicas (Escandiuzzi, 2008).

As principais vantagens (Revista BiodieselBR, 2009) de utilização desta matéria prima na produção de biocombustíveis em larga escala são :

- O teor de óleo de certas variedades de algas pode chegar a 50% de seu peso seco;
- Um hectare de alga pode produzir 95 mil litros de óleo por ano;
- Regiões desérticas são preferidas para o cultivo da alga por terem altos índices de insolação;
- Até 90% do peso da alga é proveniente do consumo de CO_2;
- As algas se desenvolvem mais rapidamente quando cultivadas em regiões com alto índice de CO_2, como as proximidades de fábricas.

O grande problema para a utilização de algas como biodiesel é o elevado custo de produção da matéria-prima e a forma de cultivo das algas.

2.4 H-BIO

Diante da necessidade mundial de definição de limites de emissão de poluentes para as tecnologias automotivas, pesquisadores têm buscado alternativas para a produção de combustíveis menos poluentes, economicamente viáveis e de origem renovável.

No Brasil, o CENPES - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras - desenvolveu a tecnologia H-BIO, um projeto inovador da carteira do PROTER (Programa de Tecnologias Estratégicas de Refino) para inserir o processamento de matéria-prima renovável no esquema de refino de petróleo e permitir a utilização das instalações já existentes.

O H-BIO é um processo para produção de óleo diesel que utiliza fontes renováveis na sua composição, porém com características físico-químicas finais semelhantes às do óleo diesel mineral. Entretanto, não deve ser confundido com o Biodiesel, pois este é o próprio produto, enquanto o H-BIO é um processo para produção de óleo diesel (Pamplona, 2007).

O óleo vegetal ou animal é misturado com frações de diesel de petróleo para ser hidroconvertido em Unidades de Hidrotratamento, que são empregadas nas refinarias, principalmente para a redução do teor de enxofre e melhoria da qualidade do óleo diesel, ajustando as características do combustível às especificações da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

Apesar de não ser capaz de reduzir as emissões dos veículos a diesel, o H-BIO é renovável e tem ciclo fechado de emissões de gases de efeito estufa, produzindo menos óxidos de enxofre, responsável pelas chuvas ácidas.

A produção de H-BIO apresenta diversas vantagens (Pamplona, 2007), uma vez que permite o uso de óleos vegetais de diversas origens, não geram resíduos a serem descartados, incrementa a qualidade do óleo diesel, complementa o programa de utilização de biomassa na matriz energética, otimiza a utilização das frações de óleo nas refinarias, dentre outras.

No desenvolvimento desta tecnologia foram testados, em planta piloto, diferentes óleos vegetais tais como soja e mamona, em diferentes condições de operação, que evidenciaram as vantagens do processo onde se destaca o alto rendimento em diesel sem a geração de resíduos e uma pequena produção de propano. Diante disso, a área de Refino do Abastecimento está realizando testes industriais, que demonstram a adequação e a flexibilidade da tecnologia.

A alta do preço do óleo de soja levou a Petrobras a suspender a produção do H-BIO em Agosto de 2007 (Petrobrás, 2009), uma vez que o preço de venda no cenário econômico atual seria o mesmo do preço do diesel derivado do petróleo, o que não seria interessante no momento (Filho, 2007).

3. Apoio Multicritério à Decisão

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, quando da presença de uma multiplicidade de critérios (Gomes, Gomes e Almeida, 2009).

Os métodos de ADM podem ser classificados conforme diferentes perspectivas. Muitos autores os classificam segundo a teoria principal em que se fundamentam. Nessa linha, destacam-se duas grandes escolas de pensamento: a Escola Americana e a Escola Francesa. Existem ainda os métodos interativos, alternativos e híbridos (Chaves *et al*., 2010).

Segundo Olson (2001), os estudos comparativos entre as diversas modalidades de ADM demonstram que não existe nenhuma metodologia que se destaca das outras em todos os contextos de decisão envolvendo múltiplos critérios. Cabe ao analista determinar qual o melhor método a ser aplicado de acordo com as características da decisão que deve ser tomada.

O processo de apoio à decisão compreende três fases: *(i)* estruturação; *(ii)* avaliação e *(iii)* recomendação (Bana e Costa *et al*., 2002), embora o processo em si seja iterativo. De acordo com Gomes, Gonzalez-Araya, Carignano, (2004), essas fases podem apresentar uma sequência de etapas descritas a seguir.

A fase de estruturação corresponde a cerca de 80% do total do problema (Bana e Costa *et al*., 2000). Esta fase compreende a identificação dos agentes e seus objetivos, a definição das alternativas e critérios relevantes para o problema de decisão.

As etapas de avaliação das alternativas em relação aos critérios; a determinação da importância relativa dos critérios; a realização da avaliação global de cada alternativa (Gomes; Gonzalez-Araya; Carignano, 2004), correspondem à segunda fase, a de avaliação.

É nesta fase onde é selecionado o método multicritério a ser utilizado como apoio a decisão no problema. Esta escolha depende de vários fatores tais como: as características do problema, o contexto, a estrutura de preferência do decisor, e o tipo de problemática (Almeida & Costa, 2003).

A terceira e última fase, composta das etapas de análise de sensibilidade, recomendações e implementação, é a fase de recomendação.

4. Estruturação do Problema

4.1 Identificação dos atores

A fim de escolher o biocombustível mais adequado para o cenário brasileiro, o decisor deste trabalho será fictício. O perfil do mesmo foi definido de acordo com seus ideais, pois é um individuo que busca o biocombustível menos agressivo ao meio ambiente, porém de fácil aquisição pela população. Caso contrário, as pessoas iriam continuar utilizando os combustíveis poluentes, já que a consciência de que é preciso tornar o mundo mais limpo, ainda não é um pensamento de todos.

Embora pareça uma trivialidade, a alternativa selecionada dependerá, em última instância, da informação introduzida pelo decisor no processo. Essa informação, em forma de juízo de valor, é fundamentalmente subjetiva e obedece à estrutura interna de preferências do decisor (Gomes *et al*.,2004).

4.2 Definição das alternativas

Foi realizado um estudo sobre as fontes de energia obtidas a partir da biomassa, dentre as quais foram considerados somente os biocombustíveis por serem, atualmente, o principal foco de estudos e investimentos para descobrir novos meios de produção de energia e novas tecnologias para fabricação e utilização em massa. Como exposto anteriormente no item 2, as alternativas selecionadas, por possuírem fins homogêneos, foram: biodiesel, bioetanol, biodiesel de algas e H-BIO.

4.3 Critérios de avaliação

Os Métodos de apoio multicritério a decisão tem como princípio buscar o estabelecimento de uma relação de preferências (subjetivas) entre as alternativas que estão sendo avaliadas sob a influência de vários critérios, no processo de decisão (Gomes, Gomes, & Almeida, 2009; Almeida & Costa, 2003).

Para eleger uma alternativa, o decisor possui vários parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas. Quando se acrescenta a esses atributos uma informação referente às preferências do decisor, de forma a proporcionar um conjunto de regras pelo qual é possível afirmar algo sobre as preferências entre um par de alternativas qualquer em relação ao atributo em questão, diz-se que esse conjunto de regras representa um critério de decisão. Em resumo, um critério é uma função que reflete as preferências do decisor quanto a um atributo (Gomes; Gonzalez-Araya; Carignano, 2004).

Para o estudo deste problema os critérios identificados foram agrupados em duas categorias: aqueles de valores qualitativos e aqueles de valores quantitativos.

4.3.1 Critérios Qualitativos

a) Aspectos econômicos

Os aspectos econômicos da produção de biocombustíveis acabam por incidir sobre a população, que são os principais consumidores. Devido à escolha das alternativas, que inclui biocombustíveis que estão iniciando a produção em larga escala, não foi possível mensurar o custo exato de cada alternativa. Sendo assim, o aspecto econômico será analisado de forma qualitativa.

Critério 1: Custo da tecnologia desenvolvida para a produção

O custo tecnológico para fabricação do biocombustível é um critério que tem por finalidade avaliar o quanto a tecnologia já está desenvolvida para produção em larga escala.;

também análisa o risco envolvido em tecnologias recentes, que por serem novas, não possuem dados concretos. Considera-se que, quanto mais barata e acessível, mais propício para produção.

b) Aspectos ambientais

Desde a obtenção da matéria-prima até a utilização dos biocombustíveis são realizados diversos estudos sobre o impacto ambiental gerado. No cultivo das plantas ou algas, durante o processo de produção e na geração de energia a partir do biocombustível, a alteração no meio ambiente é inevitável, mas deve-se minimizar este impacto de acordo com o possível.

Critério 2: Emissão de gases poluentes devido à queima na combustão no motor

A queima de combustíveis gera emissão de gases poluentes e esse é um dos principais motivos do investimento em novas fontes renováveis de energia. Levando em consideração a emissão de dióxido de carbônico (CO2), dióxido de enxofre (SO2), entre outros, o objetivo, neste caso, é reduzir ao máximo a emissão desses gases, causando menor impacto ao meio ambiente.

c) Aspectos sociais

O impacto social para a população é de modo geral positivo. Neste contexto, foi considerado este critério com a finalidade de abordar fatores sociais que incidem sobre a população das áreas suscetíveis a produção dos biocombustíveis.

Critério 3: Geração de postos de emprego

Este critério analisa o desenvolvimento de programas de incentivo tanto ao cultivo de matérias-primas, quanto à produção de biocombustíveis, gerando empregos para a população e, desta forma, promovendo a inclusão social. Quanto mais incentivado o trabalho nesta área, maior a oportunidade de emprego.

4.3.2 Critérios Quantitativos

a) Aspectos técnicos

A análise técnica tem como finalidade analisar as características existentes relacionadas às matérias-primas para a produção dos biocombustíveis.

Critério 4: Produtividade da matéria-prima

Foi analisada a característica das matérias-primas utilizadas para a obtenção de cada alternativa, considerando sua produtividade, ou seja, a quantidade de óleo em litros por hectare. Este critério tem como fim favorecer a planta com a maior produtividade.

4.4 Método Macbeth

MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), de Bana e Costa & Vansnick (1994) é uma metodologia de apoio à tomada de decisão, que permite avaliar opções tendo em conta múltiplos critérios. A distinção fundamental entre este e outros métodos de Análise de Decisão com múltiplos critérios é que MACBETH requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade entre elementos, para gerar pontuações para as opções em cada critério e ponderar os critérios (Bana e Costa & Chagas, 2004).

Para a definição de diferença de atratividade entre as alternativas, o software utiliza uma escala semântica composta de sete categorias: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema (Bana e Costa *et al.*, 2005).

Para realização deste trabalho será utilizado o sistema de apoio à decisão M-MACBETH (Bana e Costa *et al.*, 2005) que implementa a metodologia MACBETH. A escolha desse método ocorreu devido a dois fatores principais: *(i)* é capaz de transformar julgamentos qualitativos em quantitativos e *(ii)* verifica automaticamente a consistência dos julgamentos oferecendo sugestões para resolver eventuais inconsistências.

5. Aplicação do método MACBETH na seleção de biocombustíveis

Conforme exposto no item 4, optou-se pela utilização da abordagem MACBETH por acreditar que o *software* (M-MACBETH) possui as qualidades e facilidades adequadas para o problema em questão.

As etapas do processo MACBETH, que serão adotadas no item 5 deste trabalho, e estão detalhadas na figura 3

A etapa inicial de aplicação do método MACBETH consistiu em montar a árvore de critérios para a escolha de um biocombustível, representada na Figura 4.

Fonte: Bana e Costa, De Corte, & Vansnick (2005)

Figura 3: Etapas do processo MACBETH

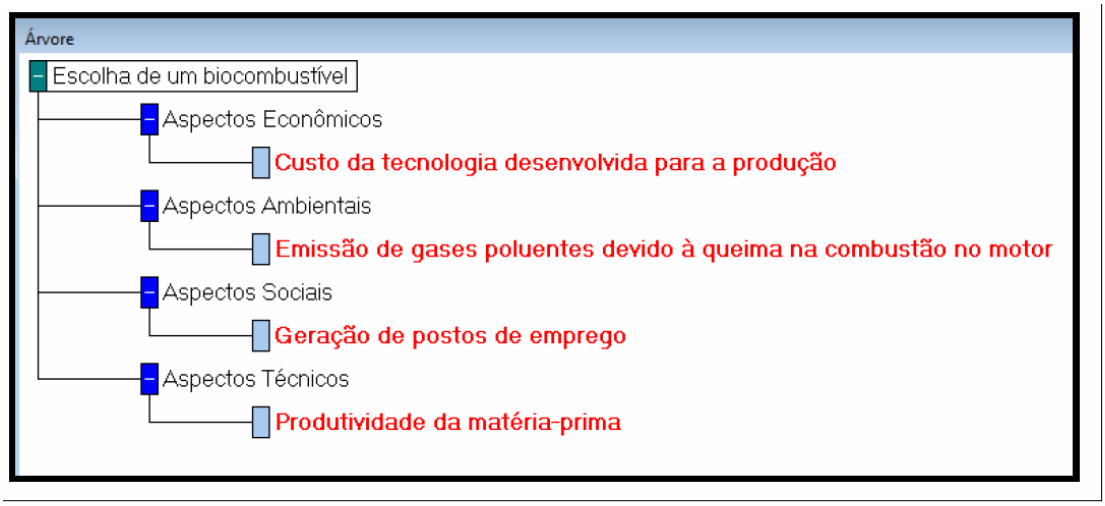

Figura 4: Árvore de aspectos de avaliação dos biocombustíveis

Para os critérios qualitativos, foi escolhida a base de comparação direta “as opções”, que indica ao *software* que se quer comparar diretamente as alternativas entre si, para avaliar a sua atratividade relativa. Para o critério quantitativo, foi selecionada a base de comparação indireta “níveis quantitativos de performance”, que indica ao *software* que se pretende avaliar indiretamente a atratividade das alternativas no critério, usando uma função de valor para converter as performances das opções em pontuações.

AS Figura 5 e 6 mostram a matriz de julgamentos efetuados pelos analistas para o critério “Custo da tecnologia” e a respectiva função de valor determinada pelo *software* M-MACBETH para o mesmo critério, e as ponderações dos critérios.

A aplicação do modelo para os biocombustíveis teve como resultado as pontuações relacionadas da Figura 7. Pode-se observar que nenhuma alternativa obteve pontuação global igual a 100, o que significa que não há um biocombustível que seja excelente quando considerados diversos critérios. Porém, a maior pontuação global (84,10) é a do Bioetanol, já que este é um biocombustível utilizado há mais tempo no país e recebe forte incentivo do Governo desde a década de 70, possuindo tecnologia mais desenvolvida.

Foram realizadas análises de sensibilidade em cada critério, com o intuito de perceber a resistência dos valores das alternativas a possíveis mudanças nas preferências do decisor. A análise mostrou que o critério “Produtividade”, caso tenha os conficinetes de ponderação alterados, para pelo menos o dobro, acarretaria alteração nas recomendações do M-MACBETH. Este critério foi escolhido para esta análise, pois foi o que provocaria maior alteração na

recomendação do modelo se houvesse mudanças nas preferências do tomador de decisão. Outras análises poderiam ser agregadas ao escopo do trabalho, porém em função deste possuir um decisor fictício, não há a devida interação do decisor como existiria para um decisor real.

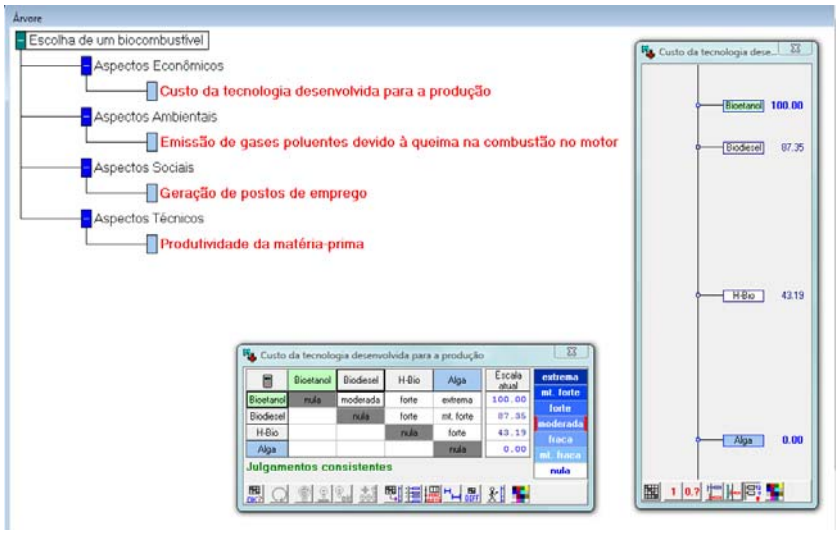

Figura 5: Aplicação do MACBETH para construir a função de valor do critério "Custo da tecnologia"

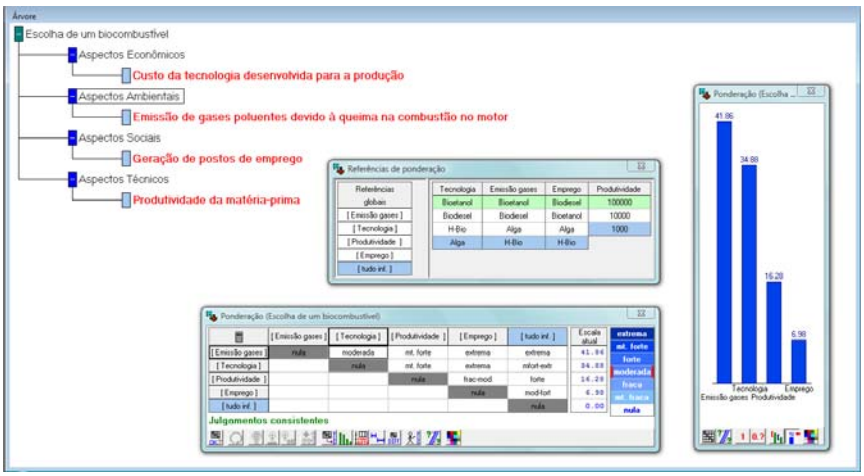

Figura 6: Ponderação dos critérios

Tabela de pontuações

Opções	Global	Tecnologia	Emissão gases	Emprego	Produtividade
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Bioetanol	84.10	100.00	100.00	90.27	6.52
Biodiesel	75.42	87.35	90.27	100.00	1.12
Alga	50.93	0.00	80.35	26.26	95.01
H-Bio	15.25	43.19	0.00	0.00	1.12
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.3488	0.4186	0.0698	0.1628

Figura 7: Pontuações dos bicombustíveis

6. Conclusões

No mundo, um dos principais meios de emissão de gases é o setor de transporte, responsável por mais da metade do consumo mundial de petróleo. Ainda, as reservas dos combustíveis fósseis encontram-se cada vez menores. Frente a esses problemas faz-se necessário pesquisar e investir em biocombustíveis, que são fontes de energia renováveis e menos prejudiciais ao já comprometido meio ambiente. Dentre eles foram escolhidos o biodiesel, o bioetanol, o biodiesel de algas e o H-Bio, já que possuem o mesmo fim: o transporte.

Estes quatro biocombustíveis têm características distintas, tornando difícil a escolha de um em relação a outro. Assim, este problema pode ser caracterizado como multicritério, já que possui diversos pontos de vistas conflitantes, necessitando no processo de tomada de decisão o auxílio de uma ferramenta de apoio multicritério à decisão.

Algumas considerações podem ser feitas sobre esta ferramenta. Inicialmente, por ter sido utilizado um decisor fictício não foi possível explorar todo o potencial da ferramenta. Desse modo, no futuro este trabalho poderá ser realizado com a participação de um decisor real, possibilitando uma análise mais profunda dos critérios adotados. Além disso, poderá ser aplicado o mesmo problema a outros métodos de apoio multicritério à decisão, como, por exemplo, o VIP *Analysis* (Dias & Clímaco, 2000), que é uma ferramenta reconhecidamente flexível, deixando o decisor mais livre nesse processo de tomada de decisão. Após a aplicação da metodologia, concluiu-se que o bioetanol é o biocombustível mais adequado de acordo com os juízos de valor estabelecidos pelo decisor fictício em relação aos critérios adotados. Como visto, o bioetanol se destacou na pouca emissão de gases, no bom desenvolvimento tecnológico já atingido e na geração de postos de emprego, não tendo desempenho tão apreciável quanto à produtividade.

De acordo com Gomes, Gomes e Almeida (2009), deve-se notar, também, que a abordagem do problema de decisão, sob o enfoque do apoio multicritério à decisão, não visa apresentar ao decisor uma solução para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada, mas sim apoiar o processo decisório, por meio da recomendação de ações a quem vai tomar a decisão. Assim, a escolha do bioetanol como melhor biocombustível não faz com que seja ignorada ou desprezada a necessidade que possa existir de investimento em mais de uma linha de produção. Desse modo, o biodiesel, considerado o segundo melhor biocombustível, também deve receber investimentos a fim de obter um melhor desenvolvimento.

Referências Bibliográficas

1] ALMEIDA, A. T. & COSTA, A. P. C. S. (2003). *Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão.* Universitária UFPE, Recife.

2] BANA E COSTA, C. A. & CHAGAS, M. P. (2004). *A career choice problem: an example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments.* European Journal of Operational Research, v.153, n.2, p.323- 331.

3] BANA e COSTA, C. A. & VANSNICK, J. C. (1994). *MACBETH - an interactive path towards the construction of cardinal value functions.* International Transactions in Operational Research, 1, p. 489-500.

4] BANA e COSTA, C. A.; CORREA, E. C.; CORTE, J. M. D. & VANSNICK, J. C. (2002). *Facilitating bid evaluation in public call for tenders: a social-technical approach.* OMEGA, 30, 227-242.

5] BANA e COSTA, C. A.; DE CORTE, J. M. & VANSNICK (2005). *M-MACBETH Versão 1.1 Manual do Usuário*. Disponível em: http://www.m-macbeth.com/downloads.html#guide

6] BANA e COSTA, C. A.; FERREIRA, J. A. A. & CORREA, E. C. (2000). *Metodologia Multicritério de apoio à avaliação de propostas em concursos públicos*. In: ANTUNES, C. H.; TAVARES, L. V. (Org.). Casos de Aplicação da Investigação Operacional. Amadora: McGraw Hill, p. 336-363.

7] CASTILHOS, W. (2008). *Biodiesel feito de algas*. Acessado em: Junho/2009. Disponível em: http://www.agencia.fapesp.br/materia/9839/especiais/biodiesel-feito-de-algas.htm
8] CHAVES, M. C. C.; BARROS, T. D.; RAMOS, T. G. & SOARES DE MELLO, J. C. C. B. (2010). *Uso integrado de dois métodos de apoio à decisão multicritério: VIP Analysis e MACBETH*. Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento.
9] DIAS, L. C. & CLÍMACO, J. N. (2000). *Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software*. Journal of Operational Research Society, 51(9), 1070-1082.
10] ESCANDIUZZI, F. (2008). *UFSC Estuda Microalgas para Produção de Combustível.* Acessado em: Maio/2009. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/r1-ufsc-estuda-microalgas-producao-combustivel-09-11-08.htm
11] FILHO, L. V. (2007). *H-Bio Economiza Dólares e Reduz a Dependência.* Acessado em: Maio/2009. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/h-bio-economiza-dolares-reduz-dependencia-18-05-07.htm
12] GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G. & CARIGNO, C. (2004). *Tomada de Decisões em Cenários Complexos*. São Paulo. Pioneira Thomson Learning.
13] GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. & ALMEIDA, A. T. (2009). *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério.* São Paulo. Editora Atlas. 3ª Edição.
14] GREEN PEACE. *Clima, Protocolo de Kyoto*. Acessado em: Junho/2009. Disponível em: http://www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf
15] LEITE, R. C. & E CORTEZ, L. A. B. (2007). *O Etanol Combustível no Brasil.* In: Biocombustíveis no Brasil Realidades e Perspectivas. Ministério das Relações Exteriores. p. 60-75.
16] OLSON, D. L. (2001). *Comparison of three multicriteria methods to predict known outcome.* European Journal of Operational Research, 130, 576-587.
17] PAMPLONA, N. (2007). *Petrobras Pára de Produzir H-Bio.* Acessado em: Maio/2009. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/petrobras-produzir-hbio-30-07-07.htm
18] PETROBRAS. *Tecnologia, Áreas de Atuação, Tecnologias Estratégicas de Refino*. Acessado em: Junho/2009. Disponível em: http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/hbio.asp
19] PORTAL DO BIODIESEL. *Documentos, Cartilha Biodiesel - SEBRAE*. Acessado em: Maio/2009. Disponível em: http://www.biodiesel.gov.br/docs/Cartilha_Sebrae.pdf
20] PORTAL DO BIODIESEL. *Selo Combustível Social***.** Acessado em: Maio/2009. Disponível em: http://www.biodiesel.gov.br/
21] REVISTA BIODIESELBR. *Destaques e Notícias*. Acessado em: Maio/2009. Disponível em: http://www.biodieselbr.com/
22] RODRIGUES R. A. & ACCARINI, J. H. (2007). *Programa Brasileiro de Biodiesel.* In: Biocombustíveis no Brasil Realidades e Perspectivas. Ministério das Relações Exteriores. p. 158-181.
23] SAUER, I. (2007). *Biocombustíveis no Brasil Comercialização e Logística.* In: Biocombustíveis no Brasil Realidades e Perspectivas. Ministério das Relações Exteriores. p. 34-59
24] SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. *Biodiesel, Cartilha Biodiesel*. Acessado em: Julho/2009. Disponível em: http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/$File/NT00035116.pdf
25] SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. *Cartilha Etanol*. Acessado em: Julho/2009. Disponível em: http://www.etanolverde.com.br//upload/arquivos/cartilha_etanol.pdf
26] SIMÕES, A. J. F. (2007). *Biocombustíveis: A Experiência Brasileira e o Desafio da Consolidação do Mercado Internacional.* In: Biocombustíveis no Brasil Realidades e Perspectivas. Ministério das Relações Exteriores. p. 10-33.