



**ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DO  
ETANOL E DO BIODIESEL**

**LAVRAS - MG**  
**2011**

**VANDER FILLIPE DE SOUZA**

**ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DO ETANOL E DO BIODIESEL**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do Curso de Pós-  
Graduação *Lato Sensu* em Formas  
Alternativas de Energia, para a  
obtenção do título de Especialização.

Orientador:  
Prof. Fábio Moreira da Silva

**LAVRAS - MG  
2011**

**VANDER FILLIPE DE SOUZA**

**ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DO ETANOL E DO BIODIESEL**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do Curso de Pós-  
Graduação *Lato Sensu* em Formas  
Alternativas de Energia, para a  
obtenção do título de Especialização.

APROVADA em 17 de março de 2011.

MSc Luciando Mendes dos Santos

Eng. Agrícola Flávio Castro da Silva

Eng. Agrícola Gabriel Araújo e Silva Ferraz

DSc Fábio Moreira da Silva  
Orientador

**LAVRAS - MG**  
**2011**

## RESUMO

Os biocombustíveis, principalmente o biodiesel e o etanol, apresentam-se como uma das alternativas renováveis para substituição dos carburantes derivados de petróleo. No contexto mundial, o Brasil possui vantagem comparativa por possuir extensa área potencial para a produção e por estar localizado em região tropical, além de possuir *know how* na produção de etanol. Este trabalho visa sistematizar informações sobre as cadeias produtivas dos biocombustíveis, as matérias-primas e os processos agroindustriais; discutir os modelos de produção e suas tecnologias, como a utilização de resíduos e a cogeração de energia; revisar metodologias como análise do ciclo de vida, balanço energético e balanço de emissões; e abordar as políticas de desenvolvimento limpo e de demais subsídios. Além disso, o trabalho visa salientar as previsões de expansão da produção tanto do biodiesel como do etanol de primeira geração e as expectativas atuais sobre os combustíveis de segunda geração e fornecer informações relevantes para o desenvolvimento sustentável do setor.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Etanol. Biodiesel.

## **ABSTRACT**

Biofuels, especially biodiesel and ethanol, are alternative renewable fuels to replace petroleum products. In the global context, Brazil has comparative advantages because of its potential for large area production, because it is located in a tropical region, and because the country has expertise in ethanol production. This work aims to systematize information on the production chain of biofuels, on the raw materials and on agroindustrial processes, aims to discuss the production models and technologies, such as the use of waste and cogeneration of power; review methodologies such as life cycle analysis, energy balance and emissions balance, and aims to address the policies of clean development and other subsidies. In addition, the work aims to point projected expansion of production of both biodiesel and first generation ethanol and current expectations about the second generation fuels and provide relevant information to the sustainable development of the sector.

Keywords: Biofuels. Ethanol. Biodiesel.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Breve Histórico.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>A Biomassa como Fonte Energética.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>O Sistema de Produção do Etanol.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4</b>	<b>Matéria-prima para Etanol.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Cana-de-açúcar.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Sorgo Sacarino.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>O Sistema de Produção do Biodiesel.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>Matérias-primas para Produção de Biodiesel.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Oleaginosas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.1.1</b>	<b>Algodão.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.1.2</b>	<b>Amendoim.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6.1.3</b>	<b>Canola.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6.1.4</b>	<b>Mamona.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.1.5</b>	<b>Pinhão-manso.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.1.6</b>	<b>Soja.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Palmáceas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7</b>	<b>Resíduos e Coprodutos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.8</b>	<b>Análise Mercadológica.....</b>	<b>23</b>
<b>2.9</b>	<b>Zoneamento Agroecológico.....</b>	<b>24</b>
<b>2.10</b>	<b>Análise do Ciclo de Vida, Balanço Energético e Balanço de Emissões.....</b>	<b>25</b>
<b>2.11</b>	<b>Mercado de Desenvolvimento Limpo.....</b>	<b>28</b>
<b>2.12</b>	<b>Segunda Geração de Biocombustíveis.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O domínio de processos energéticos sempre esteve associado à evolução e ao bem estar do homem, além de ser um dos alicerces para soberania de uma nação. A energia viabiliza processos produtivos de bens de consumo e de serviços. Desta forma, a logística de distribuição de produtos e circulação de pessoas; as tecnologias de informação, lazer e entretenimento; o armazenamento, processamento de insumos e alimentos; e a assistência à saúde e a serviços vitais são dependentes do bom desempenho do setor energético.

Até o século XVIII, os recursos utilizados como fontes energéticas no mundo eram renováveis, como a água, o vento e a madeira. Essas fontes foram gradualmente substituídas por recursos não renováveis como petróleo, gás natural e carvão mineral. Este fato é recentemente associado a mudanças climáticas que são reflexo de um sistema insustentável, baseado no consumo de combustíveis fósseis. Como a demanda energética é irreversível, a substituição da matéria-prima para padrões renováveis, além da pesquisa e desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, tornaram-se medidas plausíveis a curto, médio, e longo prazo.

A economia do petróleo cada vez mais vem sendo discutida e redefinida em escala global, devido principalmente aos potenciais riscos e danos socioambientais. Deste modo, a proposta de adoção de formas renováveis de energia alcança um novo patamar, a sustentabilidade. O Brasil apresenta diversas alternativas energéticas renováveis possíveis, é abundante em biodiversidade e possui grandes extensões de terras agricultáveis com clima propício. Sendo que o biodiesel e o etanol apresentam-se como tecnologia mais aplicável na substituição aos combustíveis derivados de petróleo. Impulsionado pela criação de veículos *flex-fuel*, pelo preço do etanol em comparação ao da gasolina e pela adição de um percentual mínimo de biodiesel ao diesel

convencional, o Brasil, elogiado internacionalmente pela geração e utilização de combustíveis renováveis, encontra-se em uma grande oportunidade de desenvolvimento econômico e social.

O Plano Nacional da Agroenergia (2006) aponta a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI), assim como a Transferência de Tecnologia (TT) como objetivos estratégicos para o seu desenvolvimento sustentável, utilizando ferramentas como zoneamentos agroecológicos, estudos socioeconômicos, melhoramento genético e sistemas de produção como pilares para o desenvolvimento do setor. Além disso, análises aprofundadas das cadeias produtivas possibilitam projeções e tomadas de decisões apropriadas, desde a fase de investimentos até o manejo cultural e/ou agroindustrial. Reduzindo a ocorrência de riscos em escala micro e macroeconômica, como, por exemplo, no colapso do Programa Pró-alcool. Assim, o objetivo deste estudo é revisar o panorama geral das cadeias produtivas do etanol e do biodiesel, contribuindo como uma compilação de informações importantes para o setor produtivo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Breve Histórico

O Pró-álcool, extinto programa do governo federal, objetivava segurança energética, assim como apoiar a indústria açucareira pela diversificação da produção, depois da queda do preço do açúcar em 1974. Em meados de 1975, o governo brasileiro, ao levar em conta o potencial do País em expandir área produtiva, sem comprometer outras culturas, adotou o álcool etílico como combustível. Alternativa aparentemente interessante, pois reduziria as despesas com a importação do petróleo, sugerindo então o Programa Nacional do Álcool (Pró-álcool), criado pelo decreto nº 79.953, de 14 de novembro de 1975, visando incentivar a produção de álcool etílico, que tinha como matéria-prima a cana-de-açúcar e levantando interesse por outras culturas potencialmente energéticas como o sorgo e a mandioca (RIBEIRO FILHO et al., 2008).

Em 1979, o Pró-álcool foi expandido devido à segunda crise do petróleo. Assim, em 1984, 94,4% dos carros novos brasileiros eram movidos a etanol. No entanto, o aumento do preço do açúcar e a liberalização da exportação do produto em 1988, levaram à redução da produção do etanol. Depois de 1989, com o crescente aumento do preço desse combustível, aumentaram as vendas de veículos movidos a gasolina, levando, nos anos 1990, ao final da produção de motores movidos somente a etanol. Entretanto, foi mantida a mistura de etanol à gasolina de 20%-25%, a fim de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, especialmente nos centros urbanos (KOHLHEPP, 2010).

Em 1975, o governo criou, mas não implementou, o Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, transformando-o em programa em 1983, quando deu início ao Programa Nacional de Óleos Vegetais para Produção de Energia, também chamado de Pró-óleo. O foco deste programa foi o desenvolvimento e a produção de biodiesel a partir de algodão, babaçu,

palma, canola, girassol, nabo forrageiro, mamona, soja e gordura animal para misturá-lo ao diesel. Os esforços foram interrompidos em 1985 devido à redução dos preços do petróleo e retomados em 2003, como Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) (MASIERO; LOPES, 2008). O PNPB apresenta fundamentação diferente do Pró-álcool, objetivando evitar possíveis problemas socioeconômicos de grande magnitude, com incentivo à inclusão e ao desenvolvimento regional, através da isenção de impostos da compra da matéria-prima da agricultura familiar “Selo Combustível Social”, e da garantia de compra com preço mínimo.

Acompanhando a evolução e as novas tendências do seguimento, no ano de 2002, foi apresentado o primeiro veículo com motor *flex-fuel*, movido a gasolina, a etanol ou com uma mistura dos dois, modelo desenvolvido por empresas alemãs e produzido em série no Brasil a partir de março de 2003. Em março de 2004, 16% dos veículos novos vendidos no Brasil já eram equipados com esse tipo de motor, sendo hoje mais de 92% (KOHLHEPP, 2010). O poder de escolha dado ao consumidor é mais uma ferramenta de segurança quanto aos possíveis riscos e colapsos econômicos.

## **2.2 A Biomassa como Fonte Energética**

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2009), a matriz energética brasileira representa 243,7 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep), ou seja, 2% da energia mundial. Do total, 37,9% correspondem ao petróleo e derivados; 32% à biomassa; 15,2% à hidráulica e à eletricidade; 8,8% ao gás natural; 4,8% ao carvão mineral; 1,4% ao urânio. O Brasil possui 47,2% de sua matriz de energia renovável, um contraste em relação ao mundo que apresenta em média apenas 12,7%. A energia de biomassa tem uma contribuição

importante nesse processo, podendo ser dividida em: lenha (10,1%); produto da agroindústria da cana-de-açúcar (18,0%) e outros (3,8%).

A biomassa produzida pelos seres autotróficos através de reações fotossintéticas é uma das formas mais primitivas de energia, sendo até hoje demasiadamente utilizada pelo homem. No entanto, a energia biomássica moderna apresenta uma nova possibilidade de uso mais eficiente, além da queima direta. Os biocombustíveis, combustíveis líquidos obtidos a partir das culturas energéticas designadas por glucídicas, oleaginosas e lignocelulósicas, são partes desse fato. Esses podem ser de primeira geração, cuja matéria-prima básica consiste em amido, açúcar, óleo vegetal ou gordura animal, que já estão no mercado em quantidades consideráveis e com tecnologia bem difundida. Ou de segunda geração, que são os biocombustíveis produzidos a partir de celulose, hemicelulose e lignina. Exemplos de segunda geração são o etanol lignocelulósico e os combustíveis de Fischer-Tropsch (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2010).

Goldemberg (2009) calcula que dos aproximadamente 100.000 Terawatts de fluxo de energia solar que atingem a superfície da Terra, cerca de 4.000 Terawatts atingem os 1,5 bilhões de hectares de plantações existentes no mundo. Segundo o mesmo autor, se admitirmos que as tecnologias de biomassa moderna possam atingir uma eficiência da conversão energética de 1%, essas plantações poderiam, em teoria, produzir 40 Terawatts de fluxo de energia, ou mais de três vezes o atual fluxo de abastecimento global de energia primária de 14 Terawatts. O Brasil pode produzir mais de 60% da demanda mundial de biomassa, incluindo o biodiesel. Ainda existe no país mais de 100 milhões de hectares próprios para a agricultura, além de milhões de hectares degradados que podem ser recuperados para o plantio de culturas energéticas (BELTRÃO et al., 2008).

A produção de biocombustíveis em 2008 atingiu cerca de 83 bilhões de litros, dos quais, 68 bilhões foram de etanol e 15 bilhões de biodiesel. Praticamente o total dos biocombustíveis de primeira geração com base principalmente na cana-de-açúcar e o milho, e, em menor medida, canola, girassol e outras matérias-primas agrícolas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2010). Como a energia e a produção de alimentos estão interrelacionadas, uma das grandes preocupações é a ocorrência de interferência na oferta e no preço dos produtos alimentícios. O que, em termos, já ocorre devido ao fato de qualquer impacto nos custos do petróleo ser transmitido e ampliado ao longo da cadeia produtiva, a partir dos insumos agrícolas e da logística de transportes, até o consumidor final. No entanto, estima-se que a expansão da agroenergia não afetará a produção de alimentos para o consumo interno. Isso porque a perspectiva de expansão engloba principalmente áreas ainda utilizadas ou subutilizadas, como pastagens degradadas. Além disso, o subproduto das matérias-primas como soja, girassol, sorgo, entre diversos outros, tendem a complementar a oferta de produtos para a alimentação animal.

### **2.3 O Sistema de Produção do Etanol**

As usinas de produção de etanol apresentam tecnologia de produção muito semelhante quanto ao processamento, diferenciando-se pelo tipo de equipamento, controle operacional e gerenciamento. O etanol pode ser obtido de diferentes matérias-primas, no entanto, as culturas da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino possuem açúcares diretamente fermentáveis. O que contribui para a simplificação do processo, apresentando menor custo de produção e maior eficiência energética, quando comparadas a fontes amiláceas como milho, mandioca e batata-doce.

A cadeia produtiva do etanol pode ser resumida em: plantio, colheita, acondicionamento, moagem e extração, fermentação e destilação. A cana recebida é amostrada aleatoriamente para aderir qualidade e para cálculo de pagamento. Existem basicamente dois possíveis critérios para pagamento de cana, um baseado no peso do colmo e outro baseado no peso de açúcares. Atualmente, o pagamento é baseado em quilograma de açúcares total recuperáveis (ATR) (CONSECANA, 2006), desta forma, o preço da cana é formado por quilogramas de ATR por tonelada (Kg ATR/tonelada de cana), levando em consideração a sacarose e os açúcares redutores, como glicose e frutose, que servem para a produção de etanol.

Durante o processamento, a matéria-prima recebida passa por processo de limpeza, que pode ser por lavagem ou limpeza a seco. Em seguida, a cana é destinada a equipamentos de preparo para extração do caldo. O sistema pode possuir conjunto de facas rotativas e desfibrilador e a extração pode ser feita por moagem ou difusão.

A fermentação é a fase onde os açúcares são transformados em álcool. As reações ocorrem nas dornas de fermentação, onde se mistura na proporção de 2:1, o caldo (mosto) e o fermento biológico (pé-de-cuba), respectivamente. Durante a reação, ocorre liberação de gás carbônico e formação de produtos secundários, como alcoóis superiores, glicerol e aldeídos. Ao término da fermentação, de 4 a 12 horas em média, o teor médio de álcool na dorna é de 7% a 10% e a mistura recebe o nome de vinho fermentado. O vinho é então centrifugado para recuperação do fermento, chamado de leite de levedura, que retorna à cuba para um novo ciclo. E a fase menos densa da centrifugação é enviada para as colunas de destilação para a recuperação do etanol presente no vinho.

## **2.4 Matéria-prima para Etanol**

O etanol produzido a partir da biomassa é geralmente denominado bioetanol, para que ocorra sua diferenciação frente às sínteses à base de carvão ou petróleo. O destaque aqui são as matérias-primas diretamente fermentáveis, devido às características edafoclimáticas nacionais ideais para sua produção, além de possibilitar um processo agroindustrial mais simples, tornando-as mais viáveis.

### **2.4.1 Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, desta forma, a correta implantação e condução do canavial são necessárias para conseguir uma boa produtividade, tanto na cana-planta (primeiro corte), como nas soqueiras (cortes subsequentes). O sucesso na produção depende de diversos fatores, sendo a cultivar a tecnologia mais importante e de menor custo para o produtor. Barbosa et al. (2007) apontam como características desejáveis nas variedades de cana-de-açúcar: produtividade elevada, elevado teor de sacarose, interação variedade x maturador, boa brotação e longevidade da soca, perfilhamento e características do colmo, não florescimento excessivo, tolerância a principais doenças e pragas.

A queima do canavial como parte do processo de colheita da cana-de-açúcar tende a ser eliminada, por motivos ambientais e de saúde pública. Como aconteceu no Estado São Paulo a proibição através do Decreto Estadual no 42.056, que determina a eliminação total da queima até 2020. Desta forma, a mecanização total ou parcial apresenta-se como a única opção possível para que a colheita da cana atenda simultaneamente os requisitos ergonômicos, a viabilidade econômica do setor e, principalmente, as exigências legais e ambientais (BRAUNBECK e OLIVEIRA, 2006). Além disso, essa técnica

contribui para o acúmulo de matéria orgânica no solo e consequente sumidouro de CO<sub>2</sub> estufa.

As tecnologias atuais possibilitam produtividade em torno de 80 toneladas de cana-de-açúcar por hectare, e aproximadamente 7000 litros de álcool por hectare, graças aos avanços nos últimos 30 anos. Aqui se faz apenas menção à cultura da cana-de-açúcar, devido ao avançado estágio de desenvolvimento e difusão tecnológica, além de sua já reconhecida potencialidade (MARCHIORI, 2004).

#### **2.4.2 Sorgo Sacarino**

O sorgo é uma gramínea que apresenta versatilidade de uso, e cultivares adaptadas para diferentes destinações. Basicamente pode ser dividido em: sorgo granífero, cujo produto principal são os grãos, utilizados na fabricação de rações; sorgo forrageiro, cuja biomassa pode ser utilizada na produção de silagem e de feno; o sorgo sacarino e o sorgo lignocelulose, para produção de etanol.

O sorgo sacarino possui colmos com açúcares diretamente fermentáveis, como os da cana-de-açúcar. Já o sorgo lignocelulose possui eficiente produção de matéria verde, cuja finalidade principal é a produção de combustíveis de segunda geração. A Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG, retomou pesquisas fitotécnicas e genéticas com sorgo, realizadas nas décadas de 70 e 80, visando o lançamento de novas variedades de sorgo sacarino e lignocelulose para atender a demanda crescente do mercado (PARRELLA et al., 2010).

Por ser uma planta C4, ou seja, com alta eficiência fotossintética, o sorgo requer menos água para se desenvolver quando comparado com outros cereais. Necessita de aproximadamente 330 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca. Além de possuir tolerância a fatores bióticos (doenças e pragas) e abióticos

(seca, baixa fertilidade, acidez no solo e tolerância ao Al), o que o torna interessante para fins energéticos devido à alta produtividade de biomassa, associada à baixa exigência edafoclimática (MAGALHÃES et al., 2000). Seu bagaço também pode ser utilizado na cogeração ou na produção de combustíveis de segunda geração, e apresenta potencial nutritivo superior ao da cana-de-açúcar na nutrição animal.

A cultura do sorgo é totalmente mecanizável e com rápido ciclo de cultivo (quatro meses), apresentando-se como uma cultura potencial, ou alternativa na entressafra da cana, ampliando o período de moagem das usinas e cobrindo a ociosidade de instalações e equipamentos (RIBEIRO FILHO et al., 2008). Isso porque seu beneficiamento pode empregar os mesmos equipamentos da produção de álcool da cana-de-açúcar, da moagem à destilação. Outra possibilidade é a operação em micro e minidestilarias de etanol que ampara um sistema de produtores cooperados (XIMENES, 1988).

## **2.5 O Sistema de Produção do Biodiesel**

A Lei nº 11.097, de 13/01/2005, define o biodiesel como o “biocombustível” derivado de biomassa renovável para o uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

No ano de 2008, passou a ser obrigatória a mistura de 2% de biodiesel ao diesel, o denominado B2, sendo o percentual no ano de 2010 de 5% (B5). A utilização de biodiesel vai além de ser um combustível renovável, e implica em uma série de vantagens, como: índice de cetano mais alto, lubrificidade maior, ausência de enxofre, atoxicidade e biodegradabilidade.

Os triglicerídeos são ésteres de glicerol com três cadeias de ácidos graxos e são componentes dos lipídeos (óleos e gorduras). Na reação de transesterificação, um triglicerídeo reage com um álcool de cadeia curta (etanol ou metanol) na presença de um catalisador, uma base forte ou um ácido, produzindo uma mistura de ésteres metílicos. A maioria das empresas produtoras utiliza hidróxidos de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, sendo que o potássio apresenta a vantagem de reutilização residual em compostagem ou em biodigestores. O resultado da reação é biodiesel e glicerina, que serão purificados para atender as exigências normativas (RESENDE et al., 2009).

De acordo com Knothe et al. (2006), o álcool, o óleo e o catalisador são combinados em um reator e agitados durante 1 hora à temperatura de 60°C. Plantas de pequeno porte geralmente utilizam reatores em batelada, mas indústrias com maiores capacidades utilizam processos de fluxo contínuo em reatores de leito agitado (RCLA). No RCLA a reação pode ser dividida em duas etapas, na primeira cerca de 80% do álcool e do catalisador são adicionados ao óleo, e antes de seguir para a segunda etapa a glicerina é separada. Os 20% restantes de álcool e de catalisador são adicionados ao produto do primeiro estágio no segundo RCLA.

A produção de biodiesel vem alcançando seu espaço principalmente na Europa, onde é viabilizada sua utilização na forma pura (B100) devido a subsídios governamentais. O maior produtor mundial é a Alemanha, ultrapassando 1,5 milhões de t.ano<sup>-1</sup>. Suas plantas industriais variam a capacidade produtiva de 2 mil a 120 mil t.ano<sup>-1</sup>, o que possibilita diversas opções de investimento e empreendedores de pequena, média e grande escala.

## **2.6 Matérias-primas para Produção de Biodiesel**

### **2.6.1 Oleaginosas**

No Brasil existem, aproximadamente, 200 espécies de oleaginosas com potencial para a produção de óleo, matéria-prima para produção de biodiesel. O que significa ampla oportunidade, porém grande desafio na adequação da cadeia produtiva a cada agronegócio. As principais culturas são o algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.), a canola (*Brassica oleracea* L.), o gergelim (*Sesamum indicum* L.), a mamona (*Ricinus communis* L.), o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), o girassol (*Helianthus annuus* L.) e a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] (BELTRÃO; VALE; SILVA, 2008).

#### **2.6.1.1 Algodão**

O coproduto da cultura do algodão, o caroço do algodoeiro, possui em suas sementes entre 14% a 30% de óleo. No ano de 2003, foi registrada uma produção de 3,3 milhões de toneladas de caroço de algodão (OIL WORLD ANNUAL, 2004). Segundo a Associação Mineira de Produtores de Algodão (AMIPA, 2010), a produção média no Estado é de 1,95 t.ano<sup>-1</sup>, que, se processado industrialmente pela técnica de esmagamento ou extração por solvente, gera de 11% a 18% de óleo. Isso representaria um lucro líquido de R\$ 300,00 por hectare aos produtores, além da torta ainda ser viabilizada para alimentação animal, que absorve melhor o conteúdo protéico disponível após o esmagamento (TEIXEIRA, 2005). Atualmente a produção concentra-se no Cerrado, sendo o semiárido região potencialmente grande produtora, como ocorreu até meados dos anos 80, desde que se utilizem devidamente as tecnologias desenvolvidas nas últimas décadas.

### **2.6.1.2 Amendoim**

O amendoim é originário da América do Sul e compreende mais de 80 espécies, sendo estas cultivadas e silvestres, e o maior número encontra-se no Brasil. Apesar de ser uma planta mesófila, é adaptado a condições de déficit hídrico sendo cultivado do trópico úmido ao semiárido. Seu teor de óleo é de 48% em média do peso dos grãos. A Ásia é responsável por cerca de 60% da produção mundial. No Brasil, apesar da retração na área plantada, a produtividade é crescente. Resultado da adoção de tecnologias como técnicas de manejo, mecanização e cultivares melhoradas. O amendoim pode ser uma alternativa para a produção de combustíveis. No entanto, a qualidade do óleo do amendoim apresenta características apreciáveis na alimentação humana (BELTRÃO et al., 2008).

### **2.6.1.3 Canola**

A canola é geralmente plantada em países de clima temperado e apresenta em média 37% de óleo nos grãos, constituindo a base da produção de biodiesel da Alemanha. Ocorre demanda de grãos e óleo de canola para atender ao mercado europeu, pois sua capacidade produtiva é insuficiente, mesmo que se adicione apenas 20% de biodiesel ao diesel. No Brasil, a região potencialmente produtora é a região Sul.

A canola é uma variedade de colza desenvolvida especialmente por geneticistas para fornecer óleo com baixo conteúdo (menos de 2%) de ácido erúico ( $C_{21}H_{41}COOH$ ), altamente prejudicial à saúde cardíaca. Na colza comum, o teor desse ácido graxo pode chegar a 50%. O termo canola é registrado (pela Western Canadian Oilseed Crushers Association) e vem da

expressão *canadian oil low acid*, que significa “óleo canadense com baixo teor de ácido (erúico)”(PERUZZO; CANTO, 2003).

#### **2.6.1.4 Mamona**

O óleo da mamona possui uma característica especial por ser mais denso e viscoso, além de ser o único produzido pela natureza solúvel em água. A mamoneira é tolerante à seca, podendo produzir cerca de 600 kg de óleo por hectare com somente 500 mm de precipitação, sendo que a semente apresenta em média 48,9% de óleo (BELTRÃO, VALE, SILVA, 2008). É uma cultura difundida e dominada na região semiárida. Bem valorizada na indústria ricinoquímica devido a sua versatilidade e potencial na substituição de derivados do petróleo na confecção de polímeros.

#### **2.6.1.5 Pinhão-manso**

O pinhão-manso apresenta-se como destaque principalmente no semiárido por, possivelmente, ser nativo dessa região, que apresenta ampla diversidade disponível. Perene e resistente à seca, é capaz de produzir óleo de boa qualidade. No entanto, ainda não é domesticado e os estudos agronômicos são bem recentes, o que dificulta recomendações técnicas e investimentos na produção. Assim como a mamona, a torta, subproduto da extração do óleo, não pode ser empregada na alimentação animal. Atribui-se às propriedades tóxicas do pinhão a globulina, a curcasina e também o ácido jatrópico, de toxicidade igual ou superior à ricinina (PEIXOTO, 1973).

### 2.6.1.6 Soja

A soja apresenta-se como uma cultura de extrema importância para a conjuntura energética atual. Boa parte do biodiesel produzido atualmente no mundo deriva do seu óleo. Apesar de possuir teor nos grãos relativamente baixo de óleo quando comparada a outras culturas, entre 18% a 20%, o domínio tecnológico do seu sistema de cultivo possibilita grandes produtividades. O tocante como matéria-prima nacional é a soja ser uma commodity e já atender forte demanda alimentícia (KOHLHEPP, 2010). A reutilização do óleo de soja descartado de fritura, além de ser uma enorme contribuição ao meio ambiente pode representar uma economia significativa desde que seja apoiado por um eficiente sistema de coleta e destinação.

### 2.6.2 Palmáceas

As culturas perenes, tais quais as palmáceas, são adequadas para a produção de bioenergia nas condições agroecológicas. Sem necessidade de preparo do solo e proporcionando-lhe cobertura permanente que reduz a erosão e a lixiviação. Além disso, possuem grande capacidade de fixação de carbono, alta eficiência energética e balanço energético positivo.

No Brasil, apenas o óleo de dendê está sendo utilizado para a produção comercial de biodiesel, a partir de ácidos graxos livres retirados do óleo. Já o coco possui mercado mais atrativo, destinado a produtos alimentícios. Entre as palmáceas oleaginosas potencialmente exploráveis encontramos o babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.), a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.], o patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) e a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). Neste contexto, o desafio envolve pesquisas e desenvolvimento de sistemas de produção, processamento e uso.

## 2.7 Resíduos e Coprodutos

A lei da entropia indica que a energia tende a degradar-se nos processos de utilização, transformando-se de formas úteis em não úteis, com tendência ao equilíbrio energético global. Neste caminho quase sempre o material descartado com resíduo apresenta potencial energético ou econômico. E o conceito de sustentabilidade muitas vezes sugere aos produtores e empresários que os rearranjos no sistema de produção criariam ônus econômicos, o que não justificaria adotar tais medidas se estas não fossem cobradas em legislação ou pelo consumidor final. Entretanto, os subprodutos do processo produtivo podem subsidiar e até mesmo viabilizar o sistema, além de reduzir problemas como a destinação e o descarte dos resíduos que passam a ter menor impacto ambiental.

Na cadeia produtiva do biodiesel são gerados coprodutos em duas etapas diferentes. Primeiramente durante o processo de extração do óleo dos grãos, e secundariamente resultantes da etapa de transesterificação dos óleos vegetais. Durante a etapa de transesterificação, a glicerina é o coproduto agroindustrial de maior interesse devido às grandes quantidades geradas, e geralmente é destinada à indústria de cosméticos. Em 2009 foram gerados 171.829 m<sup>3</sup> de glicerina como subproduto na produção total de biodiesel (B100) do País (ANP, 2010).

O resíduo da extração do óleo, também conhecido como torta, carrega consigo um potencial variável conforme a natureza do material de origem, geralmente utilizada na alimentação animal ou como fertilizante. Este último é o caso das tortas de mamona e de pinhão-manso, caso não seja realizado tratamento do material, devido a seu potencial de toxidez e alergenicidade. Melo et al. (2008) avaliaram tanto a produção de etanol a partir de torta de mamona por via hidrolítica, como a letalidade da torta hidrolisada para camundongos. Apontando que podem ser gerados em torno de 25,3 g de etanol por 100 g de torta de mamona, devido ao teor de amido presente na torta e que o tratamento

com  $H_2SO_4$ , na temperatura e tempo estabelecidos para a hidrólise do amido, foi responsável pela redução, em pelo menos 237 vezes, da letalidade da torta de mamona *in natura*. O que propõe um modelo industrial integrado que utiliza o subproduto para produção de álcool e ração.

Em sistemas diversificados de produção, como consórcios e sistemas de integração lavoura-pecuária, principalmente na agricultura familiar e/ou agroecológica, a contribuição dos subprodutos é imprescindível para viabilidade e funcionamento do sistema produtivo. Um exemplo é a avaliação econômica do sistema produtivo de girassol na agricultura familiar, cujas flores propiciam a associação da atividade apícola (TEIXEIRA, 2005).

Na agroindústria canavieira, o principal resíduo gerado é o bagaço de cana. A COPERSUCAR (1994) destaca que 99,6% dos resíduos sólidos gerados na usina não são perigosos, passíveis de serem reutilizados no ciclo produtivo. A torta de filtro, as cinzas da caldeira e a vinhaça podem ser utilizadas como adubo e também podem ser acondicionadas em um biodigestor. O bagaço da cana-de-açúcar possui alto poder calorífico, utilizado como combustível na caldeira e viabilizando a cogeração de eletricidade através de turbinas a vapor. Desta forma, o setor sucroalcooleiro além de ser autossuficiente energeticamente possui potencial de produção de energia excedente que pode ser comercializada. A dimensão dos excedentes de energia elétrica a ser comercializada é função dos aprimoramentos tecnológicos adotados. Segundo pesquisa realizada pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico Gesel, da Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, a geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana poderá alcançar entre 10 e 15 mil megawatts de potência, o equivalente a uma usina de Itaipu (COSTA; SILVA; VALLE, 2009). O bagaço também pode ser utilizado na alimentação animal, transformando-o em ração, através da hidrólise; incorporação ao solo; fabricação de artesanato; e produção de compósitos, biomateriais e produtos biodegradáveis.

## 2.8 Análise Mercadológica

Em 2009, a produção nacional de etanol anidro (adicionado à gasolina A para constituição da gasolina C Automotiva) e hidratado apresentou uma ligeira reversão em sua trajetória de crescimento iniciada em 2001, atingindo volume aproximado de 26,1 milhões de m<sup>3</sup>. A Região Sudeste foi a maior produtora nacional, com 17,7 milhões m<sup>3</sup> (67,7% da produção brasileira) e o Estado de São Paulo, principal produtor nacional, com 15 milhões m<sup>3</sup>, correspondentes a 57,6% da produção nacional e a 85,1% da produção regional. O volume exportado de etanol anidro e hidratado no mesmo ano atingiu 3,3 milhões m<sup>3</sup>, registrando queda de 35,1%, se comparado ao ano anterior. As exportações tiveram como principal destino a região Ásia-Pacífico, que absorveu 31,1% do total, uma alta de 89,4% em relação ao ano anterior (ANP, 2010).

Da mesma forma que nos anos anteriores, o mercado de distribuição de etanol hidratado se manteve concentrado, com seis empresas detendo 64,3% das vendas: Petrobras (22,2%), Ipiranga (17%), Shell (13,1%), Cosan (5,1%), Petronova (3,8%) e Gold (3,2%). Os 35,6% restantes ficaram pulverizados entre 148 distribuidoras. O preço médio anual do etanol hidratado ao consumidor foi de R\$ 1,52/litro, valor 2,4% superior ao registrado no ano anterior. Os preços mais altos foram verificados na Região Norte, cuja média observada foi de R\$ 1,92/litro, alavancada pelos estados de Roraima R\$ 2,16/litro. Os mais baixos foram observados no Sudeste (R\$ 1,37/litro) e no Estado de São Paulo (R\$ 1,34/litro). Sobretudo as vendas de etanol anidro (6,35 milhões m<sup>3</sup>) e hidratado (16,5 milhões de m<sup>3</sup>) superaram as de gasolina A (19,1 milhões m<sup>3</sup>) (ANP, 2010).

Já no caso do biodiesel, também em 2009, a capacidade de produção nominal puro (B100) foi de cerca de 4,4 milhões m<sup>3</sup>. Entretanto, a produção efetiva do Brasil foi de cerca de 1,6 milhão m<sup>3</sup>, o que correspondeu a 36,6% da

capacidade total. Dentre os principais produtores de biodiesel, a Granol aparece em primeiro lugar, com 247,6 mil m<sup>3</sup> em duas unidades (GO e RS). Em segundo, a Oleoplan (RS), com 173,1 mil m<sup>3</sup>, e, em seguida, a ADM (MT), com 165,9 mil m<sup>3</sup>. O óleo de soja continuou sendo a principal matéria-prima para a produção de biodiesel (B100) consumindo cerca de 1,3 mil m<sup>3</sup>. A segunda matéria-prima no ranking de produção das usinas foi o sebo bovino, seguido pelo óleo de algodão (ANP, 2010).

## **2.9 Zoneamento Agroecológico**

Alguns estudiosos e ambientalistas demonstram preocupações quanto ao impacto da expansão da área de produção de biocombustíveis, pois o cultivo em larga escala de matéria-prima requer grandes quantidades de recursos naturais, como água, além de fertilizantes e de pesticidas. No entanto, o planejamento produtivo deve sempre visar o respeito aos requisitos socioambientais, conforme as características edafoclimáticas, a aptidão e a capacidade de uso de cada área ou região. Sendo apoiado por tecnologias e metodologias de análise como o zoneamento agroecológico de espécies importantes em áreas de expansão da agroenergia.

Um exemplo é o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar cujo objetivo é fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas, visando à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro (MANZATTO et al., 2009). Promovendo impactos ambientais e socioeconômicos positivos, e reduzindo substancialmente os riscos dos produtores e aumentando a segurança do país em termos de abastecimento. É necessário o desenvolvimento de estudos mais aprofundados para as demais culturas energéticas. No entanto, características e particularidades de certas

regiões e localidades, servem como referência para possíveis áreas de expansão da agroenergia.

A Região Norte apresenta grande potencial para produção de palmáceas, tanto através do extrativismo como por sistemas agroflorestais em áreas degradadas, o que condiz com a dependência local ligada a geradores estacionários e motores das embarcações fluviais. O Nordeste apresenta-se como uma interessante fronteira de expansão da agroenergia, sendo a mamona, o algodão e o pinhão-manso as principais culturas associadas aos fomentos dos programas de apoio à agricultura familiar, além da potencial expansão da cultura do sorgo em localidades sem aptidão para a cana-de-açúcar. Na Região Centro-Sul, a soja apresenta-se atualmente como a principal cultura com potencial para oferecer todo o óleo necessário para atender até mesmo a mistura dos 5% ao diesel fóssil. Mas esforços estão concentrados para a inclusão de outras culturas potenciais. Além de soluções dos desafios locais, o Brasil busca representatividade no mercado internacional para atender a demanda ascendente.

### **2.10 Análise do Ciclo de Vida, Balanço Energético e Balanço de Emissões**

A agricultura é caracterizada pela utilização do ecossistema, tornando-o um agroecossistema, para produção de matérias-primas (alimentos, fibras, madeira, combustíveis), a partir de luz solar, água, nutrientes do solo. Além disso, é crucial o investimento de energia adicional, de força animal ou mecânica e de insumos (fertilizantes e agrotóxicos), gerando resíduos que podem retornar, e geralmente retornam, ao ciclo produtivo. O balanço energético, segundo Campos e Campos (2004), visa estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total e a eficiência, refletidos pelo ganho líquido e pela relação saída/entrada. Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia.

Já a Análise do Ciclo de Vida (ACV), do inglês *Life Cycle Assessment* (LCA), identifica as entradas e saídas no sistema de produção do início ao término. Essa análise, também denominada “do berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*), avalia o consequente impacto ambiental em função da existência dos produtos, processos e atividades. O objetivo da avaliação do ciclo de vida é fornecer subsídios para uma análise ambiental do desenvolvimento, associando dados de entrada (matéria-prima e insumos) e saída de materiais (produtos, resíduos, emissões e poluentes), além da energia (calor e eletricidade). O AVC ou LCA tem suas linhas gerais estabelecidas por um conjunto de normas da série ISO 14040 (NASCIMENTO et al., 2006). A análise do ciclo de vida pode ser uma forma interessante de modelar sistematicamente o processo, pois permite a associação do balanço energético com o balanço de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Urquiaga (2005) avaliou o balanço energético da produção de etanol de cana-de-açúcar e óleo de dendê em condições brasileiras e malasianas, além de uma análise preliminar sobre o balanço energético referente à produção de biodiesel de mamona. Para a produção de etanol de cana-de-açúcar utilizou como parâmetro  $84 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de rendimento de colmo (produtividade) e 7.224 L de etanol, resultando em 161,10 Gj de energia produzida. No entanto, o ingresso de energia fóssil totaliza 19,98 Gj, entre máquinas agrícolas e transporte à usina; fertilizantes/pesticidas; mudas/toletes; equipamentos e prédios; e insumos na usina. O balanço energético é assim calculado pela divisão da energia no biocombustível pela energia fóssil investida, contabilizando 8,06. Incluindo o excesso de bagaço na geração de eletricidade, o valor do balanço sobe para mais de 10 para 1. Já Soares et al. (2009) apresentam esta relação como 9,35:1, o que significa que para cada 1,0 MJ de energia fóssil consumida se produz 9,35 MJ de energia total, ou 8,35 MJ de energia renovável, na forma de etanol da cana.

Ometto (2005), para avaliar o ciclo de vida do álcool etílico hidratado, utilizou o método EDIP (Environmental Development of Industrial Products) por ser científica e tecnicamente comprovado, além de internacionalmente aceito e utilizado. Freire et al (2003) utilizam indicadores de eficiência energética, inventariando as entradas (*inputs*) e as saídas (*outputs*), para efetuar a análise energética ao ciclo de vida da produção de bioetanol de beterraba e de trigo. Pires et al. (2006) analisaram o cenário comparativo com auxílio de um software, a partir de dados coletados, e concluíram que, embora a emissão de gases de efeito estufa (GEE) do biodiesel tenha sido maior que a do diesel, na fase de produção, no ciclo de vida completo o biodiesel emitiu menos que o diesel de petróleo, haja vista a origem fotossintética da matéria-prima, ao contrário da emissão de CO<sub>2</sub> do diesel de extração, que é de origem fóssil.

Quanto ao balanço das emissões, o CO<sub>2</sub> não é a única preocupação. O óxido nitroso, por exemplo, é emitido em menor quantidade que os demais GEE. No entanto, possui um potencial de aquecimento global de 296 a 310 vezes maior que a molécula de CO<sub>2</sub>, originado principalmente por atividades agrícolas com uso de adubação nitrogenada (COSTA et al., 2009) e o metano, com potencial 21 vezes maior, é emitido principalmente através da vinhaça e da queima da palhada. Esses gases são pouco produzidos na queima de derivados de petróleo, porém estão presentes significativamente no sistema produtivo. Para realizar o balanço das emissões, estas devem ser convertidas em emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> fóssil, por fatores de conversão do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006). Desta forma, Soares, Silveira e Sosa (2006) calculam as emissões realizadas de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>) durante as etapas de produção e distribuição de etanol de cana-de-açúcar, o que correspondem a 3.224,1 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> equivalente (eq.). E as emissões evitadas de GEE correspondem a 9.580,6 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> eq. com o uso combustível do etanol.

### 2.11 Mercado de Desenvolvimento Limpo

O protocolo de Quioto, em vigor a partir de 2005, estabelece medidas concretas contra o aquecimento global, baseadas na redução de emissão de GEE dos países industrializados em 5,2% em relação aos níveis do ano de 1990. A meta do governo brasileiro em 2010 consiste na redução atual das emissões de GEE em 39% até 2020. Uma das oportunidades para adequação às metas estabelecidas é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A International Energy Agency (2006) estima que o setor de energia aumentará suas emissões de CO<sub>2</sub> em 50% até 2030, o que deve atingir um valor de 40 milhões de toneladas. O interessante aqui seria a utilização de mecanismo como esses para subsidiar cada vez mais a adoção de formas de energia alternativas renováveis.

O MDL consiste na possibilidade de um país que tenha compromisso de redução das emissões adquirir Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), um ativo financeiro, geradas por projetos implantados em países em desenvolvimento, como forma de cumprir parte de suas obrigações quantificadas no âmbito do Protocolo. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2009), os projetos relativos às atividades de produção e ao uso de biocombustíveis, nomeadamente o etanol de cana-de-açúcar e o biodiesel via diferentes insumos e rotas, que podem ser elegíveis ao MDL, são:

- Geração de energia elétrica a partir da biomassa da cana-de-açúcar;
- Uso de etanol anidro em motores de combustão interna, no transporte, em substituição parcial ou total a combustível de origem fóssil (gasolina), para uso público ou em frotas cativas;

- Uso de etanol hidratado em motores de combustão interna, no transporte, em substituição total a combustível de origem fóssil (gasolina), para uso público ou em frotas cativas;
- Uso de biodiesel (via metílica ou etílica) em motores de combustão interna, no transporte, em substituição ao combustível de origem fóssil (diesel de petróleo), para uso público ou em frotas cativas;
- Geração de energia elétrica, a partir da biomassa residual do processo de extração de óleos vegetais produzidos para transformação em biodiesel;
- Uso de etanol ou biodiesel em motores de combustão interna para geração de energia elétrica, em substituição a combustíveis fósseis.

Também segundo o mesmo estudo, até o momento, as poucas iniciativas de obtenção de créditos de carbono através de projetos de biocombustíveis têm sido frustradas, devido principalmente a dificuldades metodológicas. Um dos problemas seria o monitoramento, a alternativa aqui seria a consideração de todo o programa de carros *flex-fuel* em um MDL, cujos recursos dos créditos seriam revertidos para aumentar o incentivo aos consumidores que optarem pelo uso do etanol, já que o monitoramento individual seria dificultoso. Do ponto de vista do cálculo da adicionalidade financeira, esta dependeria das barreiras existentes no mercado nacional e da variação do preço do barril do petróleo no mercado internacional, o que também influencia o consumidor final.

Outra preocupação corresponde às emissões de GEE ligadas aos sistemas agrícolas de produção é a demanda por pesquisa que aborde a contribuição da eliminação da queimada, a utilização de resíduos, e a atuação das diferentes fontes de nitrogênio, de adubação verde e de fixação biológica, nesse processo.

Além do melhoramento genético de espécies mais tolerantes à deficiência de Nitrogênio no solo e a compatibilidade simbiótica para fixação biológica de nitrogênio (FBN) (COSTA et al., 2009). No entanto, sob o ponto de vista da Convenção e do Protocolo de Quioto, os biocombustíveis renováveis são importantes, já que a sua utilização em substituição a combustíveis fósseis resulta na redução das emissões de GEE.

### **2.12 Segunda Geração de Biocombustíveis**

A produção de etanol de segunda geração com base na biomassa lignocelulósica utiliza processos químicos (empregando ácidos) ou da biotecnologia moderna (empregando enzimas) para a quebra de moléculas complexas de lignina e de celulose, para produção de açúcares, e então produzir o etanol por meio de processos fermentativos alcoólicos da biotecnologia convencional (BASTOS, 2007). Isso amplia o leque de matérias-primas para produção de biocombustíveis entre espécies anuais e perenes, de forma que toda a biomassa, e não somente partes ricas em amido ou açúcares, seja utilizada. Possibilita também o uso de resíduos orgânicos agrícolas, florestais e urbanos, incluindo os resíduos da primeira geração de combustíveis, como o bagaço da cana-de-açúcar, o que representa fontes mais baratas e acessíveis de matéria-prima.

Segundo a Petrobras (2010), o processo de produção de etanol de segunda geração pode ser resumido em quatro etapas. Na primeira etapa ocorre o pré-tratamento da biomassa, pelo processo de hidrólise, com a quebra da estrutura cristalina da fibra do material e a recuperação de açúcares mais fáceis de hidrolisar. Em seguida vem à etapa de deslignificação, com a retirada da lignina, complexo que dá resistência à fibra e protege a celulose da ação de microorganismos que, apresentam grande inibição ao processo fermentativo. Na

terceira fase, o líquido proveniente do processo de hidrólise é fermentado pela levedura *Pichia stipitis* adaptada para ser utilizada nesta fermentação. E o sólido proveniente da etapa de deslignificação rico em celulose também é tratado por meio de enzimas, e é fermentado pela levedura *Sacharomyces cerevisiae*. Na etapa final ambos os líquidos provenientes das diferentes fermentações são destilados.

Os hidrocarbonetos também podem ser produzidos a partir do gás de síntese. É o caso do BTL (Biomass To Liquid) e da síntese Fischer-Tropsch. O gás de síntese origina-se da pirólise, a queima incompleta da matéria, resultando em um gás constituído por uma mistura de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos leves (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) e vapor de água (H<sub>2</sub>O) (MENDES; SILVA; TRUGILHO, 2001). Em condições de reação entre 220 – 240°C e com pressão de cerca de 25 bar, podem ser convertidos hidrocarbonetos de cadeia longa em hidrocarbonetos de cadeia curta, usando catalisadores baseados em ferro e cobalto e presença de hidrogênio durante a reação. Contudo, na produção descentralizada de combustível, este processo é tecnicamente muito complicado, porque uma vasta gama de produtos é produzida durante a síntese Fischer-Tropsch (GREENPRO, 2004). Outra via de produção de combustíveis de segunda geração é a utilização do gás de síntese para produção de hidrogênio.

O etanol também pode ser usado como matéria-prima para produção de hidrogênio, através da reforma direta do vapor de etanol. O que torna viável um modelo energético baseado na economia do hidrogênio. Isso porque o etanol possui um ciclo fechado de CO<sub>2</sub> e, se aplicado em células de combustível, possibilita uma eficiência energética maior que a dos motores de combustão interna. Sua logística apresentar-se-ia calcada pela ampla rede de distribuição deste combustível no Brasil. Seria apenas necessário acoplar um reformador de etanol a uma bomba de abastecimento (SOUZA et al., 2006).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Salienta-se que as oportunidades se convergem para substituição crescente e contínua de combustíveis fósseis por biocombustíveis. As condições técnicas, econômicas e pressões socioambientais consolidam essa postura. Além disso, as mudanças climáticas evidenciam ser realmente necessária a adoção de fontes alternativas. Apesar de a produção apresentar pequena retração no ano de 2009, o etanol já se consagrou nacionalmente como fonte renovável, o que se deseja ser alcançado pelo biodiesel que ainda apresenta indefinições e desafios. Grandes expectativas se concentram em combustíveis de segunda geração, que possibilitam aumento da produção independentemente de área produtiva. O Brasil, país com abundante diversidade biológica, edafoclimática e cultural, necessita continuar no caminho da diversificação da matriz energética. Para isso, a utilização das tecnologias agroindustriais, das culturas adaptadas em seus respectivos zoneamentos e principalmente as experiências regionais são imprescindíveis para a construção de um modelo agroenergético sustentável.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2010.
- AMIPA. Associação Mineira dos Produtores de Algodão. Disponível em: <<http://www.amipa.com.br/2010/>>. Acesso em: 03/01/2011.
- BARBOSA et al. Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 20-24, jul./ago. 2007.
- BASTOS, V. D. Etanol, álcoolquímica e biorrefinarias. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.
- BELTRÃO, N. E. M.; VALE, L.; SILVA, O. R. F. Grãos oleaginosos. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 4, p. 753-766.
- BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 300-308, jan./abr. 2006.
- CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. de. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, nov./dez. 2004.
- CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. 5ª edição. CONSECANA-SP, Piracicaba-SP, 2006.
- COSTA, A. R. da et al. **Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 249).
- COSTA, A. M.; SILVA, P. S. C.; VALLE, P. W. P. A. de (Coord.). **Bioenergia: cadeia produtiva e co-produtos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Instituto de Estudos Pró-Cidadania: SECTES, 2009. 176 p.

DANTAS, G. A. **O impacto dos créditos de carbono na rentabilidade da co-geração sucroalcooleira brasileira**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Economia e Política da Energia e do Meio Ambiente) - Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. **Estudos EPE**: Estudo das Condições Estabelecidas no Tratado de Quioto e Resoluções Internacionais de sua Atualização. 2009.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, 582-587, 2009.

GREENPRO. Bioenergia: manual sobre tecnologias, projecto e instalação. [S.l.], 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**. Paris, 2004. 500 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Outlook 2006**. Paris, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Sustainable Production of Second-Generation Biofuels Potential and perspectives in major economies and developing countries**. Paris, 2010. Information paper.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidlines for national greenhouse gas inventories**: 2006. Disponível em: <<http://www.ipccnggi.iges.or.jp/public/2006gl>>. Acesso em: 20 out. 2010.

KNOTHE, G. et al. (Ed.). **Manual de biodiesel**. Tradução de Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 340 p. Tradução de: The biodiesel handbook.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2011.

LEME FILHO, J. R. A. **Estudo comparativo dos métodos de determinação e de estimativa dos teores de fibras e de açúcares redutores em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2005. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 3).

MANZATTO, C. V. et al. (Org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p. (Embrapa Solos. Documentos, 110).

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MASIERO, G.; LOPES, H. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. **Revista Brasileira de Política Internacional**, Rio de Janeiro, v. 51, n. 2, p. 60-79, dez. 2008.

MELO, W. C. et al. Produção de etanol a partir de torta de mamona (*Ricinus communis* L.) e avaliação da letalidade da torta hidrolisada para camundongos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 5, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422008000500031&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000500031&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 15 jan. 2011.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F. **Gaseificação de carvão vegetal e ou madeira a para geração de energia em larga escala**. Lavras: UFLA, 2001.

NASCIMENTO, U. M. et al. Montagem e implantação de usina piloto debaixo custo para produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 2., 2006, Brasília, DF. **Anais**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica, 2006.

OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PARRELLA, R. A. da C. et al. Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando a produção de etanol. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. Potencialidades, desafios e sustentabilidade: **resumos...** Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

PEIXOTO, A.R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 284 p.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. do. **Química na abordagem do cotidiano**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

PIRES, M. de M. et al. Produção de biodiesel em escala piloto: parte 2: aspectos econômicos. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 2., 2006, Brasília, DF. **Anais**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica, 2006.

RESENDE, J. C. F.; SIMÃO, F. R.; PIMENTEL, R. M. A. Agricultura de energia e suas potencialidades. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 30, p. 8, 2009. Edição especial.

RIBEIRO FILHO, N. M. et al. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 9-16, 2008.

SOARES, L. H. B. et al. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 14 p. (Embrapa Agrobiologia. Circular técnica, 27).

SOUZA, A. C. C.; SILVEIRA, J. L.; SOSA, M. I. Análise energética e exergética da reforma a vapor de etanol para produção de hidrogênio. **Revista de Ciências Exatas**, Taubaté, v. 12, n. 2, p. 35-40, 2006.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.