

TOMAZ PABLO CUTRIM NASCIMENTO MORAIS

**DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA UTILIZAÇÃO DE BIOCMBUSTÍVEIS NA  
MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira  
Co-orientador: Prof. Jorge de Jesus Passinho e Silva

São Luís/MA

2015

Morais, Tomaz Pablo Cutrim Nascimento

Desafios e perspectivas da utilização de bicomcombustíveis na matriz energética do Brasil / Tomaz Pablo Cutrim Nascimento Moraes – São Luís, 2015.

60 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira

1.Bicomcombustível . 2.Bioenergia. 3.Bioeletricidade . I.Título

CDU:662.756.3(81)

TOMAZ PABLO CUTRIM NASCIMENTO MORAIS

**DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA  
MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à banca examinadora da  
Universidade Estadual do Maranhão como  
requisito para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: \_\_/\_\_/2015

---

Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira  
Orientador

---

Prof. Msc. Jorge de Jesus Passinho e Silva  
Co-orientador

---

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho  
3º Examinador

## RESUMO

Neste trabalho são abordadas as dificuldades e as razões pelas quais é importante a utilização da bioeletricidade na matriz energética brasileira. É analisado a situação política, social e econômica do Brasil atualmente através de uma revisão bibliográfica para qual foi consultada livros, artigos, textos publicados por órgãos governamentais e sites especializados. É verificado que é necessário um maior investimento em pesquisas e desenvolvimento a fim de tornar o preço mais competitivo, uma análise da legislação para tornar a etapa agrícola da produção de energia menos impactante para o meio ambiente, e possivelmente uma intervenção do estado no intuito de controlar os preços dos alimentos, impedindo-os de subirem. Os benefícios destas medidas seriam uma redução considerável na emissão de gases poluentes, modernização do setor agrícola, impulsionando criação de novos empregos e redução de empregos danosos a saúde e maior independência aos combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** Biocombustível; bioenergia; bioeletricidade.

## **ABSTRACT**

This paper addresses the difficulties and the reasons why the use of bioelectricity in the Brazilian energy matrix is important. It analyzed the political, social and economic situation in Brazil today through a literature review which was referred to books, articles, texts published by government agencies and specialized sites. Greater investment in research and development in order to make the most competitive price is verified that it is necessary, a review of legislation to make the agricultural stage of less harmful energy production on the environment, and possibly a state intervention in order to control food prices, preventing them from rising. The benefits of these measures would be a considerable reduction in greenhouse gas emissions, modernization of the agricultural sector, boosting job creation and reducing harmful jobs health and greater independence to fossil fuels.

**Keywords:** Biofuel; bioenergy; bioelectricity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição química do ar .....	16
Figura 2 - Fuligem expelida pelo escapamento de um caminhão com motor à diesel .....	17
Figura 3 - Esquema representativo da combustão completa de hidrocarbonetos.....	18
Figura 4 - Esquema representativo da combustão incompleta de hidrocarbonetos..	18
Figura 5 - Emissões evitadas com biocombustíveis em 2013 - Brasil.....	22
Figura 6 - Oferta interna de energia por fonte no BEN 2008.....	33
Figura 7 - Evolução das vendas de automóveis por tipo de combustível utilizado (em milhares de carros novos) .....	37
Figura 8 - Produção mundial de biodiesel .....	41
Figura 9 - Participação das matérias-primas do biodiesel - setembro 2009.....	42
Figura 10 - Bases de distribuição de derivados de petróleo e fluxos no território nacional.....	54
Figura 11 - Localização das unidades produtoras de biodiesel e fluxos regionais estimados .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das Propriedades dos Combustíveis, parte 1 .....	27
Tabela 2 - Comparação das Propriedades dos Combustíveis, parte 2 .....	28
Tabela 3 - Impacto das inovações tecnológicas .....	48
Tabela 4 - Potencial de geração de empregos no cultivo - oleaginosas selecionadas .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFDC	Centro de Dados de Combustíveis Alternativos
AIE	Agência Internacional de Energia
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APL	Arranjo produtivo local
BEN	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
Cepea	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CGEE	Centro de Gestão de Assuntos Estratégicos
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
ETBE	Éter etil terbulítico
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FFV	Veículo de Combustível Flexível
GEE	Gases de efeito estufa
IAA	Instituto de Açúcar e do Alcool
ICONE	Instituto de Estudos de Comércio e Negócios Internacionais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
Mapa	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
MME	Ministério de Minas e Energia
MTBE	Éter metil terc-bulítico
NAE	Núcleo de Assuntos Estratégicos
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OIE	Oferta Interna de Energia
PDE	Plano Decenal de Energia

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PNA	Plano Nacional de Agroenergia
PNE	Plano Nacional de Energia
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
UE	União Européia
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
ZAE	Zoneamento Agroecológico
ZEE	Zoneamento Ecológico e Econômico
C	Carbono
$C_xH_yO_zN_t$	Hidrocarboneto combustível qualquer
$C_2H_5OH$	Álcool etílico
$CH_4$	Metano
CO	Monóxido de carbono
$CO_2$	Gás carbônico
H	Hidrogênio
$H_2$	Hidrogênio em forma de gás
$H_2O$	Água
N	Nitrogênio
$NO_x$	Óxidos de nitrogênio ou azotos
O	Oxigênio
$SO_x$	Óxidos de enxofre
$SO_2$	Dióxido de enxofre

## LISTA DE UNIDADES

ha	Hectare
kg	Quilograma
KJ	Quilo joule
KWh	Quilo Watts hora
l	Litros
ton	Toneladas
°C	Graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Objetivos</b> .....	13
1.1.1 Objetivo Geral .....	13
1.1.2 Objetivos específicos .....	14
<b>2 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS</b> .....	15
<b>2.1 Tipos de Biocombustíveis</b> .....	19
<b>3 PRÓS E CONTRAS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS</b> .....	22
<b>3.1 Vantagens</b> .....	22
<b>3.2 Desvantagens</b> .....	24
<b>4 SITUAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL</b> .....	29
<b>4.1 Etanol</b> .....	29
<b>4.2 Biodiesel</b> .....	31
<b>5 CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA</b> .....	35
<b>5.1 Etanol</b> .....	35
<b>5.2 Biodiesel</b> .....	41
<b>6 ASPECTOS CONJUNTURAIS E DEREESTRUTURAÇÃO DO MERCADO DO ETANOL</b> .....	44
<b>6.1 A Questão dos Preços</b> .....	44
<b>6.2 A Questão Tecnológica, o Aumento da Concentração e da internacionalização da Produção</b> .....	46
<b>7 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O ETANOL BRASILEIRO</b> .....	49
<b>8 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O BIODIESEL NO BRASIL</b> .....	52
<b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

A geração de energia em alta escala está quase sempre atrelada a um sistema que causa degradação ambiental (desmatamento, inundação, queima de combustíveis fósseis, emissão de poluentes atmosféricos, geração de lixo radioativo e etc.). Por isso na escolha processo de geração e distribuição deve-se levar conta vários fatores até encontrar o nível ideal entre o custo-benefício relacionando com os possíveis danos gerados a natureza e conseqüentemente à vida das gerações futuras.

A dependência externa de petróleo foi a grande motivadora, após os dois choques de petróleo na década de 1970, que incentivou as nações importadoras de petróleo a buscarem alternativas para este insumo fóssil. Floresceram vários programas de desenvolvimento de energias renováveis, de economia de energia, de uso da energia nuclear, do gás natural e do carvão mineral. Este quadro se manteve até meados dos anos 1980, quando os preços internacionais do petróleo caíram a valores em torno de US\$ 12 por barril e aí o interesse pelos substitutos de petróleo arrefeceu devido ao custo dos subsídios necessários para mantê-los no mercado.

O debate internacional tem dado uma relevância maior ao problema de emissões dos gases do efeito estufa. O aumento da temperatura da biosfera terrestre em consequência do efeito estufa confere à questão uma dimensão global na medida em que mudanças climáticas implicam em alterações no equilíbrio ambiental do planeta.

Conforme dados da Agência Internacional de Energia (AIE, 2014), aproximadamente 82% de todo o combustível consumido no mundo é de origem fóssil: carvão mineral, petróleo e gás natural. Porém, essas substâncias, além de extremamente poluentes, são finitas, ou seja, irão se exaurir da natureza. Portanto, o desenvolvimento de novos combustíveis, cuja origem seja renovável, é de fundamental importância. Nesse sentido, os biocombustíveis surgem como uma alternativa eficaz.

No Brasil, apesar de já estar consolidado no setor automotivo, o uso dos biocombustíveis, neste caso específico, do etanol e biodiesel, ainda sofre com certos empecilhos, os quais serão expostos e analisados neste estudo.

Temos aqui um caso peculiar, na matriz energética brasileira predomina a hidroeletricidade, diferente do restante do mundo. Por este fator, temos a garantia de baixo custo na geração de eletricidade e em termos de gases de efeito estufa, pode-

se considerar uma produção limpa. Porém de acordo com o clima temos tempos desfavoráveis à essa geração e a capacidade máxima se torna muito reduzida, não sendo capaz de suprir a demanda de energia elétrica que só tende a aumentar nos próximos anos.

Nestas situações, quando os reservatórios já estão em níveis muito baixos, são ativadas as usinas térmicas, principalmente movidas a gás natural e óleo diesel, complementando a produção de eletricidade. Contudo, estas usinas produzem altos graus de poluição através da liberação de gases do efeito estufa. O preço da energia térmica também é muito superior ao praticado pela hidroeletricidade. Além disso, esta diferença não é amortecida, pois somente são ativadas estas usinas em situações críticas, quando as hidrelétricas têm grande redução em suas capacidades, prejudicando bastante a maximização da eficiência do sistema.

A isto também se propõe a utilização da bioeletricidade, agindo como backup do sistema hidrelétrico brasileiro. Este dentre outros aspectos dos biocombustíveis serão abordados neste trabalho.

Primeiramente é apresentada características dos combustíveis em geral e as diferenças dos combustíveis fósseis para os biocombustíveis. Os tipos de biocombustíveis com uma breve explicação e algumas características de cada um também é mencionado. Também é discutido as vantagens e desvantagens da utilização de biocombustíveis na matriz energética de um país.

Após, a situação atual do Brasil em relação a seus principais biocombustíveis, o etanol e o biodiesel, é abordado. É importante também compreender o histórico de como vem se comportando essa tecnologia no país, por isso é apresentado com maior detalhe uma retrospectiva do início aos dias de hoje, abordando aspectos políticos, econômicos e sociais. E por fim serão apontados quais os desafios para a utilização destes biocombustíveis na matriz energética brasileira e quais as perspectivas para isto acontecer.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Conhecer o contexto atual da produção de biocombustível no Brasil, entendendo os desafios de aumento da implantação e utilização destes recursos na

matriz energética brasileira.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

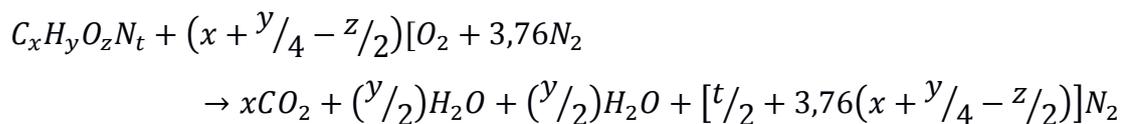
- Apresentar a diversidade de fontes de energia (biocombustível) disponível;
- Destacar as diversas características dos biocombustíveis mais utilizados;
- Mostrar o contexto atual da utilização do uso do biocombustível na matriz energética do Brasil;
- Análise dos pontos positivos e negativos do uso de biocombustível destacando os aspectos políticos, econômico e ambiental;
- Destacar o desenvolvimento sustentável de tecnologia na cadeia produtiva dos biocombustíveis;
- Discutir a questão energética, tendo em vista uma perspectiva da geração de energia no futuro.

## 2 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E BIOCMBUSTÍVEIS

Antes de se discutir sobre o custo-benefício da utilização dos biocombustíveis, é importante entender sobre as diferenças práticas em relação aos combustíveis fósseis. Qual a eficiência energética para ambas as soluções? Quais os impactos ambientais? No âmbito socioeconômico, quais os resultados? Para responder a estas perguntas será apresentado a seguir alguns fundamentos básicos que servirão para melhor entendimento das comparações.

A combustão ou queima é uma reação química exotérmica com grande liberação de energia na forma de calor, na qual é necessário a presença de dois componentes, o combustível e o comburente. O combustível geralmente se trata de uma substância rica em hidrocarbonetos, compostos orgânicos com cadeias carbônicas ligadas a átomos de hidrogênio ou oxigênio (metano, propano, gasolina, etanol, diesel, etc.), e o comburente é algum gás, comumente o oxigênio (TURNES, 2013).

Como resultado da combustão dos hidrocarbonetos temos diversos produtos, dentre os quais, gás carbônico (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), vapor de água (H<sub>2</sub>O), hidrogênio em forma de gás (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), fuligem (C), etc. Sendo que muitos destes prejudicam o meio ambiente ou pior, são considerados tóxicos. A fórmula geral da combustão apresentada abaixo ilustra melhor essa reação e seus produtos:



Fonte: TURNES (2013)

Onde  $x$ ,  $y$ ,  $z$  e  $t$  variam conforme o combustível utilizado.

Os óxidos de nitrogênio ou azotos são compostos gasosos considerados poluentes da atmosfera. Os azotos liberados na combustão podem reagir com a atmosfera e produzir o *smog*, uma forma de nevoeiro contaminado por fumaças, bem conhecido de grandes cidades industriais. Apesar de existirem combustíveis com nitrogênio em sua composição, a produção de azotos na combustão está ligada mais ao componente comburente do que combustível. Como o comburente mais utilizado é o oxigênio presente no ar, há junto desse oxigênio outras substâncias que podem

reagir na combustão, uma delas é o nitrogênio (TURNES, 2013). A seguir a figura 1 demonstra a composição do ar.

Figura 1 - Composição química do ar



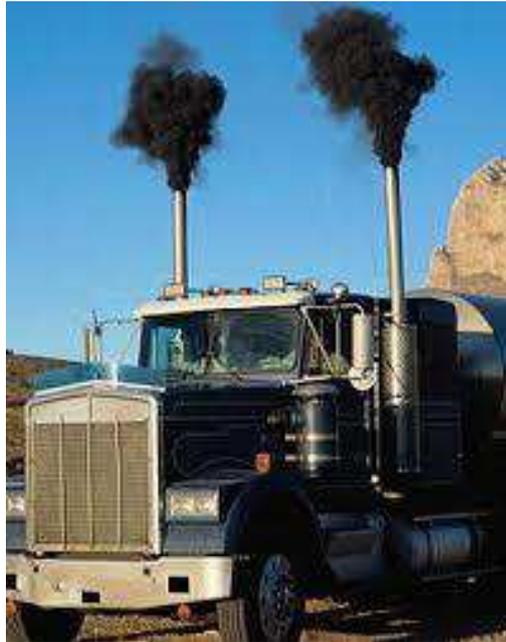
Fonte: LORA; et al. (2012)

Alguns combustíveis podem conter enxofre, como é o caso da gasolina e principalmente do diesel. O enxofre presente nestes combustíveis reage com o oxigênio durante a combustão, formando grandes quantidades de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), um gás bastante tóxico e corrosivo e que ao ser liberado na atmosfera pode reagir com o oxigênio formando ácido sulfúrico, o que ocasiona a conhecida chuva ácida. Porém o etanol é um tipo de combustível que não apresenta em sua composição química o enxofre, portanto não produz o dióxido de enxofre (GARCIA, 2013).

O gás carbônico, mesma substância liberada na respiração, passa a ser considerada poluente quando sua quantidade na atmosfera excede o que pode ser absorvido pelo meio ambiente através da fotossíntese das plantas.

A fuligem são partículas de carbono em seu estado sólido que poluem a atmosfera, isto pode ser observado no escapamento de veículos que não tem passado pela manutenção preventiva. Para demonstrar segue figura 2.

Figura 2 - Fuligem expelida pelo escapamento de um caminhão com motor à diesel

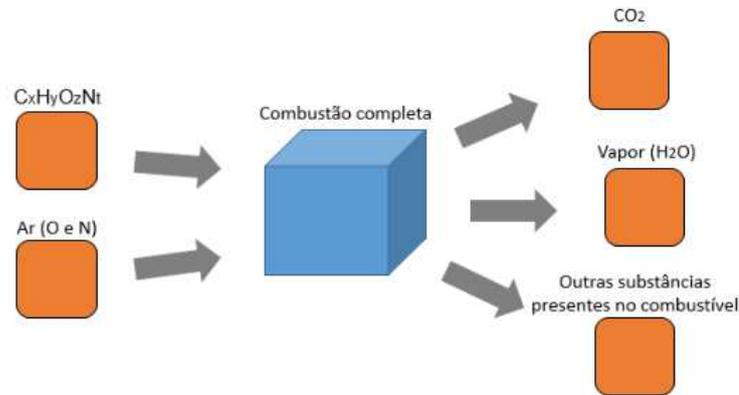


Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fuligem>

O monóxido de carbono, por sua vez, é considerado tóxico, portanto prejudicial à saúde. Mesmo em pequenas concentrações pode ocasionar grandes desconfortos e em grandes concentrações podem levar à morte.

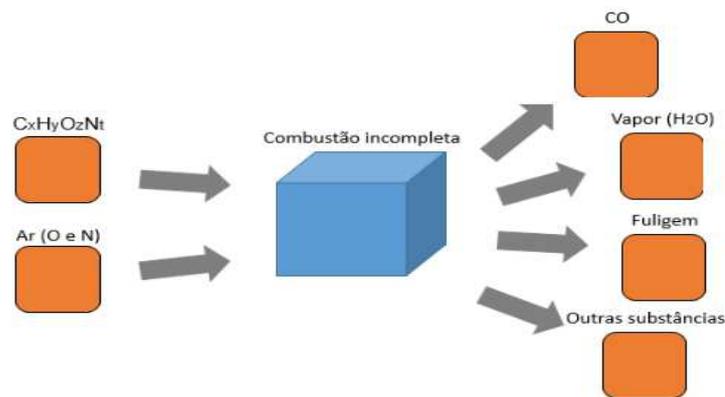
O gás carbônico, monóxido de carbono e a fuligem são todos produtos da combustão de hidrocarbonetos e tem em comum o carbono em suas composições químicas. Porém são produzidos por conta da natureza orgânica dos combustíveis, por serem hidrocarbonetos, dessa forma estes compostos serão gerados tanto por combustíveis fósseis como por biocombustíveis. O que deve ser levado em consideração é que alguns tipos tendem a liberar mais gases poluentes que outros. Mas o grande fator determinante para a liberação do monóxido e da fuligem é a concentração de oxigênio na mistura, pois se a mesma for pobre em oxigênio a combustão será considerada parcial ou incompleta, não permitindo que seja formado o gás carbônico, menos poluente que as outras duas substâncias. Se a mistura for rica em oxigênio, a combustão estará mais próxima de ser considerada completa, reduzindo a quantidade de fuligem e monóxido liberado (GARCIA, 2013). Conforme é demonstrado nas figuras 3 e 4.

Figura 3 - Esquema representativo da combustão completa de hidrocarbonetos



Fonte: LORA; et al. (2012)

Figura 4 - Esquema representativo da combustão incompleta de hidrocarbonetos



Fonte: LORA; et al. (2012)

Portanto a emissão de poluentes não é algo a utilização dos biocombustíveis na matriz energética propõe resolver, mas é fato que alguns poluentes são particulares de certos combustíveis, como o caso do dióxido de enxofre liberado pela combustão da gasolina e diesel, o que não ocorre com o etanol. Dessa forma há uma redução significativa na emissão de alguns poluentes na atmosfera, contribuindo para preservação do meio ambiente.

Outro fator importante a ser levado em consideração é que os biocombustíveis são uma fonte renovável de energia, enquanto os combustíveis fósseis são não-renováveis, assim depender de uma fonte de energia que se esgotará com o tempo não é seguro para um país. Diversificar a matriz energética é uma ação primordial neste sentido, e a utilização de fontes de energia renováveis garante que parte dessa matriz energética não dependerá desse esgotamento que um dia

acontecerá. Além disso, diminuindo a necessidade de exploração dos combustíveis fósseis, prolonga-se este tempo até que o mesmo acabe.

Uma outra alternativa está tão próxima da lixeira da cozinha quanto das plantas do lado de fora. É a “biomassa”: uma fonte de energia tão antiga quanto a humanidade e tão nova quanto o jornal de hoje. Fontes de biomassa estão apresentando um forte desenvolvimento atualmente como combustíveis alternativos para transporte em vários países, especialmente por causa dos altos preços do petróleo e dos novos padrões aceitos de poluição atmosférica. Neste trabalho será mostrado como é o desempenho deste biocombustível no Brasil.

Energia de biomassa é aquela derivada de matéria viva como os grãos (milho, trigo), as árvores e as plantas aquáticas; esta matéria viva também é encontrada nos resíduos agrícolas e florestais (incluindo os restos de colheitas e os estrumes) e nos resíduos sólidos municipais. A biomassa pode ser utilizada como combustível em três formas: combustíveis sólidos, como lascas de madeira; combustíveis líquidos produzidos a partir da ação química ou biológica sobre a biomassa sólida e/ou da conversão de açúcares vegetais em etanol ou metanol; e combustíveis gasosos produzidos por meio do processamento em alta temperatura e alta pressão (HINRICHS, 2010, p. 623-624).

Apesar destas vantagens, para produção de alguns biocombustíveis, em especial o etanol no Brasil, é necessária uma grande área para a plantação da cana-de-açúcar. Logo se passarmos a produzir muito etanol teremos grandes áreas cultivando somente cana-de-açúcar, áreas que poderiam ser utilizadas para produção de alimentos. Logo esse equilíbrio precisaria ser encontrado, de modo que não afete outros setores, como o mercado agropecuário.

Estas e outras discussões serão abordadas mais adiante mais detalhadamente.

## **2.1 Tipos de Biocombustíveis**

Será apresentado aqui uma lista dos biocombustíveis mais conhecidos atualmente, e seguirá uma explicação breve de cada um.

O bioetanol é o etanol produzido a partir de biomassa e/ou da fração biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível. O etanol é, numa definição simples, um álcool incolor, volátil, inflamável e totalmente solúvel em água, produzido através da fermentação da

sacarose, comercialmente conhecido como álcool etílico, cuja fórmula molecular é  $C_2H_5OH$  ou  $C_5H_6O$ . O etanol contém  $\pm 35\%$  de oxigênio na sua composição e permite uma combustão limpa, ou seja, da sua queima resulta somente calor (sem resíduos carbonosos), pelo que a emissão de  $CO_2$  é muito baixa (SANTOS, 2008, p. 3).

No Brasil este é o biocombustível mais comercializado e mais conhecido. Pode ser extraído de vegetais como o milho e a beterraba, porém no Brasil, onde o processo é considerado o mais avançado do mundo, ele é obtido através da cana-de-açúcar. Hoje este é um produto com diversas aplicações no mercado, nomeadamente como combustível automóvel na forma hidratada ou misturado à gasolina, em produtos como perfumes, desodorizantes, medicamentos, produtos de limpeza doméstica e bebidas alcoólicas.

O biodiesel é um combustível biodegradável alternativo ao diesel de petróleo, criado a partir de fontes renováveis de energia, sem enxofre na sua composição, que pode ser utilizado em motores diesel, caso esteja de acordo com as normas de qualidade da Agência Nacional do Petróleo - ANP, sem a necessidade de qualquer tipo de adaptação e sem perda de desempenho. A sua utilização contribui para o aumento da vida útil do motor, pois é melhor lubrificante que o diesel de petróleo; por ser originado de matérias-primas renováveis (basicamente álcool e óleo vegetal ou gordura animal) e possuir queima limpa, gera menos poluentes do que a combustão do diesel de petróleo (SANTOS, 2010, p. 6).

Mesmo não contendo petróleo, pode ser misturado ao diesel convencional em qualquer proporção, sem que isso gere qualquer tipo de prejuízo ou perda de desempenho do motor.

Para identificar a proporção da mistura de biodiesel ao diesel de petróleo definiu-se uma nomenclatura que se baseia nas proporções do biodiesel e diesel, ou seja, por exemplo, quando se tem uma mistura de 2% de biodiesel e 98% de diesel, esta recebe o nome de B2; uma mistura com 5% de biodiesel e o resto de diesel de petróleo é chamada de B5 e quando o combustível é apenas biodiesel designa-se por B100. A letra B que precede o número correspondente a porcentagem de biodiesel significa *blend* ou mistura em português.

E estes são os biocombustíveis mais utilizados no Brasil e no mundo. Porém há toda uma gama de outros biocombustíveis sendo utilizados ou desenvolvidos atualmente, abaixo segue alguns exemplos:

- O biogás é obtido obedecendo a critérios de fermentação,

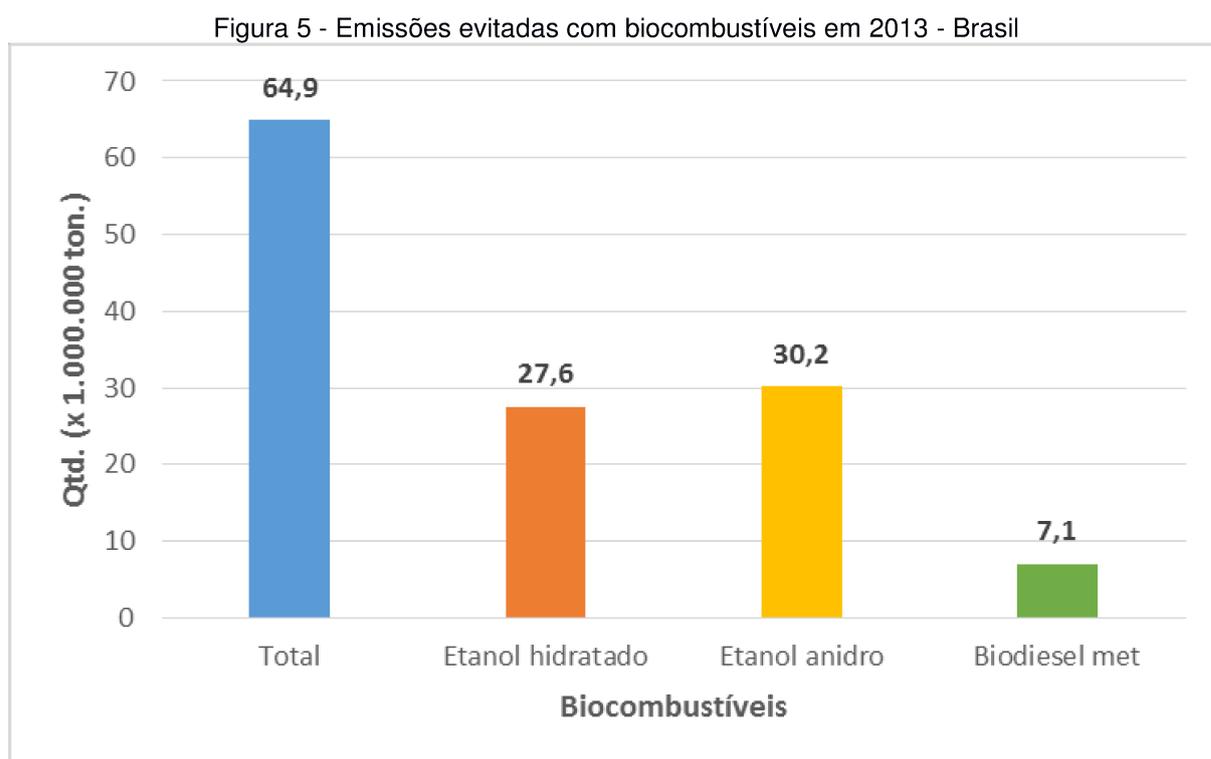
temperatura, umidade, acidez e com a ausência de oxigênio. A forma natural do biogás é conseguida pela ação de microorganismos bacteriológicos sobre o acúmulo de materiais orgânicos (Biomassa) como lixo doméstico, resíduos industriais vegetais, esterco de animais, entre outros. E a forma artificial é dada pelo uso de um reator químico-biológico chamado de Biodigestor Anaeróbico (LORA; et al, 2012).

- O biometanol é o metanol produzido a partir de biomassa, para utilização como biocombustível.
  - O bioéster dimetílico é o éter dimetílico produzido a partir de biomassa, para utilização como biocombustível.
  - O Bio-ETBE é o ETBE produzido a partir do bioetanol; A percentagem volumétrica de bio-ETBE calculada como biocombustível é de 47 %.
  - O Bio-MTBE é o combustível produzido com base no biometanol. A percentagem volumétrica de bio-MTBE calculada como biocombustível é de 36 %.
1. Os biocombustíveis sintéticos são hidrocarbonetos sintéticos ou misturas de hidrocarbonetos sintéticos produzidos a partir de biomassa.
    - O biohidrogénio é o hidrogénio produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos, para utilização como biocombustível.
    - E óleo vegetal puro que é produzido por pressão, extracção ou métodos comparáveis, a partir de plantas oleaginosas, em bruto ou refinado, mas quimicamente inalterado, para que a sua utilização seja compatível com o tipo de motores e os respectivos requisitos relativos a emissões.

### 3 PRÓS E CONTRAS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

#### 3.1 Vantagens

Relativamente ao impacto ambiental os combustíveis obtidos a partir de plantas reduzem a quantidade de dióxido de carbono emitido para atmosfera, pois as plantas absorvem carbono à medida que crescem, contrabalançando assim o carbono libertado quando o combustível é queimado. Pode-se afirmar que este carbono é neutro, ou seja, é de origem renovável, ao contrário do fóssil, pelo que a sua obtenção e queima não contribuem para o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, anulando assim o balanço de massa entre emissão de gases dos veículos e absorção dos mesmos pelas plantas. A figura 5 traz alguns dados a respeito das emissões de CO<sub>2</sub>.



Fonte: EPE (2013)

A utilização de biocombustíveis tem, assim, como consequência, a redução da emissão de GEE (Gases com Efeito de Estufa), responsáveis pelo aquecimento global (efeito estufa reduz), e outros poluentes atmosféricos, como, por exemplo, o enxofre. Estudos apontam índices de emissão de CO<sub>2</sub> até 80% menores do biodiesel em relação ao diesel de petróleo, o que o torna uma opção muito

menos agressiva para o meio-ambiente (SANTOS, 2010, P. 9).

No aspecto político, a grande vantagem dos biocombustíveis é tornar os países mais independentes dos fornecedores de petróleo, não ficando sujeitos às variações de mercado, cujos preços se prevê que possam subir cada vez mais.

Ao encorajar as companhias petrolíferas a mudar das plantas fósseis para as vivas, os governos proclamam, igualmente, estar a “descarbonizar” as redes de transporte.

No processo de fabricação dos biocombustíveis, produzem-se uma série de resíduos e subprodutos industriais, os quais podem, quando adequadamente geridos, contribuir para a viabilidade económica da produção de biodiesel. Esses resíduos, de natureza líquida e sólida, possuem potencial para uso na indústria de alimentos e para a nutrição animal, bem como na indústria químico-farmacêutica. É necessário realizar estudos de análises da viabilidade técnica e financeira, que possam apontar as melhores alternativas de custo-benefício para o processamento e tratamento desses resíduos, os quais podem agregar valor e reduzir os custos de produção de biodiesel.

A grande variedade de plantas bioenergéticas como fonte de matéria-prima para os biocombustíveis é, igualmente, uma mais valia para a sua produção. As plantas oleaginosas, são elementos naturais que podem ser cultivadas em climas semiáridos e não requerem nenhum investimento especial, nomeadamente nos países em vias de desenvolvimento onde, até a colheita pode ser feita manualmente evitando-se o êxodo rural para os grandes centros. Atualmente a jatrofa, que é uma cultura não comestível, tem vindo a impor-se nos países em desenvolvimento, pois é resistente à seca e exige pouca ou nenhuma utilização de pesticidas ou fertilizantes. As sementes de jatrofa podem ser colhidas três vezes por ano, e os subprodutos podem ser utilizados para fabricar sabão e medicamentos.

Na África do Sul, onde se processa já à refinação da jatrofa, muitos agricultores mudaram do tabaco para a esta cultura, o que se considera ser uma boa opção, visto que o tabaco é uma cultura muito agressiva para o ambiente; atualmente cultivam-se ± 200000 ha de Jatrofa no Malawi e 15000 ha na Zâmbia. É importante analisar o ciclo de vida desta cultura, assim como a sustentabilidade do biocombustível produzido, para se assegurar a proteção dos alimentos e da energia nestas regiões (SANTOS, 2010, p. 10).

A contribuição para gerar empregos no setor primário, que é muito importante para o desenvolvimento social, especialmente nos países em desenvolvimento que têm grande potencial para a produção de biomassa, permite evitar o êxodo dos trabalhadores do campo para as cidades, favorecendo o ciclo da economia autossustentável essencial para a autonomia desses países.

O debate sobre os biocombustíveis tem-se centrado quase exclusivamente na substituição do petróleo utilizado no setor dos transportes, mas deveria ser alargado à importância que os biocombustíveis podem ter para a produção de eletricidade, que é o grande motor do desenvolvimento dos países do terceiro mundo.

A procura de petróleo em poços cada vez mais profundos tem aumentado os gastos na sua prospecção o que torna cada vez mais onerosa a exploração e a refinação das riquezas naturais do subsolo, o que favorece a exploração dos recursos da superfície.

Além dessas vantagens, nenhuma modificação nos atuais motores do tipo ciclo diesel torna-se necessária para misturas de biodiesel com diesel até 20%; percentagens superiores requerem avaliações mais elaboradas do desempenho do motor. Os motores dos automóveis atuais permitem uma integração de 10 a 15 por cento de bioetanol, mas há estudos para motores que podem funcionar com 85 - 100% de bioetanol (SANTOS, 2010, p. 10).

O etanol por sua vez já é difundido em todo o país, sua tecnologia já está estabelecida, possui uma aceitação no mercado permitindo assim total integração com qualquer quantidade deste combustível em grande parte dos veículos em circulação.

### **3.2 Desvantagens**

A agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil se encontra em expansão, com isso um importante tema que tem sido debatido são os possíveis aumentos de preços de alimentos cujos cultivos vêm sendo substituídos pela atividade canavieira. É certo que nos últimos anos a expansão das lavouras de cana ocorreu tanto sobre áreas destinadas à pecuária como sobre aquelas destinadas a atividades agrícolas que têm apresentado menor rentabilidade comparativamente à da cana. Esta questão não é, em si, um problema sem solução, haja vista a disponibilidade de todos os fatores de

produção no Brasil, em especial terra, como se demonstra na seção sobre biodiesel mais adiante.

Um estudo divulgado em Paris pela FAO - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação e OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico, revela que a crescente procura de biocombustíveis já está a provocar uma alteração no mercado agrícola internacional, com a conseqüente subida dos preços de alguns alimentos. Segundo a FAO, o preço da carne subiu 7,6% no mês de Março (2007) em comparação com igual período em 2006 e o preço dos produtos lácteos aumentou 46% desde Novembro. Em relação aos EUA a OCDE/FAO, estima que, no período entre 2007 e 2008, serão necessárias 86 milhões de toneladas de milho para a produção de etanol, ou seja, 60% a mais (30 milhões de toneladas) do que o total utilizado no período anterior; o volume total de exportações de milho em todo o mundo, é estimado em 82 milhões de toneladas. Nos EUA, a quantidade anual de etanol produzido a partir do milho deverá duplicar até 2016. O preço do milho americano aumentou mais de 50 por cento desde Setembro de 2006, e atingindo o preço mais alto em 10 anos de 4,77 dólares por bushel ( $\pm 35$  l); a procura americana do bioetanol fez desviar o milho da exportação, deixando os compradores de milho da Ásia numa situação muito difícil (SANTOS, 2010, p. 11).

Debate semelhante, envolvendo a cana versus a produção de alimentos já ocorreu também na época da implantação do Proálcool, na metade da década de 1970, quando houve expansão significativa da atividade canavieira na região Centro-Sul do país, especialmente no estado de São Paulo. Da mesma forma que na atualidade, houve o deslocamento de cultivos interregiões, em resposta ao aumento do etanol e do biodiesel. De toda forma, há de serem integradas outras políticas que atentem para as dificuldades regionais e dos agricultores, por meio de incentivos aos alimentos.

Nesse contexto de expansão, é importante que os agentes envolvidos no processo produtivo, da mesma forma que os governos federal e estaduais, tenham em conta que alguma diversificação nos estados, nos municípios e nas propriedades agrícolas se faz necessária de forma a minimizar riscos à segurança alimentar. A expansão da oferta e da demanda nem sempre vai ocorrer de forma plenamente harmonizada de modo a assegurar, em todos os anos, preços compensadores para todos os produtos (IPEA, 2010, p. 9).

Na seção sobre o biodiesel, neste capítulo, é demonstrado que a quantidade de terra não é parâmetro razoável para se analisar tal conflito, pois está claro que o Brasil tem áreas suficientes para os cultivos de alimentos e de

biocombustíveis. Trata-se, portanto, de direcionar a produção de forma integrada e coordenada, o que se mostra possível em sistemas de consórcio de cultivos, por exemplo, cujas tecnologias já estão disponíveis.

Necessita-se, portanto, especial atenção estatal na regulação da produção de etanol e biodiesel, bem como na priorização da produção de alimentos com financiamento e infraestrutura, inclusive em melhores condições do que para aquelas adotadas para a cadeia sucroalcooleira. Não resta dúvida de que as instituições responsáveis têm condições de conduzir tais ações de forma a viabilizar todas as demandas e necessidades.

A produção de biocombustíveis implica a ocupação parcial das áreas atualmente utilizadas para as culturas alimentares e florestas. No Brasil e na Ásia, a produção de soja e palma, cujos óleos são fontes potencialmente importantes de biodiesel, estão a invadir florestas tropicais que são importantes bolsas de biodiversidade, o que poderá conduzir ao desaparecimento de muitas espécies, nomeadamente o orangotango e o rinoceronte de Sumatra. A produção intensiva da matéria-prima de origem vegetal para produção de biocombustíveis leva, assim, a um esgotamento das capacidades do solo, o que pode ocasionar a destruição da fauna e flora natural, aumentando o risco de erradicação de espécies e o possível aparecimento de novos parasitas, como o causador da Malária.

Entre 1990 e 2002, a área de palmeiras-de-óleo-africano (*Elaeis guineensis*), também conhecida por palma, dendezeiro, dendê etc. plantada aumentou em 43%, tendo ocorrido a maior parte deste crescimento na Indonésia e Malásia. Entre 1985 e 2000, as plantações de palma foram responsáveis por 87% do desmatamento da Malásia e há planos para ocupar 6 milhões de hectares a mais de florestas. Em Sumatra e Bornéu, cerca de 4 milhões de há de florestas foram transformadas em terra de cultivo de palma. Com produções de 5 toneladas (ou 6 000 litros) de óleo bruto / ha / ano, o óleo de palma produz muito mais do que qualquer outra cultura oleaginosa, prevendo-se que a produção atual global de óleo de palma de mais de 28 milhões de toneladas por ano duplique em 2020; por exemplo, a soja e o milho geram apenas 446 e 172 litros por hectare por ano (SANTOS, 2010, p. 12).

Na África tem-se verificado igualmente a destruição de florestas tropicais e terras florestais indígenas para a produção de palma e açúcar.

A seguir nas tabelas 1 e 2, é apresentado algumas comparações relevantes entre os biocombustíveis e alguns combustíveis fósseis, juntamente de suas

características.

Tabela 1 - Comparação das Propriedades dos Combustíveis, parte 1

	Gasolina/E10	Diesel baixo teor de enxofre	Biodiesel	Propano	Gás Natural Comprimido
<b>Estrutura Química</b>	C <sub>4</sub> a C <sub>12</sub> e etanol ≤10%	C <sub>8</sub> a C <sub>25</sub>	Ésteres metílicos de C <sub>12</sub> a C <sub>22</sub> ácidos graxos	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (maioria) e C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (minoría)	CH <sub>4</sub> (maioria), C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> e gases inertes
<b>Matéria-prima</b>	Óleo cru	Óleo cru	Gorduras e óleos de fontes como soja, óleo de cozinha descartado, gordura animal e colza	Um subproduto do refino do petróleo ou do processamento do gás natural	Reservas subterrâneas e biogás renovável
<b>Equivalente em Galões de Gasolina [4]</b>	97%-100%	113%	B100 possui 103% em relação à gasolina e 93% à diesel B20 possui 109% em relação à gasolina e 99% à diesel	73%	2,5kg - 100% gasolina 2,9kg - 100% diesel
<b>Conteúdo energético (valor calorífico inferior)</b>	31.249 - 32.358 KJ/l	35.813 KJ/l	33.322 KJ/l para B100	23.483 KJ/l	46.951 KJ/kg
<b>Conteúdo energético (valor calorífico superior)</b>	33.556 - 34.657 KJ/l	38.602 KJ/l	35.666 KJ/l para B100	25.482 KJ/l	52.291 KJ/kg
<b>Estado Físico</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido pressurizado	Gás comprimido
<b>Número de Cetano</b>	N/A	40-55	48-65	N/A	N/A
<b>Octanagem</b>	84-93	N/A	N/A	105	120+
<b>Ponto de Fulgor (°C)</b>	-42,8	73,9	100 a 170	-73,3 a -101,1	-184,4
<b>Ponto de Ignição (°C)</b>	257,2	~315,5	~148,9	454,4 a 510	540
<b>Problemas de Manutenção</b>			Mangueiras e vedações podem ser afetadas por um alto percentual na mistura. Lubrificação é melhorada frente ao uso do diesel convencional		Tanques de alta pressão requerem inspeção e certificação periódica

Fonte: <http://www.afdc.energy.gov> (2014). Adaptado

Tabela 2 - Comparação das Propriedades dos Combustíveis, parte 2

	<b>Gás Natural Liquefeito</b>	<b>Etanol/E100</b>	<b>Metanol</b>	<b>Hidrogênio</b>	<b>Eletricidade</b>
<b>Estrutura Química</b>	CH <sub>4</sub> igual o Comprimido com gases inertes <0,5%	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> OH	H <sub>2</sub>	N/A
<b>Matéria-prima</b>	Reservas subterrâneas e biogás renovável	Milho, grãos ou resíduos agrícolas (celulose)	Gás natural, carvão ou biomassa lenhosa	Gás natural, metanol e eletrólise da água	Carvão, nuclear, gás natural, hidroenergia e pequena porcentagem de eólica e solar
<b>Equivalente em Galões de Gasolina [4]</b>	2,4kg - 100% gasolina 2,7kg - 100% diesel	E85 - 73% a 83% E10 - 96,7%	0,49	1kg - 100%	33,7 kWh - 100%
<b>Conteúdo energético (valor calorífico inferior)</b>	49.044 KJ/kg	21.276 KJ/l para E100	15.957 KJ/l	14.378 KJ/kg	3.602 KJ/kWh
<b>Conteúdo energético (valor calorífico superior)</b>	55.256 KJ/kg	23.561 KJ/l para E100	18.173 KJ/l	17.006 KJ/kg	3.602 KJ/kWh
<b>Estado Físico</b>	Líquido criogênico	Líquido	Líquido	Gás comprimido ou líquido	Eletricidade
<b>Número de Cetano</b>	N/A	0-54	N/A	N/A	N/A
<b>Octanagem</b>	120+	110	112	130+	N/A
<b>Ponto de Fulgor (°C)</b>	-187,8	12,8	11,1	N/A	N/A
<b>Ponto de Ignição (°C)</b>	540	422,8	480,6	565,6 a 582,2	N/A
<b>Problemas de Manutenção</b>	É armazenado tanques criogênicos com um tempo de espera antes da pressão acumulada ser aliviada, o veículo deve ser operado em uma programação para manter a baixa pressão no tanque	Lubrificantes especiais podem ser necessários. Práticas similares, se não idênticas, às convencionais de operações com combustível	Lubrificantes especiais devem ser utilizados como peças compatíveis com M85 devem ser usadas.	Quando hidrogênio é utilizado em aplicações com células de combustível, manutenção deve ser mínima. Tanques de alta pressão requerem inspeção e certificação periódica	É provável que a bateria vá precisar ser substituída antes do veículo ser descartado

Fonte: <http://www.afdc.energy.gov> (2014). Adaptado

## 4 SITUAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

### 4.1 Etanol

Nos anos 1920 o etanol teve sua estreia comercial no Brasil, e desde então alternou em momentos de maior e menor intervenção do Estado. Porém, somente com o advento do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), na década de 1970, é que se definiu claramente uma estratégia de médio e longo prazo, permitindo que o setor privado investisse no aumento da produção e no desenvolvimento da cadeia. O peso do petróleo na conta da balança de pagamentos do país foi a motivação do governo para lançar o Proálcool, que importava na época mais de 80% do petróleo que consumia, além da questão de segurança energética. O fato da indústria canavieira ter um potencial de produção não utilizado também contribuiu para o projeto.

Contudo, com o aumento da produção interna de petróleo e com a queda de seus preços internacionais, em meados da década de 1980, o governo reduziu sua interferência neste mercado, desmotivou a produção de etanol e gerou um quadro de dificuldades que encerrou a fase de expansão do Proálcool. Em 1986 o governo federal reviu as políticas de fomento, retirando o subsídio ao álcool, o que reduziu a rentabilidade média da agroindústria canavieira e estimulou ainda mais o uso da cana para a fabricação de açúcar para exportação.

O carro movido a etanol hidratado (álcool etílico), que é utilizado em adição à gasolina, perdeu competitividade em relação aos carros à gasolina. Porém, a obrigatoriedade do uso do álcool anidro na mistura com a gasolina, bem como a velha frota de carros movidos exclusivamente pelo álcool hidratado mantiveram o programa vivo. Outro ponto de grande relevância para a sobrevivência do etanol foi a manutenção da infraestrutura de abastecimento – o biocombustível continuou disponível em mais de 90% dos 30 mil postos do país. A partir de 2003, com o lançamento dos veículos flexíveis ao combustível, o consumo do etanol hidratado voltou a crescer de modo expressivo, elevando os números de todas as etapas da cadeia de produção e consumo (IPEA, 2010, p. 2).

É importante observar que, apesar do futuro do etanol estar aparentemente indefinido nessa época, estudos independentes sugeriam a necessidade de manter o programa em operação. Foi proposto em novo contexto, um ajuste na taxa de crescimento, mas assegurando a continuidade do programa, não somente pelos

benefícios ambientais e econômicos associados, como também pelos ganhos de produtividade – da matéria-prima e do trabalho – em curso. Chegou-se a estimar que o etanol poderia ser competitivo frente ao petróleo a partir de US\$ 30 o barril (SERÔA DA MOTTA; FERREIRA, 1988). Posteriormente, tal competitividade foi estimada para o patamar de US\$ 70 o barril, no Plano Nacional de Agroenergia (PNA) (BRASIL, 2006), condição que ainda prevalece.

As condições atuais tanto de produção quanto de consumo de biocombustíveis possuem diferenças importantes em relação à época e aos apelos do Proálcool. Isto ocorre em aspectos como: ambiente de competição de livre mercado, adesão de outros países aos biocombustíveis, redefinição da matriz energética, competição por outros usos da terra e o estímulo à transformação do etanol em *commodity*. Outra importante diferença é o maior apelo das questões ambientais envolvendo a busca por alternativas de energias renováveis, aspecto que o setor sucroalcooleiro ganhou espaço, com o fornecimento de energia elétrica pela queima do bagaço da cana.

O volume de cana moída no ano civil de 2013 foi de 649,3 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de 9,3% em relação a 2012. A taxa média de crescimento anual da moagem de cana de 2000 a 2009 foi de 10,4%, enquanto a calculada para o período de 2000 a 2013, caiu para 6,3% a.a., em decorrência dos problemas já citados, ocorridos em 2010 e, principalmente, em 2011, quando houve um decréscimo considerável na produção.

[...]

O retorno adequado dos tratos culturais e da renovação dos canaviais possibilitou a recuperação da safra brasileira de cana. Com isso, foi possível aumentar o percentual de anidro neste combustível, de 20% para 25%, em maio de 2013, reduzindo-se assim o déficit de Gasolina A no País, resultante da forte expansão da demanda nacional de gasolina C. A produção de etanol anidro no Brasil em 2013 foi 22% superior ao observado em 2012. Ao mesmo tempo, a produção de etanol hidratado começou a inverter a tendência de queda observada desde 2010, com um volume 15% superior a 2012 (EPE, 2014).

Com base nessas dimensões, é apresentado aqui neste estudo uma discussão sobre as potencialidades do etanol, os principais desafios a serem enfrentados e as perspectivas do crescimento deste setor no Brasil. Resumidamente, são destacadas a caracterização histórica do setor de etanol no Brasil, em aspectos conjunturais e de reestruturação do mercado, a exemplo da formação do preço e da concentração da produção. Também são levantadas questões na área tecnológica,

de aspectos ambientais, de regulação e de financiamento do setor e suas interfaces com as políticas públicas.

## 4.2 Biodiesel

Uma efervescência do debate sobre o momento de transição da matriz energética mundial marcou os anos 2000. Devido ao seu peso para o desenvolvimento econômico e para os impactos ambientais o tema Energia e Combustíveis Renováveis tem sido um dos maiores demandantes de pesquisas nesses anos. As políticas públicas nesta área enfrentam desafios que vão desde a compreensão das oportunidades e dos riscos econômicos, sociais e ambientais do setor energético até a regulação do mercado e o estabelecimento de mecanismos indutores da agroenergia na consolidação da nova matriz.

Jonasse (2009) aborda a inviabilidade da concorrência leal entre grandes e pequenos produtores, em uma perspectiva de competição no mercado dos biocombustíveis, considerando as fragilidades inerentes aos pequenos. Pinto Jr. (2006) alerta para uma natural busca de matéria-prima determinante, ou guia para o mercado, da mesma forma que prevalece indefinido qual será o tipo de energia dominante em lugar do petróleo, o que influencia a agroenergia. Sawyer (2007) alerta para os riscos da expansão descontrolada dos biocombustíveis com geração de passivos sociais e ambientais devido à possibilidade de tecnologias inovadoras deslocarem a produção para determinadas regiões, causando o abandono de outras.

No caso do biodiesel, nesse momento de transição, parece natural que a diversificação de fontes, o desenvolvimento de novas tecnologias e a tentativa da inserção social sejam temas que demandem políticas públicas, para além do simples incentivo estatal para cobrir as falhas do mercado. Assim, o eixo norteador desta seção é uma reflexão sobre as condições que possibilitam a expansão da produção e do uso do biodiesel, tendo como referenciais de análise as diretrizes, as metas e os objetivos do Plano Nacional de Agroenergia (PNA) e do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

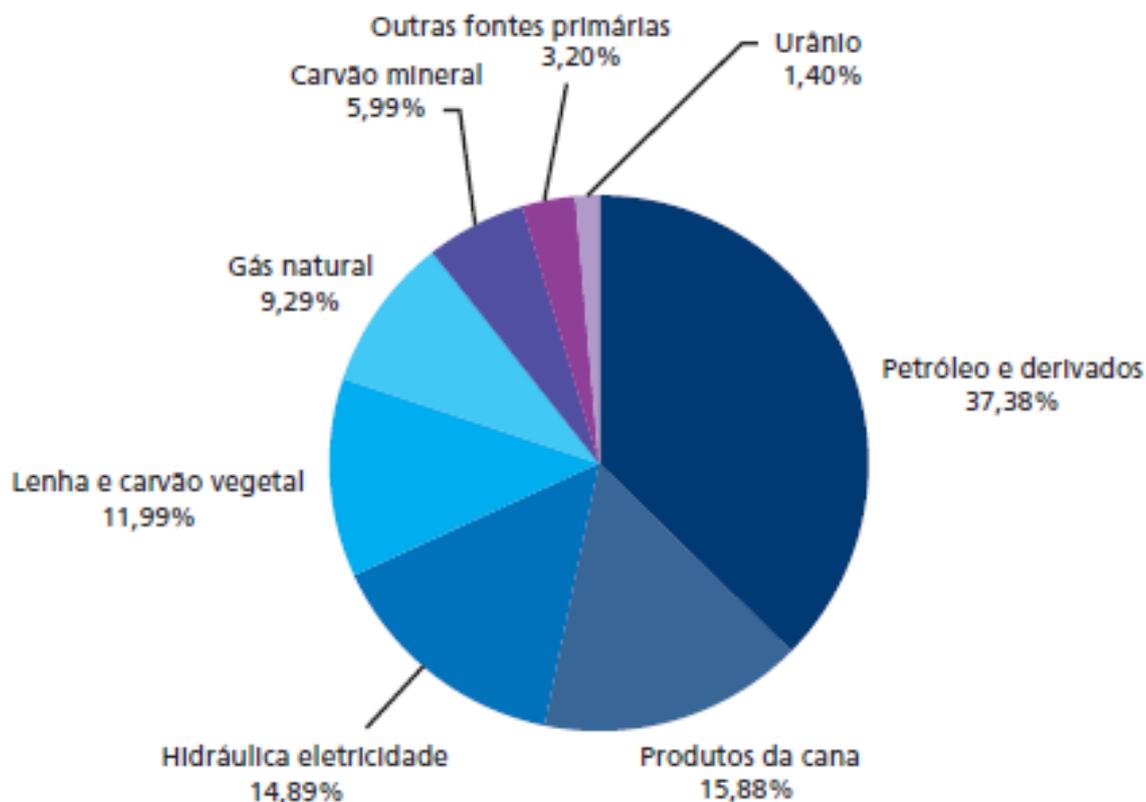
Embora a Lei no 11.097/2005 tenha previsto que a adição obrigatória do biodiesel fosse de 2% de 2005 a 2007, de 3% de 2008 a 2012 e de 5% a partir de 2013, o alcance de 4% em 2009 e de 5% em 2010 não são indicadores de sucesso total do biodiesel, quando se considera o

conjunto das diretrizes do PNPB. O atendimento a padrões ambientais na produção, a geração de empregos em todos os segmentos da cadeia produtiva, o domínio da tecnologia portadora de futuro, novos instrumentos de regulação e o ordenamento dos usos da terra são aspectos essenciais para se pensar o setor (IPEA, 2010, p. 20-21).

Além do mais, o biodiesel representa oportunidades. O Estado tem nele um referencial que jamais se observou com tal intensidade em política energética, que é a possibilidade de induzir cadeias de produção de energia aliadas ao desenvolvimento regional. Além dos fundamentos econômicos de um negócio novo, há o apelo dos problemas ambientais e das mudanças climáticas, que justificam políticas e investimentos nesse sentido. As muitas vantagens dos combustíveis renováveis, menos emissores dos gases de efeito estufa (GEE) comparativamente ao petróleo, facilitam o desenvolvimento do setor. Todavia, é necessário destacar problemas e maneiras de os superar, aspectos apenas iniciados neste texto.

O Plano Decenal de Energia 2008-2017 (BRASIL, 2009b) estima a participação dos biocombustíveis não somente para o uso em veículos, como também na geração de energia elétrica, embora de forma secundária e estagnada a partir de 2010. A participação do biodiesel na matriz energética nacional, até 2008, correspondia a menos de 1% da Oferta Interna de Energia (OIE), como mostra a figura 6. O crescimento da participação do biodiesel na OIE traz a expectativa de oportunidade de inserção social.

Figura 6 - Oferta interna de energia por fonte no BEN 2008



Fonte: BRASIL (2009a, p. 20)

Cabe observar que os biocombustíveis representam uma pequena parcela da matriz energética mundial em transição. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), os biocombustíveis forneceram, até 2006, 1% da energia consumida no transporte, no mundo, com previsão de atingir 6% em 2030 (COTULA; DYER; VERMEULEN, 2008). Isto significa passar dos 14 milhões de hectares de terra utilizada em 2006 para cerca de 90 milhões em 2030, se mantidas as condições atuais dos cultivos e das tecnologias de produção.

Ainda pelos dados de Cotula, Dyer e Vermeulen (2008) chega-se à conclusão de que seriam necessários 50% (1,4 bilhão de ha) da terra agricultável e disponível no planeta para que os biocombustíveis oriundos da agricultura (incluindo o etanol) fornecessem toda a energia do setor de transportes, nos padrões atuais de produção. Para o futuro, pesquisadores alertam que os biocombustíveis têm capacidade de superar o correspondente de energia dos novos campos de petróleo no Brasil (o pré-sal), devido ao forte avanço tecnológico em curso e, principalmente, à utilização de novas matérias-primas, conforme destacado adiante.

Na impossibilidade de abordar uma série de controvérsias em torno do tema, a reflexão, aqui, parte das seguintes perguntas: quais desafios se destacam para as políticas públicas nas cadeias etanol/biodiesel no médio prazo? Quais são os determinantes do desenvolvimento do biodiesel no Brasil? Que demandas de infraestrutura se relacionam com a expectativa de aumento da produção do biodiesel?

Para desenvolver tais questões, de forma sucinta, são aqui delimitados abordados apenas alguns conteúdos para a análise, os considerados mais relevantes. Estes conteúdos procuram abarcar os aspectos centrais das políticas para o biodiesel, conforme os textos do PNA, do PNPB, e do debate acadêmico.

## 5 CARACTERIZAÇÃO HISTÓRICA

### 5.1 Etanol

A relação do Brasil com o etanol foi estabelecida a partir da década de 1920. Desempenharam papel muito importante para o crescimento do setor alcooleiro no país, o extinto Instituto de Açúcar e do Alcool (IAA) e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), ao buscar, no exterior, a melhor tecnologia então disponível para a fabricação do álcool etílico. No fim dos anos 1930 foram realizadas novas aquisições de máquinas e as Usines de Melle, instaladas na França, responsáveis pelo desenvolvimento e pela patente do processo de fermentação com reciclo do fermento.

O governo brasileiro, ao criar o Proálcool em 1975 (Decreto no 76.593), tinha o objetivo de estimular a produção do combustível, visando ao mercado interno e externo. De acordo com o decreto, a produção oriunda da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo deveria ser incentivada por meio da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, na modernização, na ampliação e instalação de novas unidades produtoras e na construção de unidades armazenadoras. Os veículos movidos a álcool chegaram a atingir 85% das vendas totais no país, como em 1985 quando ocorreu uma reviravolta no cenário, com a redução dos preços do petróleo e a recuperação dos preços do açúcar nos respectivos mercados internacionais. Isto desmotivou a produção de etanol e gerou um quadro de dificuldades que encerrou a fase de expansão do Proálcool. Em 1986 o governo federal reviu as políticas de fomento, retirando o subsídio ao álcool, o que reduziu a rentabilidade média da agroindústria canavieira e estimulou ainda mais o uso da cana para a fabricação de açúcar para exportação (IPEA, 2010).

Essa escolha governamental para o etanol e também a ausência de políticas específicas de incentivo para esse biocombustível, teve como resultado em 1989 os consumidores enfrentarem descontinuidades na oferta do produto. Foram necessárias medidas emergenciais como a redução do teor de álcool anidro na gasolina, a importação de etanol e o uso de mistura de gasolina com metanol, como substituto ao etanol anidro, pois os mecanismos de formação de estoques de segurança não funcionaram como esperado.

Uma consequência duradoura da crise de abastecimento foi a perda de confiança do consumidor brasileiro, levando a uma inevitável queda das vendas dos

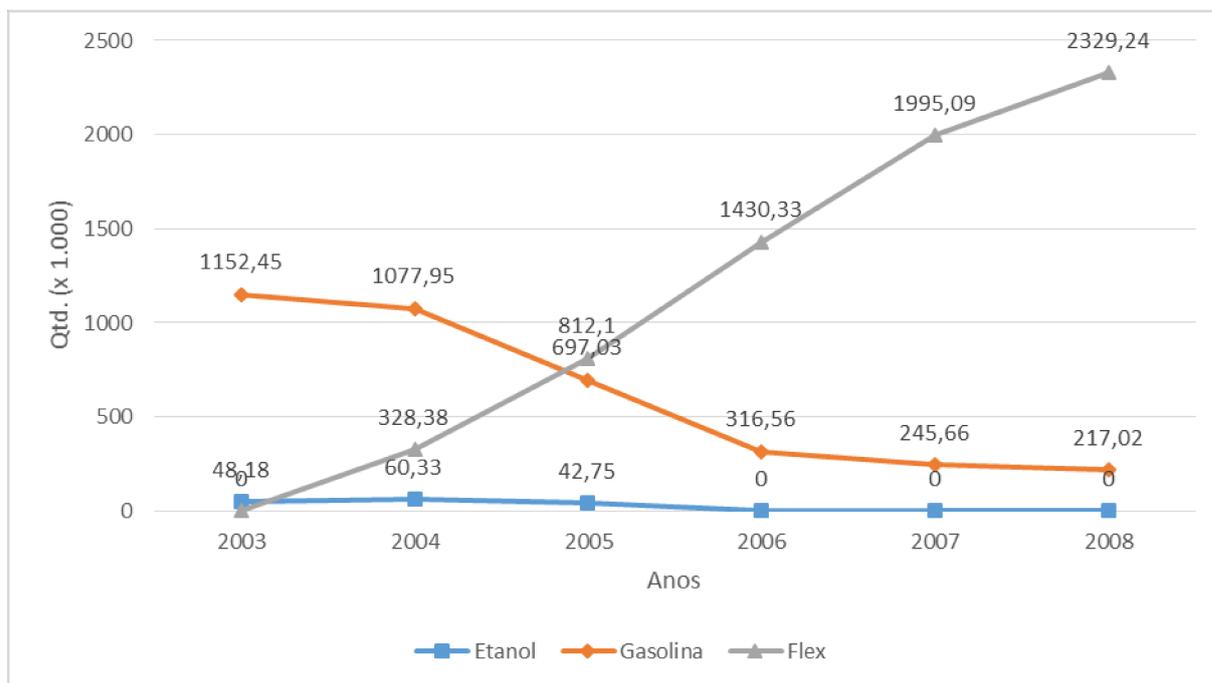
carros movidos exclusivamente a etanol. Assim, as vendas de veículos a etanol atingiram uma participação de apenas 11,4%, em 1990 (SCANDIFFIO, 2005). Somente a partir de meados de 2003, com o lançamento dos veículos flexíveis ao combustível, a produção e o consumo do etanol hidratado voltaram a crescer de modo expressivo.

Até o início dos anos 1990 as características estruturais básicas da agroindústria sucroalcooleira, no Brasil, eram resultantes de décadas de controle estatal, com a produção agrícola e industrial sob controle das usinas, além de uma heterogeneidade produtiva – especialmente na produção da cana. Adicionalmente, o reduzido aproveitamento de subprodutos e a competitividade eram fundamentados, em grande medida, nos baixos salários – que assim permanecem – e na produção extensiva da cana. As diferenças técnicas eram significativas entre as unidades produtivas das regiões Norte – Nordeste e Centro – Sul e, mesmo dentro das regiões, existiam diferenças acentuadas de produtividade e escala de produção (BNDES, 2007). Atualmente estas diferenças se reduziram, mas, devido aos vários fatores envolvidos, o rendimento médio da cana ainda oscila entre 70 mil toneladas por hectare (ha) a 84 mil toneladas, de uma região para outra.

Outra importante medida implantada no começo dos anos 1990, que revisou o papel do Estado na economia nacional, foi que o governo brasileiro desencadeou o processo de desregulamentação do setor. Em 2001 os controles governamentais ainda impostos ao mercado, no que se referiam a preços e cotas, foram totalmente retirados, passando a prevalecer a livre competição entre os produtores.

A partir de 2002 houve a elevação dos preços internacionais do petróleo e o conseqüente aumento do preço da gasolina trouxeram de volta o interesse do consumidor pelo carro a álcool. Porém, as vendas não emplacavam pelo receio que a população tinha quanto à garantia de abastecimento, até o momento em que as montadoras de veículos disponibilizaram o motor flexível ao combustível Flex Fuel Vehicle (FFV). A resposta a estas mudanças pode ser observada na figura 7, que apresenta as vendas por tipo de automóvel nos anos recentes, mostrando a volta do dinamismo do etanol.

Figura 7 - Evolução das vendas de automóveis por tipo de combustível utilizado (em milhares de carros novos)



Fonte: União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica). Elaboração pelo IPEA (2010)

Como pode ser verificado pelos dados da figura 7, o desenvolvimento da tecnologia FFV marca um novo momento para o mercado do etanol no Brasil, que se consolida a partir de 2005. Este é um contexto no qual se pode considerar um sistema integrado, que liga o setor sucroalcooleiro com o da produção de automóveis e se posiciona no cenário econômico como um dos mais dinâmicos da economia brasileira.

O fato de o Brasil já deter a excelência em pesquisa canavieira e de ter transformado a tecnologia deste segmento em uma referência internacional têm sido também fundamentais para que sejam superadas as oscilações do mercado. O setor sucroalcooleiro passou a apresentar ganhos em produtividade, enquanto os preços do petróleo apresentam uma tendência de continuidade da trajetória crescente. Estes fatos conferem maior segurança ao setor e fazem que a indústria automotiva se interesse pelos carros bicompostíveis. Assim, a busca por energias renováveis menos agressivas à saúde humana e ao meio ambiente transformou o etanol em grande aposta econômica do país. Além disso, a demanda por este combustível no mercado internacional tem sido crescente a partir de 2005, sendo o Brasil o maior exportador (maior market share). Até meados de 2002 as exportações brasileiras de álcool eram insignificantes, mas com o crescimento da demanda no mercado internacional o volume exportado cresceu de 516 milhões de litros em 2001-2002, para 4,7 bilhões de litros, na safra 2008-2009, de um total produzido próximo de 25 bilhões de litros de etanol nesta safra. As

exportações de açúcar, desde a safra 2004-2005, superam as 16,5 milhões de toneladas, alcançando 20,7 milhões em 2008-2009 (IPEA, 2010).

O crescimento das exportações brasileiras de açúcar explica boa parte da significativa expansão do setor sucroalcooleiro nacional nos últimos anos. Porém, doravante a perspectiva é de fornecer o etanol para o mercado interno em expansão e para o mercado internacional, devido à grande busca por fontes renováveis de energia. Este crescimento abrange tanto as tradicionais regiões produtoras como São Paulo, quantos os estados na fronteira agrícola. São exemplos as unidades em operação ou com pedidos de instalação nos estados de Goiás, da Bahia e de Mato Grosso do Sul, em que a maior rentabilidade da cana-de-açúcar frente ao gado e à maioria das culturas agrícolas faz que os canaviais avancem e gradualmente tomem o lugar da pecuária e da agricultura, as quais se deslocam para microrregiões ou mesorregiões de distintas características.

O mercado internacional de etanol apresenta potencial para crescer rapidamente nos próximos dez anos, podendo atingir mais de duas centenas de bilhões de litros. No entanto, a natureza estratégica do produto tende a induzir algum grau de protecionismo, dificultando o acesso das vendas brasileiras e retardando as compras por parte de alguns importantes atores, como a União Europeia (UE) e os Estados Unidos, que tendem a privilegiar a produção doméstica antes de recorrer às importações. Outra tendência é que as grandes empresas destes países, que já dominam o mercado mundial de produção de etanol e de fornecimento de máquinas, tecnologias e demais insumos, passem a produzir em terras brasileiras e em outros países em torno do Equador para exportar para o seu mercado consumidor (IPEA, 2010).

O Brasil possui o menor custo de produção do etanol, essencialmente, porque usa a cana-de-açúcar como matéria-prima e porque a mão de obra na fase agrícola é barata relativamente aos outros fatores de produção e à cadeia de petróleo (SOUSA; MACEDO, 2009). A cana possui um rendimento maior do que as outras matérias-primas por possuir maior concentração de sacarose. O milho utilizado nos Estados Unidos, por exemplo, apesar de ser um produto considerado altamente competitivo, tem custo maior, pela necessidade de quebrar a molécula do amido e transformá-lo em sacarose enquanto a cana-de-açúcar não necessita de nenhum processo de quebra.

Também é relevante o fato de as distribuidoras de combustíveis e as redes

de abastecimento se caracterizarem como os grandes agentes integradores do setor de biocombustíveis, por serem vinculados à cadeia de derivados de petróleo e objeto de regulação estatal em estágio mais avançado, diferentemente de outros países produtores de biocombustíveis. Isto possibilita que, no Brasil, não seja mais necessário qualquer tipo de subsídio direto sobre a produção e a comercialização de etanol, diferentemente do que ocorre em outras nações. Porém, ações do governo para o setor continuam a ocorrer, como parece natural, principalmente para o equilíbrio entre preços e custos na cadeia: ocorrem por meio da manutenção de preços da gasolina em patamares que não inviabilizem o álcool quando o preço do petróleo cai; pela garantia de mistura de até 25% de álcool anidro à gasolina; pela manutenção de linhas de financiamento que fazem do setor sucroalcooleiro um dos maiores tomadores de crédito junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); e pela dotação da infraestrutura necessária. A livre escolha do mercado entre a produção do etanol ou do açúcar também é um fator determinante para o equilíbrio do setor, embora esta flexibilidade não seja imediata.

Vale ressaltar que a estratégia brasileira na área de biocombustíveis está associada a preocupações com a segurança energética e com a utilização de energias renováveis com sustentabilidade ambiental, fatores que têm estimulado diversos países a buscar alternativas aos combustíveis fósseis e a adotar medidas para reduzir emissões de gases de efeito estufa.

Essa estratégia, no caso do Brasil, se associa ainda a diversas ações, estruturadas em três vertentes: global, regional e bilateral. Na vertente global, o Brasil tem defendido a adoção de padrões e normas técnicas internacionais que permitam o estabelecimento de mercado global para esses produtos. Para criar um mecanismo de coordenação entre os maiores produtores/consumidores de biocombustíveis, foi criado, em março de 2007, nos Estados Unidos, o Fórum Internacional de Biocombustíveis. Além disso, é objetivo do Brasil estimular estudos científicos e inovações tecnológicas que garantam a sustentabilidade no longo prazo da produção de biocombustíveis, assim como a não interferência de sua produção no cultivo de alimentos.

No âmbito regional, o Brasil tem estimulado a integração energética da América do Sul, com a promoção da diversificação da matriz nos países da região e o incentivo às fontes de energia renováveis. Também foi assinado Memorando de Entendimentos do Mercado

Comum do Sul (Mercosul) para ampliar a cooperação no tema. A integração das cadeias de produção e de comercialização do etanol e do biodiesel na região – incluindo aspectos de regulação e fiscalização – visa contribuir para o aproveitamento das importantes vantagens competitivas dos países sul-americanos no campo dos biocombustíveis, reconhecendo a oportunidade de se produzir riqueza e desenvolvimento de modo sustentável na região.

A terceira vertente de atuação brasileira, no campo bilateral, abrange iniciativas de cooperação técnica – inclusive na pesquisa de fontes alternativas para a produção de biocombustíveis – e de promoção de intercâmbio científico e acadêmico. Sua operacionalização se tem dado por meio da assinatura de memorandos com Paraguai, Uruguai, Chile, Equador, Itália e outros países. O recente Memorando de Entendimentos assinado com os Estados Unidos também prevê cooperação em terceiros países para o desenvolvimento dos biocombustíveis.

Do ponto de vista das políticas públicas para o setor, podem-se destacar dois momentos, em 2009, que exemplificam a possibilidade de produção de etanol com sustentabilidade socioambiental. Em junho, o governo federal, o setor sindical e as usinas lançaram o Compromisso Nacional para Aperfeiçoar as Condições de Trabalho na Cana-de-Açúcar; e em setembro, o governo divulgou o Zoneamento Agroecológico (ZAE) da Cana-de-Açúcar, propondo vetos à expansão da cultura e à instalação de novas usinas na Amazônia, no Pantanal e na bacia do Alto Paraguai, indicando regiões de cultivos que totalizam 70 milhões de hectares aptos ao plantio, principalmente em áreas já desmatadas.

Essas recentes medidas retiram parte dos argumentos dos países europeus e dos Estados Unidos quanto a problemas ambientais e trabalho degradante no país. Aliado ao processo de mecanização que atinge mais de 50% das propriedades do Centro – Sul, devendo ir a 70% até 2017, com redução da queima pré-corte, o setor sucroalcooleiro parte para maior grau de tecnificação e redução de danos ambientais também na etapa agrícola. Da mesma forma, há de se caminhar para a redução no consumo de água, de modo a não necessitar de grandes vazões para irrigação e processo industrial, o que já é tecnologicamente viável. Faltam ajustes em regulação, custos e financiamentos para o alcance de um grau de maior sustentabilidade ambiental e social do setor que o isente de críticas evitáveis sob todos os aspectos (IPEA, 2010).

Segundo Macedo e Nogueira (2005), o etanol conseguiu importantes resultados desde sua efetiva incorporação à matriz energética brasileira, em 1975:

- A produção e a demanda ultrapassaram largamente as expectativas colocadas no início do Proálcool.
- A implementação de tecnologias e de avanços gerenciais tornou este combustível renovável menos dependente de políticas que compensem a maior competitividade de preço dos combustíveis fósseis, nas condições atuais em que eles externalizam mais os

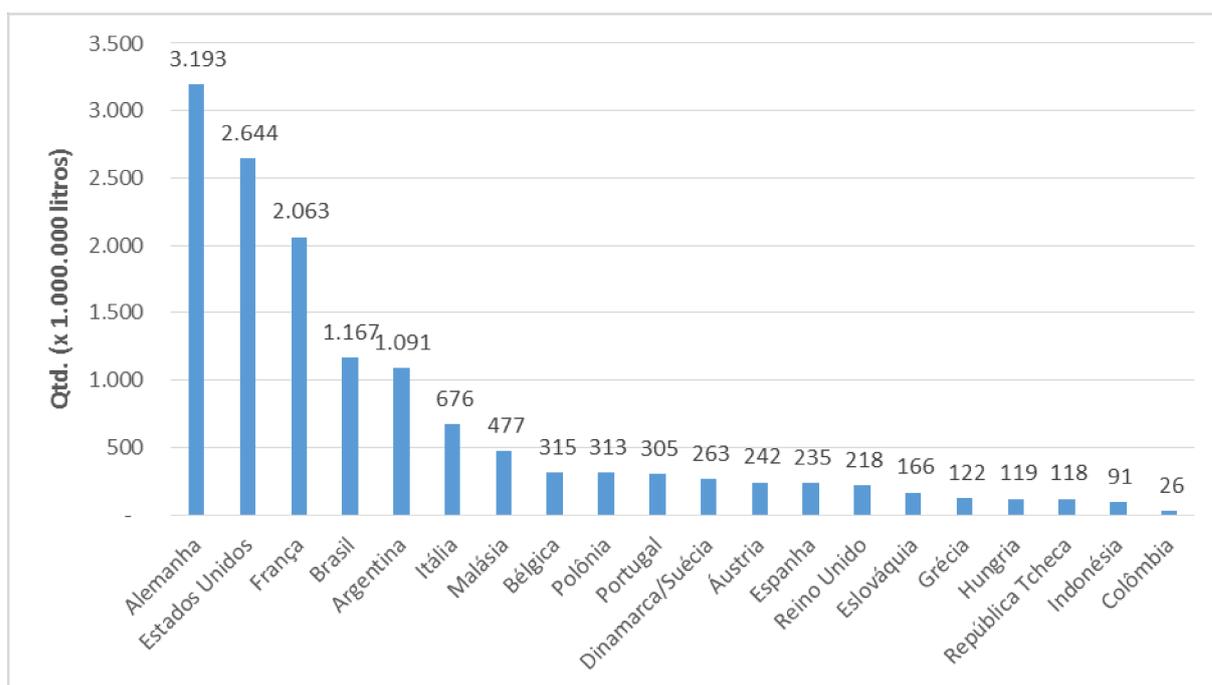
custos da poluição.

- As características de sua produção o torna a melhor opção para redução de emissão de gases de efeito estufa.

## 5.2 Biodiesel

Diversos países produzem e utilizam o biodiesel, conforme ilustra a figura 8. O Brasil, quarto produtor mundial em 2008, tem amplas condições de chegar em breve ao segundo posto e, no médio prazo, a líder. A produção nacional saltou de 69 milhões de litros – o que seria menos que a Indonésia, conforme a figura 8 –, em 2006, para 1,17 bilhão de litros, em 2008. Interessa analisar qual tem sido o determinante deste desenvolvimento.

Figura 8 - Produção mundial de biodiesel



Fonte: Duarte (2009, p. 21)

Em 2009, com o B3 e o B4, o consumo de biodiesel foi próximo de 1,5 bilhão de litros, devendo atingir 1,9 bilhão em 2010, diante de uma capacidade de produção em torno de 4,3 bilhões de litros (ANP, 2009a; CONSOLIDAÇÃO, 2009).

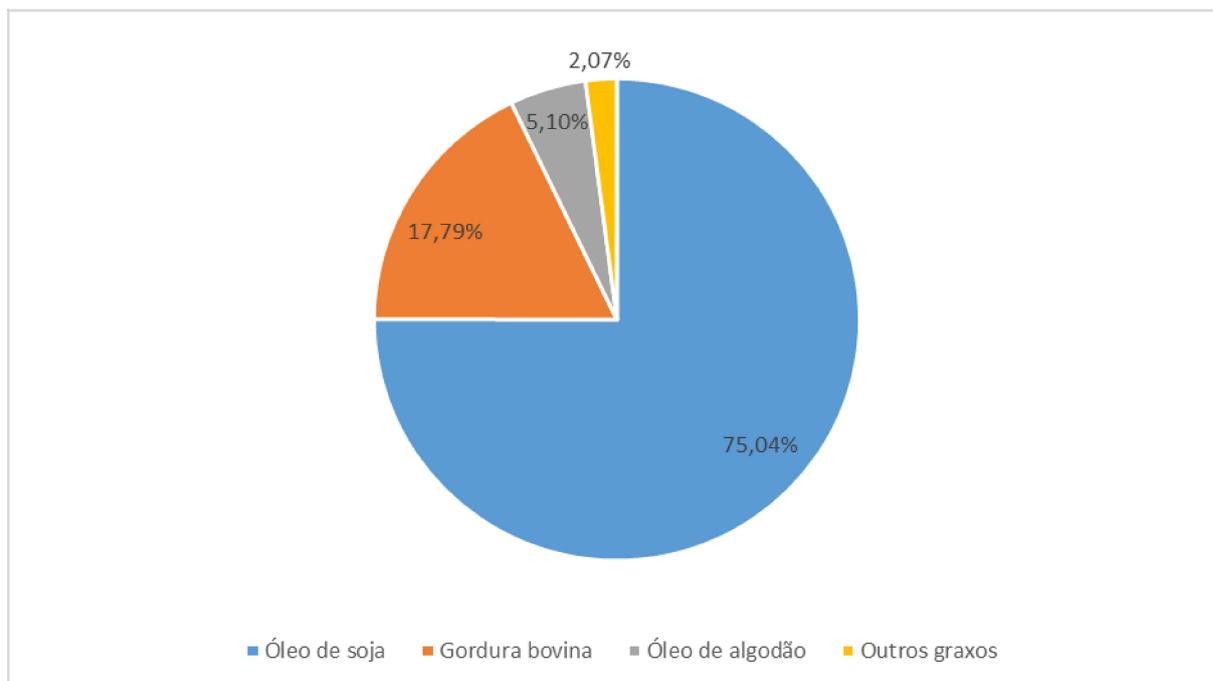
Estes dados consideram as 65 usinas autorizadas a operar pela ANP até novembro de 2009. Até o início de 2010 havia 13 usinas aguardando autorização da

ANP e mais 9 em fase de construção, além de 19 projetos para ampliação. Em dezembro de 2009 a capacidade nominal autorizada já atingiu 4,4 bilhões de litros/ano (ANP, 2009b). A capacidade instalada total deverá atingir, em 2011, a marca de 7,2 bilhões de litros/ano de biodiesel – suficientes para a mistura de 15% de biodiesel ao diesel, mesmo com o aumento da frota.

Esse movimento da expansão da produção industrial tem sido o lado mais significativo e o fator determinante da configuração do mercado do biodiesel em seus cinco primeiros anos. Dada esta situação, a autorização do aumento da mistura, do B2 ao B5, parece ter sido consequência da capacidade industrial, sendo secundários os demais acontecimentos do setor. Isto, em parte, contraria as previsões do PNA e PNPB, que objetivam o desenvolvimento da cadeia como um todo, destacando-se fatores como tecnologia e matérias-primas.

Por outro lado, a oferta de matéria-prima além da soja é o gargalo central do setor e continuará a sê-lo por mais alguns anos, considerando-se a estimativa de especialistas da Embrapa de que a viabilização de novas oleaginosas ocorrerá por volta de 2014-2016. A participação das matérias-primas para o biodiesel, em 2009, é mostrada na figura 9.

Figura 9 - Participação das matérias-primas do biodiesel - setembro 2009



A relação produção/capacidade instalada ficou em torno de 25%, em 2008, indo a 43,6%, em 2009-2010, considerando demanda do B5 de 1,86 bilhão de litros e 4,26 bilhões de litros de capacidade. Esta realidade sugere que os agentes econômicos, principalmente a indústria, buscarão autorização do aumento de vendas para o mercado externo e interno – para o qual o pleito é o B20 nas regiões metropolitanas. Esta questão demanda avaliação à luz do conjunto dos objetivos propostos para o biodiesel nas áreas econômica, social e ambiental e das novas demandas. O debate em torno do novo marco regulatório é um momento propício para isto, com a ampliação do envolvimento de pesquisadores, instituições de pesquisa e os diversos agentes econômicos (IPEA, 2010).

## 6 ASPECTOS CONJUNTURAIS E DE REESTRUTURAÇÃO DO MERCADO DO ETANOL

### 6.1 A Questão dos Preços

A questão dos preços constitui-se em um grande desafio para a produção de etanol no Brasil. Atualmente, os preços do etanol flutuam livremente, dependendo das variações da oferta e demanda. Uma das grandes vantagens do etanol *vis-à-vis* a gasolina é o preço do produto mais competitivo na relação etanol/gasolina a partir de 70%. Quando isto não acontece ou não se vislumbra, os produtores de cana acabam escolhendo produzir e exportar o açúcar, por conhecerem o comportamento da preferência do consumidor pela gasolina. É um problema que se pode transformar em um empecilho para o desenvolvimento da produção de etanol, caso os preços da gasolina sejam mais flexíveis.

Recentemente o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), como forma de evitar a alta volatilidade do preço do álcool combustível, decidiu que o país deve formar um grande estoque regulador de etanol, a partir de 2010. Para financiar a formação destes estoques, o BNDES deve disponibilizar cerca de R\$ 2,5 bilhões.

Na visão de Jank (2010) o principal fator que explica a alta recente do etanol é a crise financeira global. No primeiro semestre de 2009, a falta de liquidez no mercado de crédito forçou grande parte das empresas a desovar significativos volumes de etanol a preços fortemente deprimidos, abaixo dos custos de produção, para poderem se capitalizar. Isto fez o consumo explodir. Para Jank, o etanol é hoje um exemplo de funcionamento correto das forças de mercado, gerando ajustes de preços.

Outras medidas que também podem reduzir as oscilações no valor do combustível, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, são a regulação do mercado no sentido de consolidar as compras futuras, com prazos de até dois anos, para que haja certa garantia no preço de fornecimento e a liberação da alíquota para importação de etanol, atualmente em 20%.

De toda forma, sabe-se que a principal característica das *commodities* são as suas incontroláveis flutuações de preços. Salvo no caso do petróleo e de derivados e do biodiesel, que no Brasil formam um mercado com preços controlados ou

acompanhados pelo governo, até a etapa da distribuição, todas as demais *commodities* vivem permanente volatilidade de preços. Este é o caso do álcool combustível, cujos preços flutuam livremente de acordo com as variações de oferta e demanda e com as estratégias de mercado dos distribuidores e postos de combustíveis. No passado o governo já controlou os preços do açúcar, do etanol e de várias outras *commodities*. Há, porém, grande aceitação da tese de que a desregulamentação nos anos 1990 levou a ganhos de eficiência e forte redução de custos de produção.

Outro fator muito comentado, porém de baixo poder explicativo, é o impacto da alta do preço do açúcar no mercado mundial, sobre a produção de açúcar em detrimento do álcool. De fato, as usinas têm alguma flexibilidade para optar pela produção de açúcar ou etanol, porém a “migração” é limitada pela inexistência de fábricas de açúcar na maior parte das novas unidades e pela falta de capacidade ociosa nas mais antigas. O texto a seguir apresenta mais detalhes das oscilações nos preços do etanol.

O ano de 2009 foi marcado por intensa movimentação no setor sucroalcooleiro do Brasil. Após a forte crise verificada no ano anterior, as operações de várias delas voltaram ao azul diante de um cenário de constante aumento da demanda por etanol no mercado brasileiro. A crise, porém, favoreceu a consolidação de grupos internacionais capitalizados que adquiriram grandes companhias nacionais e já são responsáveis pela moagem de 20% da cana-de-açúcar produzida no país.

Ao contrário do ocorrido em anos anteriores, em 2009 as usinas priorizaram a produção de açúcar. Os preços acumularam altas de 80% em relação a 2008, entre as causas a redução da safra, em especial na Índia, que passou de exportador a importador. A produção brasileira de açúcar alcançou 34,6 milhões de toneladas, aumento de 9,5% em relação à safra de 2008. Cerca de 65% deste total está sendo exportado.

No caminho inverso, a fabricação de álcool caiu e chegou a 25,8 bilhões de litros, baixa de 3% em relação a 2008, mas o suficiente para abastecer o mercado interno de 21 bilhões de litros. Segundo estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), as exportações brasileiras de etanol caíram para 1,5 bilhão de litros em 2009, ante 4,9 bilhões no ano anterior. Mesmo assim, a margem oferta/demanda ficou estreita e houve pressão sobre os preços do etanol no fim do ano, a ponto de ser mais compensador para o motorista abastecer o carro com gasolina em quase todos os estados. Esse cenário foi construído, também, devido ao excesso de chuvas no Centro-Sul, o que dificultou a aceleração da colheita e reduziu a concentração de sacarose na cana. Estima-se que 20 milhões de toneladas de cana não puderam ser colhidos por causa das chuvas. As cotações do etanol acumularam alta de 68,5% no segundo

semestre de 2009, conforme dados do indicador do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea)/ESALQ. Para amenizar a alta dos preços do produto em 2010, o governo federal decidiu reduzir de 25% para 20% o percentual de mistura do etanol anidro na gasolina (IPEA, 2010, p. 11).

Há ainda pelo menos três fatores que possibilitam maior equilíbrio nos preços e na estabilização do etanol no Brasil. O primeiro é a retomada dos investimentos para a formação de estoques reguladores, que tendem a equilibrar a sazonalidade. O segundo foi a recente aprovação, pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da entrada de novos agentes e a criação de empresas de comercialização do etanol, até então proibidas pelas regras vigentes no mercado de combustíveis. O terceiro é o fato de o carro *flex-fuel* significar para o consumidor a possibilidade de escolha entre dois bens substitutos no momento de abastecer, gasolina e etanol, o que é um atrativo de mercado importante na consolidação destes motores.

É natural que a volatilidade de preços continue a existir, até porque, ao contrário do petróleo, a produção de cana depende das condições climáticas. Ela pode, porém, diminuir com a presença dos novos agentes e de mecanismos de financiamento, estocagem e comercialização.

## **6.2 A Questão Tecnológica, o Aumento da Concentração e da internacionalização da Produção**

A questão do desenvolvimento tecnológico e a concentração da produção são pontos-chave para se compreender o momento da reestruturação da produção do etanol no Brasil e em outras partes do mundo. Para atingir padrões de desenvolvimento e domínio do mercado no setor de combustíveis, a escala de produção é determinante e se associa ao montante de investimentos tecnológicos com um forte agrupamento de empresas com capital excedente disponível.

Nesse sentido, Rodrigues (2010) ilustra o movimento da concentração da produção em grandes empresas: a compra da Santa Elisa/Vale pela Dreyfus, que se transformará em uma gigante global; a Bunge crescendo também, com a compra do Grupo Moema; a ETH (sociedade da Odebrecht com um forte grupo japonês) comprando a Brenco; a parceria da Cosan (maior produtora do mundo) com a Shell, que muda o paradigma da distribuição de biocombustíveis, além de a mesma Cosan,

no ano passado, ter adquirido a rede de distribuição nacional da Esso; a parceria da Usina São Martinho, em sua unidade de Goiás, com a Amyris, empresa americana de tecnologia, que fará diesel a partir da garapa; a gigante indiana Shree Renuka Sugar comprando a Equipav. Enfim, há um movimento sem precedentes no mercado sucroalcooleiro, envolvendo concentração, consolidação e internacionalização.

Mas isso não ocorre apenas no Brasil. Empresas europeias começaram a negociar terras na África para produzir etanol exportável à União Europeia, com isenção tarifária. A suíça Addax Bioenergy já está em Serra Leoa; a sueca Sekalb, que importa etanol brasileiro, está negociando investir na Tanzânia. As empresas brasileiras também se preparam para ganhar mercados nos potenciais países produtores e consumidores, como Senegal e Guiné-Bissau, na África, nos mesmos moldes da parceria que temos com os Estados Unidos para produzir na América Central e no Caribe, ou das intenções de negócios já encaminhadas para Colômbia, Venezuela, entre outros na América do Sul.

Esse movimento de entrada de poderosas multinacionais sinaliza a criação do mercado global do etanol. O aporte à pesquisa e desenvolvimento (P&D) na área de novas matérias-primas, equipamentos e processos, ao atingir cifras multibilionárias em dólares, é outro sinalizador, dado que nenhuma empresa se arriscaria a investimentos tão grandes pensando apenas no mercado interno.

Um importante sinalizador dos rumos do mercado foi o reconhecimento, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) de que nosso etanol de cana é um biocombustível avançado – ou seja, que comprovadamente reduz em no mínimo 50% o nível de emissões de gases de efeito estufa em toda a cadeia. De acordo com estudos da EPA, as emissões de CO<sub>2</sub> do etanol de cana-de-açúcar correspondem a 39% das emissões da gasolina (ICONE, 2015). Este fato possibilita a abertura do mercado americano mais cedo do que se esperava, inclusive com a possível redução de tarifa imposta ao etanol brasileiro que hoje dificulta as exportações para lá. Também é coerente com o fato de a expansão das atividades dos investidores norte-americanos em terras brasileiras e em outros países, uma vez que não seria interessante para as empresas produzir combustível visando ao mercado dos Estados Unidos sem tal reconhecimento.

A importância dos avanços tecnológicos para o setor pode ser evidenciada, por exemplo, com os indicadores constantes na tabela 3 que apresenta o impacto da introdução de novas tecnologias na produção do etanol.

Tabela 3 - Impacto das inovações tecnológicas

Período		Produtividade agrícola (ton./ha)	Produtividade industrial (litros/ton.)	Produtividade agroindustrial (litros/ha)
1977-1978	Fase inicial do Proálcool: baixas eficiências no processo industrial e na produção agrícola	65	70	4.550
1987-1988	Consolidação Proálcool: a produtividade agrícola e a produtividade industrial aumentam significativamente	75	76	5.700
Situação atual	Processo de produção de etanol operando com a melhor tecnologia disponível	85	80	6.800
2005-2010	Primeiro estágio de otimização dos processos	81	86,2	6.900
2010-2015	Segundo estágio de otimização dos processos	83	87,7	7.020
2015-2020	Terceiro estágio de otimização dos processos	84	89,5	7.160

Fonte: Centro de Gestão de Assuntos Estratégicos (CGEE)

Como pode ser observado na tabela 3, o incremento previsto para a produtividade agroindustrial – sem considerar a introdução de outras rotas para a produção, como o etanol celulósico – deverá permitir, nos próximos anos, uma economia de terra de 3,4% na superfície plantada, por unidade de etanol produzido, um relevante impacto da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico nesta agroindústria.

## 7 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O ETANOL BRASILEIRO

Analisando a trajetória do etanol no Brasil, tendo como referência os aspectos destacados neste texto e em estudos do Ministério da Agricultura e do Ministério de Minas e Energia, como a Projeção do Agronegócio Brasileiro, o Balanço Energético Nacional, o Plano Decenal de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, pode-se destacar os principais desafios que merecem atenção de políticas públicas.

Parte-se do fato de o etanol de cana-de-açúcar ser produzido com elevada eficiência na captação e na conversão de energia solar – relação produção/consumo de energia mais aceita no meio acadêmico situa-se entre 4,9 e 8, contra 1,3 do etanol de milho nos Estados Unidos. A produtividade agroindustrial é bastante superior à dos demais biocombustíveis da atual geração. Em média, no Brasil, são produzidos em torno de 6,7 mil litros de etanol por hectare, com perspectiva de alcance de 8 mil litros por hectare nas unidades mais produtivas na agricultura e nas plantas industriais novas. Desta forma, são destacados os seguintes desafios para a cadeia do etanol no Brasil:

- Preços: com um custo de produção determinado principalmente pelas etapas anteriores à indústria – estima-se em 80% do custo os insumos antes e na fazenda –, mesmo com a tecnologia empregada para sua produção estando aberta e disponível, podem ser introduzidas inovações que aumentem a produtividade por unidade plantada e reduzam as diferenças da produtividade agrícola em determinadas regiões. Para isso, é essencial que o horizonte de preços esteja favorável ao investidor e que sejam distribuídos coerentemente os custos da internalização dos danos ambientais evitados na etapa de produção agrícola. Isto implica que somente o barateamento da matéria-prima não é uma solução para o médio prazo.
- Impactos ambientais: os efeitos de caráter local associados à produção de etanol de cana-de-açúcar sobre os recursos hídricos, o solo e a biodiversidade, bem como aqueles decorrentes do uso de agroquímicos, entre outros, devem ser reduzidos a níveis exigidos pela legislação. Tal medida é perfeitamente alcançável desde que

se decida que a questão ambiental é relevante também na etapa agrícola. O objetivo seria diminuir o risco que se pode incorrer em perdas de mercado e na concorrência desleal entre os que cumprem e os que não cumprem as leis ambientais, de modo a aliar medidas de menos impactos na produção com ganhos no consumo final.

- Equilíbrio de benefícios: desde o consumo dos biocombustíveis e da iniciativa empreendedora da produção e da agricultura para a distribuição, deve-se incentivar os casos em que são atendidos todos os requisitos legais e das políticas públicas. Embora ainda controversos os dados sobre o balanço de carbono em todo o ciclo de vida, é fato que a queima do etanol de cana-de-açúcar reduz em quase 90% as emissões de gases de efeito estufa. Estes cerca de 1,9 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> deixam de ser emitidos para a atmosfera, além dos outros elementos danosos à saúde humana, principalmente com a alta concentração de gases no meio urbano. Desta forma, justificam-se políticas que garantam a viabilização das cadeias de biocombustíveis, com facilidades de crédito, tecnologias e acesso à terra e infraestrutura comparáveis ao petróleo.
- Qualidade do emprego: os empregos na cadeia produtiva do etanol, da agricultura até a usina, apresentam indicadores com grandes diferenças. A crescente mecanização na colheita da cana-de-açúcar reduz naturalmente o trabalho braçal, que sem dúvida é penoso, ao mesmo tempo em que melhora a remuneração individual. Medidas de geração de novos empregos e também de melhor qualidade do que o trabalho no corte podem ocorrer com novos produtos, com a combinação de plantio de alimentos intercalados com a produção da cana, além do manejo da terra com vista a outros usos, ações que já são objeto de estudos e experimentos em diversas instituições no país. Tais iniciativas são da alçada tanto do setor privado como do poder público, ao qual cabem incentivos e direcionamentos no sentido de viabilizar as potencialidades da agroenergia.
- Desenvolvimento da cadeia produtiva com vista ao longo prazo: por ser articulada com outros setores da economia, o setor sucroalcooleiro promove o desenvolvimento de diversas áreas,

como a prestação de serviços, a indústria de equipamentos agrícolas e industriais e a logística. Porém, o setor encontra-se ainda bastante direcionado para a produção das commodities açúcar e álcool e tende a sofrer a concorrência de outros países e das empresas multinacionais em todos os produtos e na produção de tecnologias alternativas a eles. Portanto, a continuidade de pesquisas e ações para o domínio de novas tecnologias, da mesma forma que o aumento do equilíbrio do mercado interno são fatores que devem orientar a maior inserção no mercado externo.

- Pesquisa e desenvolvimento: é necessária atenção especial quanto a medidas indutoras da continuidade do domínio tecnológico dos biocombustíveis com perspectiva de longo prazo. Isto não somente para a venda de biocombustíveis, mas principalmente de todos os componentes agroindustriais a eles associados, como equipamentos, fertilizantes, projetos de plantas e de cadeias, e patentes. Necessita-se coordenar linhas de financiamentos e programas em ciência, tecnologia e inovação (CT&I) e em P&D contínuos que equiparem o país às novas tendências do setor energético e com montantes compatíveis com o tamanho do setor e com os aportes dos concorrentes.
- Marco legal e regulação econômica: todos esses desafios levam à necessidade de se observar as condições necessárias de regulação e financiamento que busquem o equilíbrio entre as atividades econômicas, ambientais e sociais dos agentes econômicos que viabilizam este combustível. Também se faz necessária uma clareza de que rumos e limites apresentam as opções como os carros movidos a óleo vegetal e/ou biodiesel, os quais seriam competidores com os carros a etanol.

## 8 DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O BIODIESEL NO BRASIL

No contexto de políticas públicas, a sustentabilidade socioeconômica pressupõe melhorias mensuráveis e duradouras para a qualidade de vida e para o desenvolvimento com a autossustentação das comunidades. Este desafio para o biodiesel no Brasil é, no mínimo, incerto no médio prazo, quando se analisa especificamente a etapa agrícola. Esta pode ser, no entanto, uma situação conjuntural, diante das possibilidades a serem desenvolvidas com ganhos em toda a cadeia.

Estudos iniciais dos Ministérios do Desenvolvimento Agrário, da Agricultura, da Integração Nacional e das Cidades calcularam que em cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel, a partir da agricultura familiar, poderiam ser gerados até 45 mil empregos no campo. A renda seria de R\$ 4,9 mil por emprego/ano – valores médios –, a cada 10-15 hectares plantados. Em cálculos recentes, utilizados pela EPE (BRASIL, 2009b), o MDA estima em R\$ 2,5 mil a R\$ 3,5 mil a possibilidade de renda familiar anual com a produção de mamona no Semiárido, a cada cinco hectares plantados. Porém, com o predomínio da soja – que oscila de 80% em 2005 até 95% em 2009 do biodiesel de origem vegetal –, a inserção social não alcança as metas das políticas públicas aqui mencionadas. Segundo o MDA, até o fim de 2008 mais de 38 mil pequenos agricultores foram beneficiados com o biodiesel.

Embora as estimativas de inserção social tenham sido superestimadas ao se prever mais de 1 milhão de postos de trabalho em toda a cadeia (BRASIL, 2005), esta busca deve ainda ser um referencial do programa. A hipótese de que a cadeia conseguiria criar este volume de postos com o B5 se mostrou inconsistente por dois motivos, basicamente: primeiro, porque o biodiesel se ergueu em um mercado estruturado, não tendo como criar três empregos na cadeia para cada emprego criado no campo, conforme se imaginou na projeção de um milhão de empregos; em segundo lugar, a produção de oleaginosas intensivas em mão de obra, como seria o caso do dendê e da mamona, tem sido insignificante.

A tentativa do PNPB de apoio à agricultura familiar é justificada pela possibilidade de diversificação de matérias-primas com boa produtividade, entre elas a mamona e o dendê, conforme ressalta a EPE (BRASIL, 2009b), nos comparativos mostrados na tabela 4. Porém, embora o cultivo da mamona seja uma das que mais emprega no campo, a sua produtividade no Norte/Nordeste (400 a 600 kg/ha) é inferior à metade do Centro-Sul (1 mil a 1,4 mil kg/ha), pelos dados do Anuário Estatístico da

Agroenergia (BRASIL, 2009a). Na tabela 4 não aparecem promissoras oleaginosas como a macaúba, o pinhão-manso e o crambe, cujos desempenhos esperados, para diferentes regiões, são bastante positivos.

Tabela 4 - Potencial de geração de empregos no cultivo - oleaginosas selecionadas

Oleaginosa	Produtividade e (t. de óleo/ha.ano)	Área para 1.000 t./ano (ha)	Ocupação de terra (ha/família)	Relação produtividade/o cupação da terra	Custo de oportunidade (US\$/kg)	Renda equivalente (R\$/emprego, por ha)
Dendê (cultivo mecanizado)	5,00	200	5	1	R\$ 18.000, em 5 há (estimativa Embrapa)	R\$125,00/há ao mês (Agropalma Pará)
Mamona (lavoura familiar)	0,47	2.128	2	0,235	0,99 (1996) a 1,01 (2005). Se refinado e desodorizado, mais 50%	R\$47,00/há ao mês, se consorçado com feijão (senão, R\$14,00/há ao mês por emprego)
Amendoim (lavoura mecanizada)	0,45	2.222	16	0,028	S/D	S/D
Babaçu (extrativismo)	0,12	8.333	5	0,024	S/D	S/D
Soja (lavoura mecanizada)	0,21	4.762	20	0,011	0,50 a 0,55/kg (2002 a 2008)	S/D

Fonte: Brasil (2009b, p.650)

Nota: <sup>1</sup> NAE (BRASIL, 2005, p. 60-62)

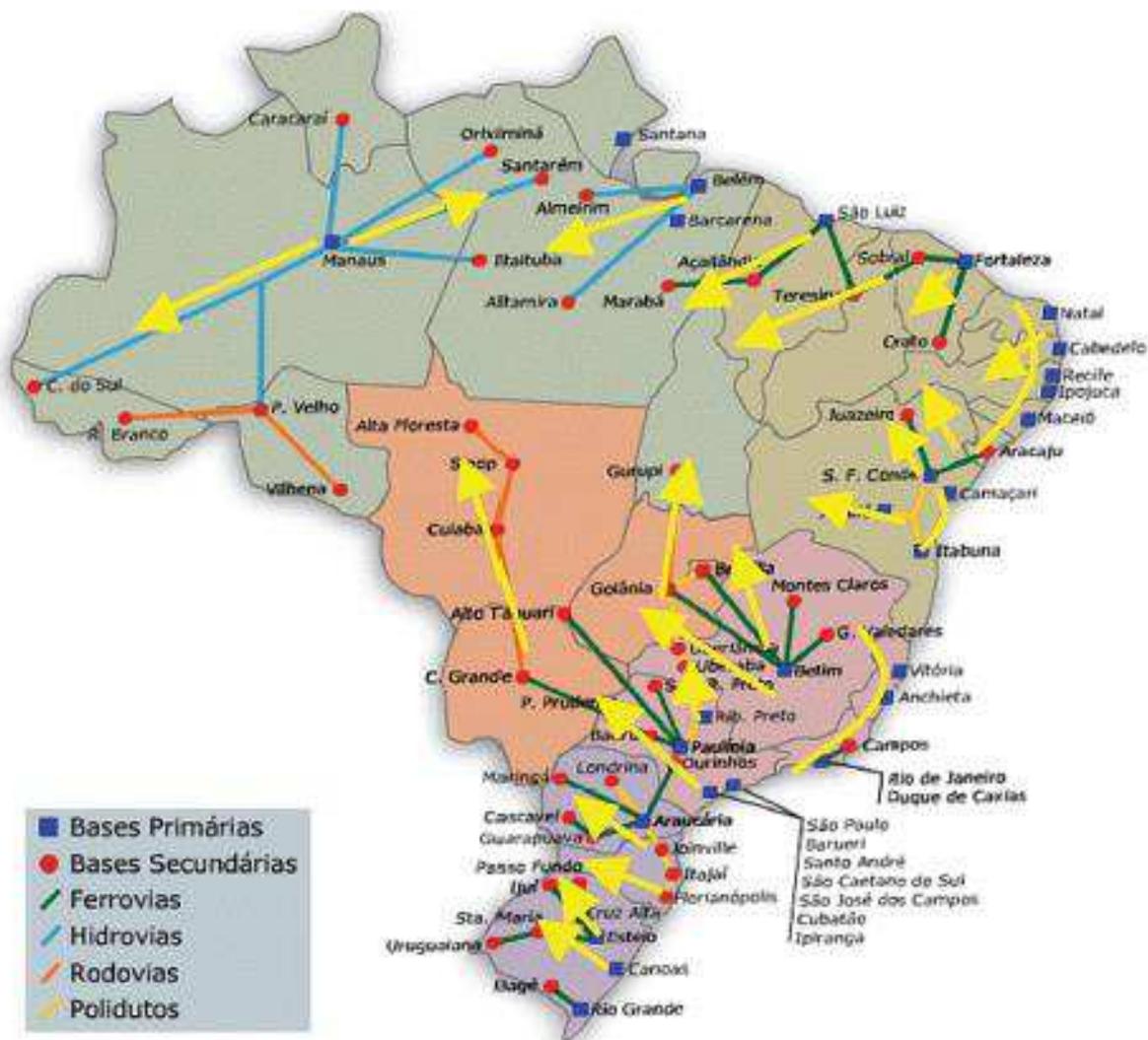
Obs.: A Embrapa adotou média de 0,09 emprego por ha, considerando as projeções de todas as oleaginosas, alcançando 260 mil empregos diretos na fase agrícola com o B5.

Junto à estrutura de produção, a infraestrutura, em suas diversas etapas, tem no biodiesel o duplo desafio de dar suporte ao mercado e responder satisfatoriamente aos riscos ambientais. Embora a origem renovável do biodiesel seja minimizadora de riscos, o sistema de transportes do biodiesel tem merecido destaque, por ocorrer em caminhões-tanque, principalmente. Essa questão foi abordada no Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2009b).

As figuras 10 e 11 destacam os sentidos dos fluxos dos derivados de petróleo, geralmente das zonas litorâneas para o interior do país, e do biodiesel de oleaginosas, que segue do interior para as grandes cidades concentradas no litoral ou próximas a ele. Nota-se também a localização predominante das indústrias no Centro-Sul do país. Ao se dimensionar os impactos ambientais causados pelo transporte do biodiesel, cabe lembrar que, caso o biodiesel não existisse, o fluxo de caminhões com

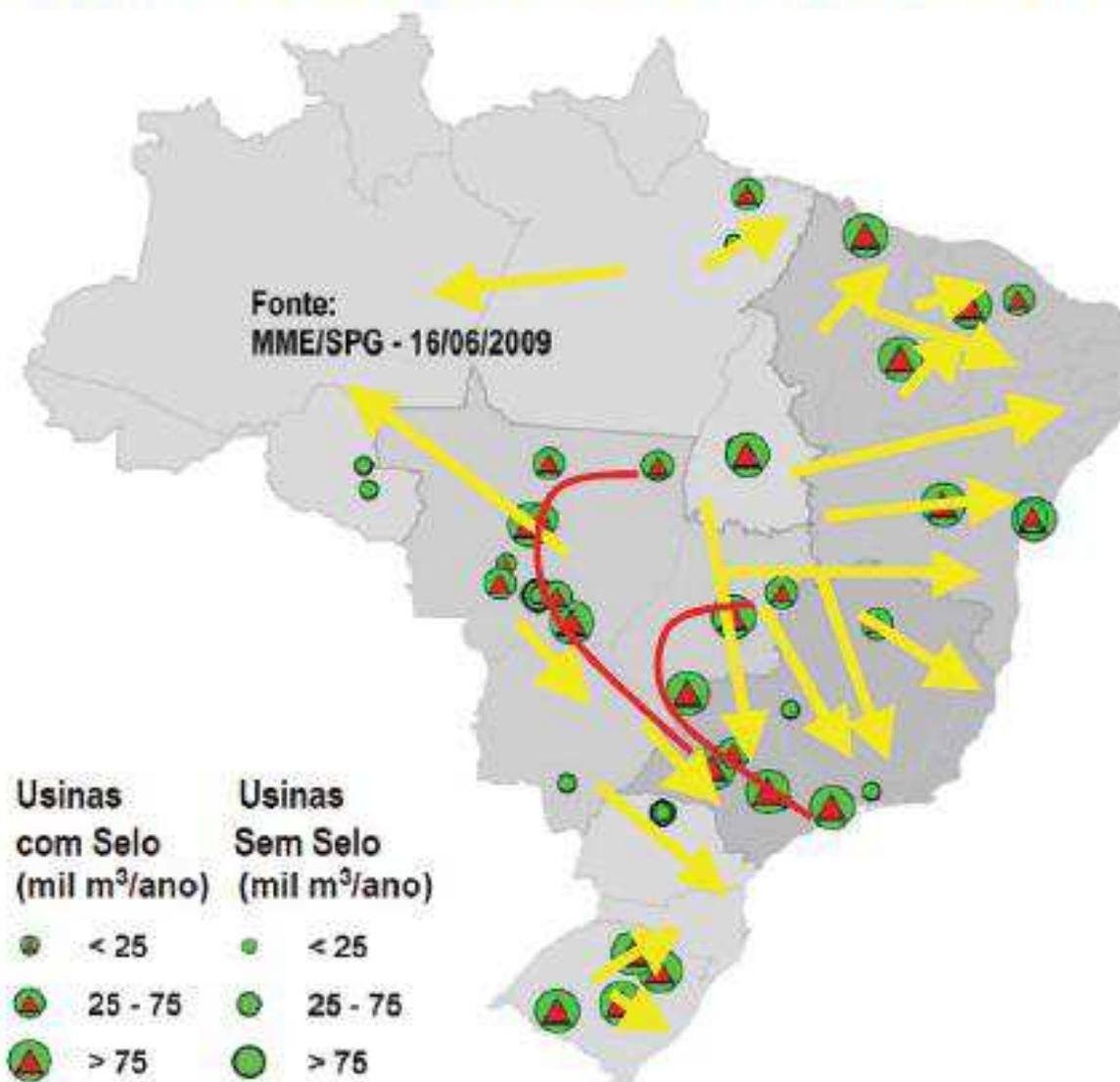
a soja para exportação continuaria a existir, podendo ser ainda maior. Ao instalar usinas de biodiesel no interior, casos de Mato Grosso e de Goiás, pode-se até reduzir o consumo de diesel, caso o farelo seja aproveitado parcialmente nas regiões produtoras.

Figura 10 - Bases de distribuição de derivados de petróleo e fluxos no território nacional



Fonte: Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (Sindicom).  
Elaboração IPEA, 2010.

Figura 11 - Localização das unidades produtoras de biodiesel e fluxos regionais estimados



Fonte: Ministério de Minas e Energia (MME), com adaptações do IPEA (2010)

Entre as preocupações ambientais em torno do biodiesel encontra-se a grande demanda por água, em todas as suas etapas de produção. Sem dúvida, esta é uma preocupação relevante. Pesquisas em andamento, apresentadas na Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, além de outras encomendadas pelos editais CNPq no 6/2009 em conjunto com oito fundações de amparo à pesquisa dos estados, são o caminho para dar respostas às questões ambientais do biodiesel. Os aspectos tecnológicos da cadeia seguem também este caminho com o apoio crescente às pesquisas e um maior interesse do setor privado. A fiscalização e o direcionamento do cultivo e de indústrias para regiões que comportem as atividades devem ser objeto de um Zoneamento Ecológico e Econômico (ZEE) do biodiesel e de arranjos

produtivos locais (APLs), no sentido de desenvolver a cadeia sem afetar o meio ambiente.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dependência do Brasil a fontes de hidroenergia e combustíveis fósseis é fato marcante. A primeira requer grande coordenação e planejamento para suprir a demanda do país. A segunda representa dentre vários, problemas políticos e ambientais, por se tratar de uma fonte de energia não-renovável e com maior grau de emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes.

Assim, a bioenergia se posiciona como uma solução viável para estes e outros problemas. Reduzindo significativamente emissões dos gases de efeito estufa e outros poluentes, gerando novos empregos na zona rural, melhorando as condições de trabalho nos atuais empregos do agronegócio através de desenvolvimento de novas tecnologias e criando um sistema complementar e/ou de backup ao hidrelétrico ecologicamente superior aos combustíveis fósseis.

Para isto o governo precisa atuar de forma a equilibrar os preços dos alimentos e a fomentar na medida certa os investimentos e o desenvolvimento dos biocombustíveis. É necessário também elaboração e/ou aperfeiçoamento da legislação ambiental para garantir uma geração de bioenergia sustentável, pois há impactos significativos na etapa agrícola, porém estes podem ser evitados com o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias. Investimentos em pesquisa também são necessários para obtenção de avanços tecnológicos que permitam aumento da produtividade por hectare, melhoria da eficiência energética dos biocombustíveis, das condições do trabalhador rural, e possibilite a adaptação dos atuais sistemas baseados em combustíveis fósseis para que operem com biocombustíveis, apesar deste esforço já estar em desenvolvimento.

Apesar de serem opções já utilizadas, foi demonstrado neste trabalho os diferentes benefícios da maior participação do etanol e do biodiesel na matriz energética do Brasil. Mencionou-se também as dificuldades e desafios que devem ser levados em consideração e como as abordar.

Portanto, com base em suas referências, este estudo conclui que a produção e a utilização de biocombustíveis como parte da matriz energética brasileira são de grande importância. Não só é considerado como uma oportunidade para reduzir emissões de gases poluentes, de ampliar a utilização de uma fonte de energia renovável e de origem brasileira, como também possui impactos na sociedade e dessa forma na economia do país. Para isto acontecer é imprescindível que o governo atue

mediando as relações de mercado, e estabelecendo limites para garantir que os impactos ambientais sejam mínimos.

Como sugestão para outros trabalhos, fica a oportunidade de se estudar as máquinas utilizadas no processo de transformação da matéria-prima em combustível, ou dos equipamentos utilizados na etapa da colheita, ou de uma forma alternativa ao transporte rodoviário para a distribuição no país.

## REFERÊNCIAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Boletim Mensal do Biodiesel**. Brasília, out. 2009a.
2. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). **Boletim Mensal do Biodiesel**. Brasília, dez. 2009b.
3. AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). **World Energy Investment Outlook 2014 Factsheet: Fossil Fuels**. Paris: AIE, 3 jun. 2014.
4. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES) et al. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**, 2007.
5. BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos (NAE). **Cadernos NAE-Biocombustíveis**, n. 2. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República/Secretaria de Comunicação e Gestão Estratégica, Brasília, 2005.
6. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa). Secretaria de Produção e Agroenergia (SPA). Embrapa Informação Tecnológica. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. rev. Brasília, 2006.
7. BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balço Energético Nacional 2009**: ano base 2008 – resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2009a.
8. BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Plano Decenal de Energia 2008-2017**. Brasília: MME/EPE, 2009b. v. 1 e 2.
9. BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Comunicados do Ipea Nº53 Biocombustíveis no Brasil: Etanol e Biodiesel**, Brasília, 2010.
10. BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis: Ano 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
11. CONSOLIDAÇÃO. **BIODIESELBR**. Curitiba, ano 3, n. 12, ago./set. 2009.
12. COTULA, L.; DYER, N.; VERMEULEN, S. **Fuelling exclusion?** The biofuels boom and poor people's access to land. Food on Agriculture Organization (FAO). United Nations Agency. Londres: International Institute for Environment and

Development; FAO, 2008.

13. DUARTE, A. Pé no chão. **BIODIESELBR**, Curitiba, ano 3, n. 13, p. 56-59 out./nov. 2009.
14. GARCIA, Roberto. **Combustíveis e Combustão Industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013
15. HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e Meio Ambiente**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
16. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Statistics**, 2007
17. INSTITUTO DE ESTUDOS DE COMÉRCIO E NEGÓCIOS INTERNACIONAIS (ICONE). Disponível em: <<http://iconebrasil.org.br>>. Acesso em: 16 mai. 2015.
18. JANK, M. S. Etanol: entendendo o mercado e os preços. **O Estado de São Paulo**, 22 jan. 2010.
19. JONASSE, R. (Coord.). **Agrofuels in the Americas**. Institute for Food and Development Policy: Foodfirst, 2009.
20. LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira. LEAL, Manoel Régis L. V. O Biocombustível no Brasil. **Novos Estudos**, São Paulo, n. 78, p. 16-21, jul. 2007.
21. LORA, Electo Eduardo Silva. Et al. **Biocombustíveis: Volume 1**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.
22. MACEDO, I.C.; NOGUEIRA, H. L. A. **Cadernos NAE 2**, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE/NAE), 2005.
23. PERLINGEIRO, Carlos Augusto G. **Biocombustíveis no Brasil: Fundamentos, Aplicações e Perspectivas**. Rio de Janeiro: Synergia, 2014.
24. RODRIGUES, R. Virada pró-agroenergia. **Folha de São Paulo**, 1o mar. 2010.
25. SANTOS, Fernando A. **Biocombustíveis: Prós e Contras**. Vila Real. UTAD. 2008
26. SAWYER, D. R. **Climate change, technical progress and eco-social consequences in Brazil**. Artigo expandido de apresentação In: CLIMATE CHANGE AND THE FATE OF THE AMAZON. Oriel College, University of Oxford; UnB, oct. 2007.

27. SCANDIFFIO, M. I. G. **Análise prospectiva do álcool combustível no Brasil: Cenários 2004-2024**. 2005. Tese (PhD) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
28. SERÔA DA MOTTA, R.; FERREIRA, L. R. **The Brazilian National Alcohol Programme: an economic reappraisal and adjustments**. Energy Economics, July 1988.
29. SOUSA, E. L.; MACEDO, I. C. **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Unica, 2009.
30. TURNS, Stephen R. **Introdução à Combustão – Conceitos e Aplicações**. 3 ed. McGraw-Hill, 2013
31. U.S. Department of Energy. Alternative Fuels Data Center (AFDC). **Fuels Properties Comparison**, 29 out. 2014. Disponível em: [http://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel\\_comparison\\_chart.pdf](http://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf). Acesso em: 18 jun. 2015.