EBC

Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono

Biocombustíveis

Prof. Dr. André Luís Squarize Chagas

São Paulo

2012

Equipe de Coordenação do Projeto Economia de Baixo Carbono

Coordenação Geral – Rudinei Toneto Junior

Coordenação Geral Adjunta – Marcelo Pinho

Coordenação do Modelo de Equilíbrio Geral: Angelo Costa Gurgel

Coordenação SASTEC – Banco de Dados de Tecnologias: Geciane Silveira Porto e Sérgio Kannebley

Coordenação de Estudos Setoriais

Uso do Solo, Pecuária e grãos - Geraldo Bueno Martha Junior e Elísio Contini

Biocombustíveis – André Luis Squarize Chagas

Siderurgia - Germano Mendes de Paula

Alumínio – Clésio Lourenço Xavier

Cimento – Marcelo Pinho

Petróleo e Petroquímico – Eduardo Luiz Machado

Automobilístico e Aeronáutica – Cláudio Ribeiro de Lucinda

Consultores Temáticos: Energia, Eficiência Energética e Tecnologias Verdes

Paulo Seleghim Junior

Oswaldo Baffa

Auxiliares de Coordenação

Beatriz Selan

Gabriela Eusébio

Este projeto foi realizado com recursos do Fundo de Estruturação de Projetos (FEP) do BNDES. O conteúdo é de exclusiva responsabilidade dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião do BNDES. Informações sobre o FEP encontram-se em HTTP://www.bndes.gov.br.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CONTRATO DE COLABORAÇÃO FINANCEIRA NÃO-REEMBOLSÁVEL
N° 11.2.0488.1
FUNDACE – BNDES

ECONOMIA DE BAIXO CARBONO: AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE RESTRIÇÕES E PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS

Subprojeto 2 - Estudos Setoriais: Biocombustíveis

André Luis Squarize Chagas

RIBEIRÃO PRETO
DEZEMBRO 2012

Sumário

Sumário 4

1. Introdução 7

2. Etanol 10

2.1. Caracterização Setorial 10

2.2. Quadro Internacional 13

2.2.1. Produção, consumo e comércio internacional 13

2.2.1.2. Açúcar 25

2.2.2. Fatores críticos para a competitividade internacional 27

2.2.2.1. Fatores críticos relacionados à demanda 27

2.2.2.2. Fatores críticos relacionados à oferta 29

2.2.2.3. Fatores críticos relacionados ao comércio 31

2.2.3. Dinâmica tecnológica 32

2.2.3.1. Etanol a partir de açúcares 33

2.2.3.2. Etanol a partir de amido 34

2.2.3.3. Etanol a partir de biomassa lignocelulósica 36

2.2.3.4. Comparação dos principais tipos de matérias-primas 37

2.3. Quadro nacional 38

2.3.1. Estrutura de mercado e concorrência 38

2.3.2. Produção, consumo e comércio 48

2.3.3. Competitividade internacional 53

2.3.4. Perfil tecnológico 58

2.3.4.1. O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) 59

2.3.4.2. O Planalsucar – Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar 61

2.3.4.3. A Ridesa – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucro-alcooleiro 61

2.3.4.4. O Centro de Tecnologia Canavieira 63

2.3.4.5. Grupos de Pesquisa em Tecnologias de Baixo Carbono no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq 64
2.3.4.6. Desafios tecnológicos 67
2.4. Mudanças Climáticas, Institucionais e Tecnológicas 77
2.4.1. Impactos ambientais 77
2.4.2. Certificações socioambientais 84
2.4.2.1. Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) 85
2.4.2.2. Global Bioenergy Partnership 86
2.4.2.3. Critérios de sustentabilidade para bioenergia ISO / PC 248 .. 87
2.4.2.4. Bonsucro 87
2.4.3. Mudanças climáticas e regulação 88
2.4.4. Mudanças climáticas e mudança tecnológica 92
2.5. Análise do impacto das mudanças institucionais e tecnológicas sobre o setor no Brasil 96
2.5.1. Síntese das perspectivas tecnológicas e impactos sobre o setor 96
2.5.2. Síntese das restrições ao comércio e ao consumo e impactos sobre o setor 98
2.5.3. Objetivos de médio e longo prazo desejáveis para o setor 99
2.5.4. Políticas industriais, tecnológicas e ambientais para adaptação às mudanças climáticas 101
3. Biodiesel 104
3.1. Caracterização Setorial 104
3.2. Quadro Internacional 106
3.2.1. Produção, consumo e comércio internacional 106
3.2.1.1. União Europeia 107
3.2.1.2. Estados Unidos 107
3.2.2. Fatores críticos para a competitividade internacional 107
3.2.2.1. Fatores críticos relacionados à demanda 107

3.2.2.2. Fatores críticos relacionados à oferta 108
3.2.2.3. Fatores críticos relacionados ao comércio 108
3.2.3. Dinâmica tecnológica 109
3.3. Quadro nacional 111
3.3.1. Estrutura de mercado e concorrência 111
3.3.2. Mercado interno 115
3.3.3. Competitividade internacional 119
3.3.4. Perfil tecnológico 121
3.4. Mudanças Climáticas, Institucionais e Tecnológicas 122
3.4.1. Impactos ambientais 122
3.4.2. Mudanças climáticas e regulação 126
3.4.3. Mudanças climáticas e mudança tecnológica 129
3.5. Análise do impacto das mudanças institucionais e tecnológicas sobre o setor no Brasil 130
3.5.1. Síntese das perspectivas tecnológicas e impactos sobre o setor 130
3.5.2. Síntese das restrições ao comércio e ao consumo e impactos sobre o setor 131
3.5.3. Objetivos de médio e longo prazo desejáveis para o setor 132
4. Referências 135

1. Introdução

A chamada pública do BNDES parte da preocupação crescente com as mudanças climáticas decorrentes da emissão crescente de gases efeito estufa (GEE). Cada país possui uma estrutura diferenciada, o que, por sua vez, condiciona diferentes determinantes para as emissões. Nos países desenvolvidos, as emissões se concentram no uso de energia, com destaque para o setor transportes. No caso brasileiro, a maior parte das emissões decorre de mudanças no uso do solo, com destaque para o desflorestamento e as atividades agropecuárias. Este perfil de emissões coloca vantagens para a economia brasileira no alcance de metas de redução de emissões, podendo concentrar-se em ganhos de produtividade e melhores técnicas de manejo na agropecuária. No caso dos países desenvolvidos, a redução de emissões está associada a maior eficiência energética e a busca de fontes de energias alternativas.

O etanol, empregado na indústria química, fabricação de bebidas e como carburante, é hoje a principal bioenergia utilizada no mundo. Entre 2005 e 2010, a produção mundial cresceu 77,3%, quando atingiu 87 bilhões de litros. Os maiores produtores e consumidores do etanol são o Brasil e os Estados Unidos que, juntos, foram responsáveis por mais de 70% da produção e do consumo mundial. Com uma demanda interna de cerca de 50 bilhões de litros, o mercado americano de etanol foi o que mais cresceu nos últimos anos, em função da substituição do Metil Tércio Butil Éter (MTBE) pelo etanol como oxigenador da gasolina em vários Estados. A expansão da demanda americana tem sido respaldada pelo crescimento da oferta de milho no país e pela expansão da capacidade produtiva instalada. No Brasil, a demanda por etanol superou os 25 bilhões de litros em 2010. Nesse mercado, a tendência nos últimos anos também foi de crescimento, porém a taxas bem menores que no caso americano.

O Brasil encontra-se na vanguarda do processo de busca de energia limpa. Além da forte presença das hidrelétricas, o país é o único que possui um programa de larga escala de veículos com motores que utilizam fontes energéticas limpas e renováveis, no caso o álcool, seja na adição de porcentual significativo à gasolina (álcool anidro), seja diretamente como combustível (álcool hidratado). A competitividade do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar no Brasil é significativamente maior do que a dos demais produtores, destacando-se em relação

ao etanol de milho dos EUA, tanto na questão dos custos de produção, como do balanço energético. (BNDES; CGEE, 2008). Para o Brasil, a expansão da produção de cana-de-açúcar representa grande oportunidade de geração de valor e renda, uma vez que o país apresenta nítidas vantagens comparativas na produção de combustíveis de fontes renováveis (HOFFMANN, 2006).

A preocupação com as emissões de GEE colocam duas questões que podem afetar a estrutura econômica dos países: (i) a imposição de restrições ao consumo e ao comércio de produtos intensivos em emissões; (ii) o surgimento de mudanças tecnológicas em termos de eficiência energética e novas fontes de energia que comprometam setores já instalados.

Particularmente, no caso dos biocombustíveis, a nítida vantagem brasileira, consequência de sua vanguarda e vantagens comparativas na dotação de recursos naturais, pode ser questionada no futuro, por conta dos avanços tecnológicos em outros países e um direcionamento crescente de recursos para P&D que poderão colocar em xeque a posição brasileira. É o que se verifica, por exemplo, no desenvolvimento do etanol celulósico, ou ainda com o surgimento de outras fontes energéticas que se tornem competitivas (como a célula de hidrogênio, entre outras). Isto já pode ser sentido pela grande expansão na produção do etanol de milho nos EUA, que já supera a produção brasileira, o que sinaliza a importância que este tema vem assumindo em nível global.

O biodiesel, por seu lado, é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis e pode ser produzido a partir de gorduras animais, óleos e gorduras residuais ou de óleos vegetais. O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal bruto, ou seja, sem grandes refinações. De uma maneira geral, faz-se a extração do óleo, seguida de procedimentos de separação por centrifugação e filtragem, resultando nos óleos vegetais brutos.

No Brasil, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) foi elaborado através de uma parceria entre um grupo de trabalho interministerial, instituído por Decreto pelo Presidente da República – encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal – e associações empresariais, como a ANFAVEA e a Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE).

Visando a implantação do PNPB, o Poder Executivo enviou ao Congresso Nacional dois instrumentos legais. O primeiro (Medida Provisória nº 214) dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, definindo o termo "biodiesel" e conferindo à Agência Nacional do Petróleo (ANP) responsabilidades de regulação, contratação e fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria dos combustíveis renováveis (incluindo o biodiesel). Outro aspecto importante foi não ter definido a obrigatoriedade da adição de biodiesel ao óleo diesel, apenas informando acerca da autorização da mistura de 2% de biodiesel ao óleo diesel. De fato, a MP 214/04 deixou de trazer instrumentos para incentivar a produção de biodiesel e gerar benefícios sociais a uma parcela significativa da população brasileira, limitando-se, basicamente, a estabelecer que a ANP seja o órgão regulador das atividades relativas ao biodiesel e a propor uma definição legal para aquele combustível.

O Projeto de Lei de Conversão (PLV-60, de 2004) foi sancionado pelo Presidente da República e transformado na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, sendo responsável por estabelecer a obrigatoriedade da adição de 5% de biodiesel em oito anos após a publicação da referida lei, havendo um percentual obrigatório intermediário de 2% três anos após a publicação da mesma.

O objetivo do presente relatório, no contexto do projeto BNDES, é o de identificar como restrições comerciais, tributações a emissões e mudanças tecnológicas podem afetar o setor de produção de biocombustíveis no Brasil. Este relatório concentra-se no estudo do setor produtor de etanol e biodiesel, os dois mais importantes biocombustíveis. A fim de atender aos objetivos do trabalho, este documento se divide em quatro seções, contando essa introdução e as considerações finais. Na próxima seção tratam-se dos temas abordados no projeto, com foco sobre as questões relacionadas ao etanol; na seção, o foco é o biodiesel. Para os dois tipos de biocombustíveis são considerados a caracterização setorial e o detalhamento das cadeias produtivas; na sequência analisa-se o quadro internacional de produção, bem como o quadro interno, as condições e a estrutura dos mercados de etanol e biodiesel no Brasil. A última subseção para cada biocombustível trata das sínteses das ideais apresentadas ao longo do relatório.

2. Etanol

2.1. Caracterização Setorial

A produção de etanol não se constitui, efetivamente, em algo novo. As pesquisas de sua utilização remontam ao final do século dezenove, sua utilização corrente somente ocorreu na década de 1930, nos EUA, quando Henry Ford equipou seu modelo Ford T com motor capaz de funcionar tanto com etanol como com gasolina, como com qualquer combinação entre ambos. À época, o etanol foi amplamente utilizado nos EUA como alternativa a gasolina para uso no mercado interno devido ao racionamento de materiais e recursos naturais. Contudo, após a Segunda Guerra Mundial, a combinação de tributos crescentes, de campanhas realizadas pelos principais produtores de petróleo e da progressiva disponibilidade de gasolina barata acabaram por inibir o uso do etanol como um combustível importante para o transporte. (CGEE, 2009).

Mesmo com os choques do petróleo na década de 70, a elevada volatilidade do preço do petróleo e os elevados riscos associados à instabilidade política nos principais países produtores de petróleo, não houve uma expansão significativa do uso do etanol como combustível, em nível, mundial ao longo do século passado. A retomada do interesse por esse combustível decorreu das preocupações ambientais associados ao risco de aquecimento global, decorrente da emissão crescente de gases efeito estufa, muito associado a utilização de combustíveis fósseis. Esse fato levou a um grande interesse na produção de energia renovável, que colocou em destaque o etanol como uma alternativa, ou complemento, ao uso de combustíveis fósseis.

O etanol é o mais comum dos álcoois. Seu uso como combustível pode se dar como complemento à gasolina, como aditivo, caso em que se utiliza o etanol anidro, substância com alto teor alcoólico, ou como combustível substituto à gasolina, caso em que se emprega, via de regra, o etanol hidratado, substância que tem uma concentração alcoólica inferior à do anidro. Além disso, o etanol anidro também é utilizado pela indústria química, como matéria-prima para a produção de tintas, vernizes e solventes. O etanol hidratado é também empregado na indústria farmacêutica, alcoolquímica e bebidas, e como produto para limpeza. Na medicina, é utilizado, assim como outros álcoois também são, como esterilizante. É usado

também na produção de biodiesel, onde o óleo reage com o etanol, gerando éster etílico e glicerina. O etanol é também usado como matéria prima para a produção de vinagre e ácido acético, a síntese de cloral e iodofórmio.

O emprego do etanol para outras finalidades, que não combustível exige diferentes graus de pureza, o que significa maiores custos de produção. Existem várias pesquisas para o desenvolvimento do que já foi chamado de alcoolquímica, por meio da qual o etanol poderia substituir o petróleo como base para a produção de várias matérias-primas. Hoje em dia, discute-se o conceito de biorrefinaria, plantas industriais que utilizaria açúcares, obtidos de cana ou de qualquer outra biomassa, para a obtenção de moléculas específicas que atendam a diferentes fins e aplicações na indústria química.

O etanol pode ser produzido de diferentes fontes de matéria-prima, entre outras podem ser citadas o milho, a mandioca, a beterraba, o capim e a cana-de-açúcar.

No Brasil, as tentativas de utilização do etanol como combustível também remontam ao início do século passado, mas ganharam forte destaque com os choques do petróleo e os significativos problemas de balanço de pagamento da economia brasileira. Mas diferentemente de outros países, o etanol passou a fazer parte de forma consistente na oferta de combustíveis no país. O etanol brasileiro é obtido a partir da cana-de-açúcar, que sempre se constitui uma das principais atividades econômicas do país.

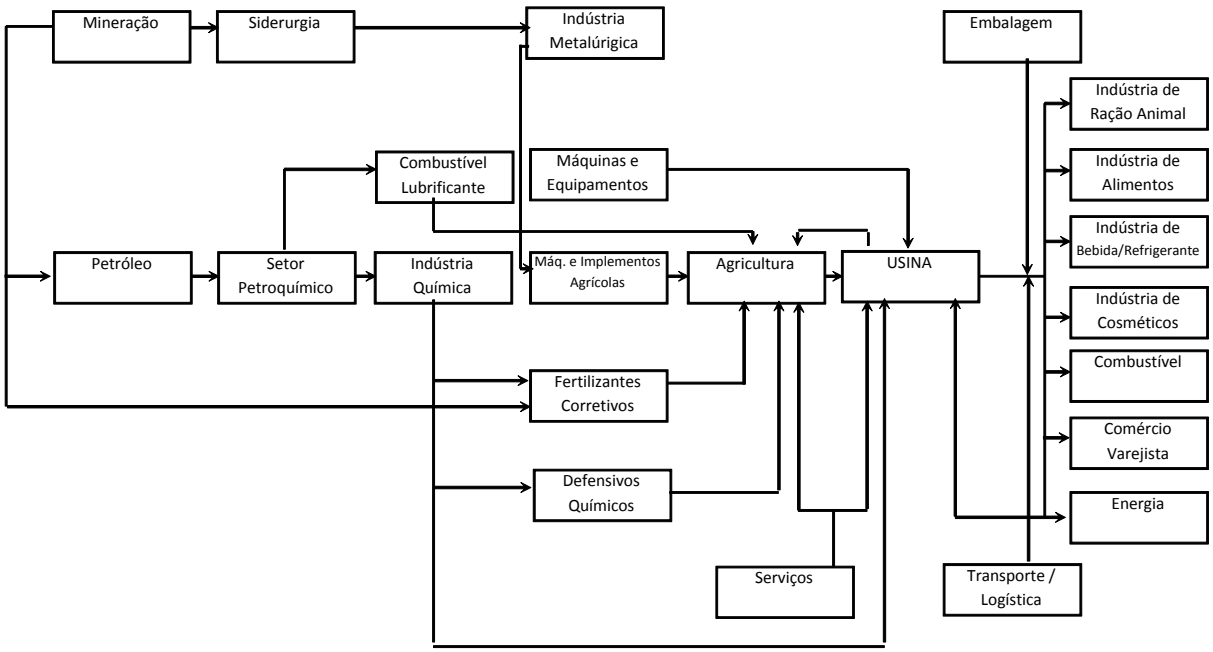
A cana-de-açúcar foi a primeira atividade de destaque na economia brasileira, ainda no período colonial. No século passado, houve uma aceleração da produção a partir da década de 70, por conta do Programa Nacional do Álcool, o Proálcool. Criado pelo Decreto-Lei 76.593, de 14 de novembro de 1975, o Proálcool foi uma iniciativa governamental para fazer frente aos sucessivos aumentos do preço do petróleo. O programa tinha como objetivo garantir o suprimento de etanol no processo de substituição da gasolina. Tinha também como meta apoiar o desenvolvimento tecnológico da indústria sucroalcooleira. Na primeira fase do programa, até 1979, a ênfase foi a produção de etanol anidro para ser misturado à gasolina. Na segunda fase, a ênfase passou a ser o etanol hidratado, usado puro em motores adaptados para o combustível.

Entre 1983 e 1988, mais de 90% dos automóveis vendidos no País eram movidos a etanol. A queda do preço do petróleo e a crise do Proálcool, no bojo da crise do setor público como um todo, entre as décadas de 80 e 90, marcam um período de estagnação na produção do setor. No início dos anos 90, intensas mudanças começam a ocorrer no setor, com o fim do protecionismo público, marcado pela extinção do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), e a promulgação de uma série de medidas direcionadas à formação de um mercado interno de cana-de-açúcar, açúcar, álcool e outros subprodutos, sem a intervenção direta que caracterizara o setor desde os anos trinta. A consequência direta foi a redução na participação do etanol como combustível. Ao final da década de 90, apenas 1% dos carros vendidos tinham motores a etanol. Por outro lado, aumentou a participação do etanol como aditivo à gasolina, em porcentuais de até 25%.

Atualmente, são 70 mil agricultores em todo o Brasil e 439 usinas, distribuídas, principalmente, nas regiões Centro-Sul (responsável por 89% da produção de álcool) e Norte-Nordeste (11% restantes). (MAPA, 2011; Unica)

Além dos produtores diretos, o setor possui fortes encadeamentos com setores fornecedores de equipamentos, insumos agrícolas e com os setores demandantes do produto, caracterizando uma cadeia produtiva. A cadeia produtiva do etanol da cana-de-açúcar no Brasil pode ser esquematicamente vista na figura 1 abaixo (FIESP/CIESP, 2001). Esse fluxograma mostra o conjunto de atividades econômicas que se articulam progressivamente até a elaboração do produto final (açúcar e/ou álcool), pelas usinas, bem como os segmentos industriais que estão a jusante das usinas, ou seja, as indústrias que utilizam açúcar ou álcool como matéria-prima para a fabricação de seus produtos. A esse conjunto de atividades econômicas dá-se o nome de cadeia produtiva, e cada setor integrante da cadeia recebe a denominação de elo.

Como em uma corrente, os elos estão interligados, ofertando e/ou demandando produtos e serviços. A interdependência existente entre os elos demonstra de maneira muito clara como os ganhos auferidos por um segmento do sistema pode refletir positivamente em toda a cadeia produtiva.



Fonte: FIESP/CIESP, 2001.

Figura 1: Cadeia produtiva do etanol

Por se constituir uma fonte de energia renovável seu potencial de crescimento é bastante amplo. Um ponto que chama a atenção é a ampla possibilidade de utilização da cana. Hoje em dia é aproveitado o caldo do qual se produz o açúcar e o etanol e o bagaço principalmente na geração de energia. O etanol hoje é aproveitando principalmente como combustível, mas poderá ser insumo para outros produtos de maior valor agregado, como por exemplo, vários polímeros e compostos químicos. O bagaço poderá vir a ser aproveitado a partir do etanol celulósico, se este se tornar viável, para a produção de etanol, assim como a própria palha. E até os subprodutos do processo produtivo acabam sendo aproveitados.

2.2. Quadro Internacional

2.2.1. Produção, consumo e comércio internacional

Como destacado anteriormente, a produção de etanol encontra-se difundida em vários países e pode ser obtida de diferentes fontes de matéria-prima. Os principais produtores são Brasil e Estados Unidos que respondem por cerca de 70% da produção mundial. A maior parte da produção destina-se a utilização como

combustível. Os 30% restantes da produção mundial estão divididos entre a China, a Índia, a União Europeia e outros produtores menores, que destinam o etanol, sobretudo, para a indústria química e para a fabricação de bebidas. É crescente a destinação do etanol para combustível nesse mercado, o que sinaliza para o potencial do produto no mercado internacional.

Os principais países produtores de etanol e a sua produção de 2002 a 2010 estão indicados na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1: Principais países produtores de Etanol – 2002-2010 (bilhões de litros)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EUA	8,15	10,62	12,90	14,76	18,38	24,55	34,97	40,60	50,08
Brasil	11,49	12,14	13,54	13,81	16,70	20,00	24,20	23,92	24,90
China	2,88	0,80	1,00	1,20	1,68	1,70	2,00	2,05	2,05
União Européia	0,31	0,47	0,61	0,90	1,58	1,79	2,76	3,59	3,94
Mundo	20,52	24,34	28,51	31,33	39,24	49,55	66,06	72,83	86,86

Fonte: Renewable Fuels Association e F.O.Licht.

É nos países ricos e industrializados que reside o mercado potencial para o etanol. Contudo, são mercados altamente protegidos, e qualquer avanço nesta área depende da abertura de mercados através de negociações. Nos Estados Unidos, a obrigação de adição de etanol à gasolina assegura mercado ao etanol. Até 2011, os subsídios destinados à produção de etanol local, bem como as tarifas impostas à importação, funcionavam como reserva de mercado aos produtores daquele país. Em 2012, a quebra na safra de milho, nos EUA, e o aumento no custo da matéria-prima do etanol americano têm contribuído para restabelecer algum comércio do etanol brasileiro para aquele país. Tal comércio é limitado, no entanto, pelos problemas brasileiros na oferta desse produto.

Na União Europeia, além da restrição à importação do álcool brasileiro (tarifas entre 10,2 e 19,2 euro/hl), os produtores locais também contam com subsídios, como em geral toda a produção agrícola europeia. Na União Europeia existem pesquisas para fontes próprias de matérias-primas, tais como cereais, madeira etc. Índia e China, também são países que apresentam produção de álcool, mas com uma participação pequena no total mundial.

2.2.1.1.1. Estados Unidos

Nos EUA, experiências envolvendo a mistura de etanol na gasolina tiveram início em 1920, com a adição de 6 a 12% de combustível renovável ao de origem fóssil. Entretanto, foi em 1978 que a política ganhou força com a introdução do E10 em todo o território americano. O etanol já representa 25% da gasolina que é refinada e produzida para consumo americano, um expressivo crescimento em relação ao início da década, quando não atingia 1% do mercado. Como reflexo dos incentivos governamentais ao setor, a capacidade de produção americana aumentou quinze vezes depois de 1990, de 900 milhões de galões para 14,9 bilhões de galões, em 2012 – aproximadamente 56,4 bilhões de litros (Renewable Fuels Association, 2012), o que faz dos americanos os maiores produtores mundiais de etanol em 2005., Junto com o Brasil, foram responsáveis por 86% da produção mundial.

A *Energy Policy Act* de 1992 permite que o etanol seja misturado à gasolina na proporção de 85% de etanol e 15 % de gasolina, formando a mistura denominada E85. Misturas com proporções superiores de etanol, como, por exemplo, o E95, também são classificadas como combustíveis alternativos sob a égide dessa Lei. Os veículos movidos a E85 são denominados, assim como no Brasil, de veículos flexíveis (*Flexible Fuel Vehicles* - FFV) e são produzidos por várias montadoras.

A Renewable Fuels Association, associação de comércio dos produtores de etanol nos Estados Unidos, registrou 209 usinas de etanol em operação, além de outras duas em construção ou em expansão a partir de janeiro de 2012. Após sua conclusão, os EUA passarão a ter capacidade total instalada de 15,0 bilhões de galões – cerca de 57,0 bilhões de litros.

Atualmente, a maior parte da produção é consumida como gasohol, nome dado à mistura de gasolina e etanol, em que o etanol entra em baixas proporções, com concentração de até 10 por cento de estanol. Alguns estados americanos adotam o E85, mistura de 85% de etanol e 15% de gasolina, exclusivamente voltado para veículos com tecnologia flex, hoje representados por quase oito milhões de veículos em circulação. Dos mais de 200 mil postos de abastecimento existentes nos EUA, cerca de 2,9 mil oferecem o E85, a maioria deles concentrada nos estados da região do meio-oeste americano, onde fica a maior parte da produção de milho no país. Dentre esses estados destacam-se os estados de Minnesota, Illinois,

Indiana, Wisconsin, Iowa, Missouri, Michigan, Colorado, South Dakota, Ohio e Nebraska.

Ao contrário do Brasil, nos EUA o etanol é produzido primordialmente a partir do milho. A adição obrigatória de etanol aos combustíveis fósseis levou ao aumento dos preços do milho e do etanol internamente, o que poderia ser facilmente evitado pela facilitação de importações de etanol com custos inferiores, proveniente de países em desenvolvimento. Essa alternativa sempre fora inviabilizada pelo fortíssimo *lobby* dos produtores locais de milho e de etanol a partir do milho no congresso americano. Esses produtores receberam, durante muito tempo, subsídio do governo federal de US$ 0,51 por galão de etanol, com o intuito de tornar o preço deste combustível competitivo no mercado americano. Além disso, o subsídio era complementado por imposição de tarifa de importação, no valor de US$ 0,54 por galão de etanol importado, equivalente a US$ 142,7/m3, além de tarifa padrão de 2,5% *ad valorem*. No final de 2011, no entanto, o Congresso americano não renovou a concessão de ambos, o que representou a primeira derrota da indústria do etanol nos últimos 30 anos. Contribuíram para essa queda a crise da dívida pública americana, a crescente insatisfação da opinião pública com os gastos federais (como o movimento *Tea Party*), bem como a incapacidade do setor no Brasil de atender a qualquer aumento na demanda externa. Em 2010 foi formada uma coalização de associações empresariais, organizações assistenciais, grupos agrícolas e grupos ambientais (chamada "No2VEETC"), contrárias aos subsídios ao etanol.

Com o fim dos subsídios e um potencial aumento do preço ao consumidor, no entanto, o ritmo de expansão do consumo nesse país pode se reduzir no curto prazo. Como possível compensação e, certamente como reafirmação do programa de adição de etanol à gasolina, no entanto, a Agência de Proteção Ambiental (EPA, na sigla em inglês) autorizou, em 2012, o uso da mistura de etanol na gasolina a 15% (E15) em veículos com motores flex montados a partir de 2001 - o que equivale a aproximadamente 60% da frota de 280 milhões automóveis em circulação no país. As consequências dessa queda são ainda pouco previsíveis, embora possa ser benéfica aos produtores brasileiros, no médio prazo.

2.2.1.1.2. União Europeia

A União Europeia (EU) tem promovido a produção e a utilização de biocombustíveis, visando à redução das emissões dos gases que causam o efeito estufa, em particular o CO_2; a diversificação das fontes de energia para fornecimento de combustíveis; a proteção da economia agrícola; e o desejo de uma maior segurança energética.

A produção e uso de biocombustíveis por vários países europeus não é algo novo, datando do início dos anos noventa. Nesta época também começaram a ser adotadas políticas, no âmbito da UE, com foco principal na segurança do suprimento energético ao bloco de países que a compõem.

Dentre as políticas existentes destaca-se a Política Agrícola Comum (CAP - *Common Agricultural Policy*), uma das mais antigas da UE. Ela tradicionalmente envolvia a produção de grãos, já que regulava os preços e as áreas plantadas, intervinha nas relações de compradores, geria estoques e controlava rigidamente as fronteiras agrícolas. Essa política, no entanto, foi revisada em 2003 para eliminar distorções quanto aos mercados europeus de *commodities*.

Atualmente, a CAP inclui regras sobre a utilização do solo, bem como um programa de remuneração para a produção de culturas voltadas aos biocombustíveis. Pela CAP, os fazendeiros são obrigados a reservar 10% de suas áreas agricultáveis sem uso com o intuito de promover a biodiversidade. Aqueles que participam desta politica recebem um pagamento como forma de compensação pela não utilização e tem autorização de plantar espécies oleaginosas para a produção de biodiesel ou outros produtos industriais que não sejam passiveis de venda no mercado de alimentos.

A UE criou, também, o Programa de Remuneração de Culturas Energéticas. Consideram-se culturas energéticas aquelas destinadas à produção de biocombustíveis, ou a produção de energia elétrica e/ou térmica. As reformas na CAP definiram uma remuneração de €45 por hectare cultivado de cultura energética. Esta remuneração foi garantida, em 2003, para uma área máxima de 1,5 Mha. Em 2005, 500 mil hectares receberam esse subsidio.

Entretanto, apesar das diretivas editadas, a meta proposta para 2005 pela Diretiva 2003/30/CE, ou seja, 2% de mistura de biocombustíveis aos combustíveis

convencionais, não foi atingida. Alcançou-se somente uma participação de 1,4%. Para que a meta de 5,75% no ano de 2010 fosse atendida, estimava-se que seria necessário produzir cerca de 12 bilhões de litros de etanol, o que também não foi alcançado. Como a produção é de aproximadamente 2,8 bilhões de litros, com destilarias planejadas para incrementar em 4,11 bilhões de litros a capacidade atual, conclui-se que a UE não tem condições de atingir a meta proposta sem recorrer a importações.

2.2.1.1.3. Japão

O Japão, apesar de não ser produtor ou consumidor muito grande de etanol, vem tomando posição cada vez mais destacada em decorrência do fato de ser um dos maiores consumidores mundiais de combustíveis fósseis, bem como por possuir uma das maiores frotas de automóveis. Uma vez que o setor de transportes japonês é quase que totalmente dependente dos combustíveis fósseis, o investimento na produção e consumo de biocombustíveis é peça chave não somente para o alcance das metas de redução de GEE estabelecidas, como também para a garantia de maior segurança energética, a partir da redução da dependência em relação aos derivados do petróleo.

A produção japonesa de etanol se concentra atualmente em algumas poucas usinas que produzem a partir do trigo, da beterraba e do arroz, principalmente. No entanto, um dos grandes problemas enfrentados por tal produção é que, para que o preço do etanol seja competitivo, ou mesmo que sua fabricação seja viável, requer-se que os preços das matérias-primas sejam muito baixos, abaixo inclusive do seu preço no mercado alimentício. Consequentemente, a venda dessas commodities para a produção de biocombustível se torna pouco atraente para os agricultores. Além disso, órgãos governamentais e também o setor privado têm investido na construção de usinas que produzam etanol a partir da cana-de-açúcar ou de biomassa, não competindo, portanto, com os alimentos. Neste sentido, uma das maiores apostas do país é a utilização de resíduos da produção de gêneros alimentícios, como por exemplo, a palha do arroz.

Apesar do debate acerca da possível competição entre o setor alimentício e o de bicombustíveis, estimativas da USDA mostram que, mesmo que todas as usinas

japonesas se utilizassem das culturas tradicionais para a produção de etanol, a quantidade empregada total da matéria-prima no álcool em relação à totalidade dela produzida internamente seria de apenas 0,4% para o arroz, e 0,6% e 3,5% respectivamente para o trigo e a beterraba. Com efeito, os preços de tais commodities não deveriam sofrer variações relevantes.

O consumo do etanol no Japão se concentra quase que unicamente no setor de transportes através da introdução dos biocombustíveis no mercado. Apesar de ainda apresentar números desprezíveis, a projeção é de aumento das importações do álcool em decorrência da recente introdução da E3 (gasolina com 3% de etanol misturado) no mercado, bem como com a possível legalização da E10 nos próximos anos. De acordo com a Associação Japonesa de Fabricantes de Automóveis (JAMA), se a E3 fosse totalmente adotada, a demanda japonesa por etanol seria de 1,8 bilhões de litros por ano, e se a E10 fosse adotada, a demanda cresceria mais de três vezes, alcançando os 6 bilhões de litros por ano. As várias produtoras de automóveis já vêm disponibilizando modelos que comportam a E10 no mercado japonês. Não obstante, alternativas como carros elétricos e diesel limpo também vêm sendo consideradas a fim de alcançar as metas de redução dos GEE.

Atualmente, o setor de gasolina do país é dominado por menos de dez empresas, responsáveis por importar e distribuir o combustível pelo país. Juntas, estas empresas formam a Associação Japonesa de Petróleo (PAJ). Em janeiro de 2007, essa associação criou a JBSL (*Japan Biofuels Supply* LLS), uma empresa com a finalidade de importação de bio-ETBE para sua utilização como carburante da gasolina, e, desde 2007, essa empresa passou a ofertar, a nível comercial, bio-gasolina (gasolina comum misturada com o bio-ETBE) nos postos como uma alternativa aos combustíveis tradicionais. Além disso, em outubro de 2008, a PAJ firmou um contrato de longo prazo com a Coopersucar (produtora brasileira de etanol) de compra de 200 milhões de litros do álcool, o qual é enviado aos Estados Unidos onde é transformado em bio-ETBE e só então é exportado para o Japão. A E3 (feita a partir da mistura direta do etanol à gasolina), por sua vez, é ofertada pela Companhia de Etanol Brasil-Japão, uma afiliada da Petrobrás, e recebe subsídios de um órgão ligado ao governo japonês para que seu preço seja competitivo frente ao da gasolina comum. O que se vem observando é a crescente competição entre a bio-gasolina e a E3 no mercado.

Um aspecto importante da atuação japonesa no setor dos biocombustíveis é a importância que tem sido dada por agentes públicos e privados ao investimento em pesquisa e produção em outros países. Segundo relatório de 2012 da USDA:

> "Em termos de desenvolvimento, a fim de contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa, desde 2010 o Japão presta assistência técnica aos países do Sudeste Asiático, em particular, para a Tailândia e Vietnã. Várias empresas japoneses começaram a investir na Malásia e Indonésia para produzir biodiesel, a partir de óleo de palma, e etanol, a partir da cana e pinhão manso. Algumas empresas japoneses também têm demonstrado interesse em investimentos brasileiros de etanol. Isto inclui tanto as explorações de fazendas canavieiras como usinas." (p.11, tradução própria.)[1]

Ademais, em 2011, o governo do Japão fechou acordo com os Estados Unidos para projeto de pesquisa conjunta em novos métodos de produção de biocombustíveis que possam contribuir para a redução de emissões dos gases de efeito estufa, investindo, para isso, um total de aproximadamente US$11 milhões por três anos; o foco da pesquisa será a fabricação de combustíveis a partir da alga.

O governo japonês tem dado especial atenção à questão dos biocombustíveis desde 2002, com a criação, em dezembro daquele ano, de seu primeiro plano para esse setor: a Estratégia Nipônica de Biomassa (*Biomass Nippon Strategy*). O plano se baseava em quatro pilares principais: a prevenção do aquecimento global, a criação de uma sociedade voltada para a reciclagem, a revitalização das comunidades rurais, e o incentivo a indústrias estratégicas. Não obstante, desde a ratificação do Protocolo de Kyoto, em 2005, que estabelecia comprometimento em alcançar uma redução de 6% (em relação aos níveis de 1990) dos gases de efeito estufa até 2012, o país passou a se empenhar ainda mais nesta corrida, revisando seu plano de biomassa em 2006 para enfatizar a utilização dos biocombustíveis. O plano revisado estabelecia, para 2011, o objetivo de produção de 60 milhões de litros de etanol a partir de melaço de açúcar, arroz (somente aquele que não atende às especificações necessárias para venda no mercado de alimentos) e resíduos de

---

[1] "In terms of development, in order to help reduce greenhouse gas emissions, since 2010 Japan has been providing technical assistance to Southeast Asia nations, in particular, to Thailand and Vietnam. Several Japanese trading companies have started to invest in Malaysia and Indonesia to produce biodiesel from palm oil, and bioethanol from sugarcane and jatropha. Some Japanese trading companies have also shown interest in Brazilian ethanol investments. This includes sugarcane farms as well as the associated ethanol production facilities.

construções. O plano foi novamente revisado em 2008 quando, dado à limitada quantidade de terras no país, o foco passou a ser a produção de etanol celulósico e diesel derivado de alga. Esta última revisão estabeleceu, para 2030, meta de produção de 6 bilhões de litros por ano de etanol celulósico, o que totalizaria suprimento de quase 10% do consumo interno do álcool. Desde 2010, no entanto, devido ao restrito orçamento nacional e à polêmica gerada pela mídia acerca do debate "comida versus combustível", os investimentos na maioria dos projetos relacionados à biomassa foram reduzidos pela metade ou até completamente retirados, e não há planos ainda de que voltem a crescer.

Apesar disso, o governo provê uma série de incentivos fiscais à produção dos biocombustíveis. Em 2008, com a emenda do Ato de Controle de Qualidade da Gasolina e outros Combustíveis, foram introduzidas medidas fiscais visando o encorajamento da utilização dos biocombustíveis. Uma dessas medidas, vigorando até o fim de março de 2013, é a redução em ¥ 1,6 por litro para combustíveis que contenham 3% de etanol. Ademais, foi aprovada, também em 2008, a Lei para Promoção do Uso de Biomassa para Produção de Biocombustíveis, a qual inclui incentivos fiscais e assistência financeira para fabricantes de etanol e agricultores que produzam matéria-prima para tal, como cooperativas agrícolas e negócios privados. Não somente, o governo também realizou medidas a fim de estimular, demais, o uso do bio-ETBE, reduzindo sua tarifa de importação de 3,1% para zero até 31 de março de 2013.

2.2.1.1.4. Canadá

Diferentemente da maioria dos países, a segurança energética, no sentido de redução da dependência do petróleo, não é uma preocupação para o Canadá. Sem embargo, o país possui a segunda maior reserva de óleo do mundo, integrando o grupo dos dez maiores produtores e exportadores de petróleo mundiais. Todavia, o país possui uma das maiores frotas de automóveis, o que acaba por inclui-lo na lista dos dez maiores consumidores de combustíveis fósseis no mundo. Dados da USDA mostram que apenas entre 2005 e 2009 o setor de transportes representou quase um terço de toda a energia consumida no país, sendo que a gasolina e o diesel para motores representaram, juntos, 86% desse consumo energético.

Consequentemente, o governo canadense vem demonstrando grande preocupação em estimular a utilização dos biocombustíveis como forma de proteção ambiental.

O Mandato Nacional de Biocombustíveis (*National Biofuels Mandate*) foi anunciado em 2006, sendo parte integrante da Estratégia Nacional para Combustíveis Renováveis (*Renewable Fuels Strategy*) e constituindo o primeiro plano responsável por dar diretivas ao setor. Desde então tal mandato passou por uma série de revisões e emendas. A mais importante delas entrou em vigor em agosto de 2010 e oficializou todas as regulações relativas ao setor, bem como estipulou a utilização compulsória, em todas as províncias, de mistura de 5% de etanol à gasolina, conhecida como E5, sendo dezembro daquele mesmo ano seu prazo limite de implantação. As principais metas dessas regulações são condizentes com as da estratégia nacional para os bicombustíveis, consistindo em reduzir a emissão dos gases de efeito estufa e criar um mercado de consumo para biocombustíveis no país. Juntamente com essas medidas, o governo canadense anunciou também a realização de uma série de programas visando o estímulo não apenas ao fortalecimento da indústria alcooleira doméstica, como à utilização de biomassa para a produção de etanol e ao encorajamento de agricultores à plantação das matérias-primas necessárias. Contudo, a maioria deles esta prevista para expirar ao final de março de 2013 e ainda não houve nenhum anúncio governamental acerca do prolongamento de tais programas ou da criação de novos.

A fabricação de etanol internamente concentra-se em três províncias: Ontario, Saskatchewan e Manitoba. Juntas são responsáveis por quase 88% da produção total. Apesar de que, no curto prazo, uma elevação dessa produção é esperada, no médio e longo prazo a limitação da expansão desta é nítida e dependerá, em particular, da criação de infraestrutura capaz de suportar crescimento industrial e de uma multiplicidade de fatores ligados não apenas aos incentivos fiscais à fabricação e consumo do álcool, como também aos preços relativos dos biocombustíveis, dos combustíveis tradicionais e de outros tipos de energia.

Projeta-se, não obstante, que a produção doméstica de etanol irá crescer bastante nos próximos anos. Este aumento se deverá, em particular, à conclusão da construção de uma usina em Alberta que terá capacidade de produzir aproximadamente 38 milhões de litros de etanol celulósico. Com efeito, segundo relatório de 2012 da USDA, a produção de etanol está prevista para se elevar em

38% em 2012 e em mais 4% em 2013. Ademais, devido à Enerkem (usina que será concluída em Alberta), estima-se que as participações do milho e do trigo na fabricação do álcool diminuirão um pouco, passando, respectivamente, a representarem 76,3% e 22,5%, enquanto que outros tipos de matérias-primas (tais como a palha do trigo e descartes de madeira) serão responsáveis por 1,2% da produção.

Um dos grandes obstáculos enfrentados pela indústria de etanol canadense é a competição que vem sendo criada no mercado alimentício em decorrência do emprego cada vez maior do milho e do trigo na produção do álcool, especialmente após a obrigatoriedade de introdução da E5. Em algumas províncias, ainda, misturas com maiores quantidades de etanol foram implementadas: em Saskatchewan o conteúdo obrigatório é de 7,5% de etanol na gasolina e em Manitoba, 8,5%.

O milho continuará sendo, nos próximos anos, a matéria-prima principal, porém não há planos de construção de novas usinas que o utilizem. Em oposição, preveem-se novas usinas, mais flexíveis e eficientes, baseadas no trigo, possivelmente gerando ainda mais competição em relação ao setor de alimentos.

Outro problema que o país deverá enfrentar é o salto de consumo esperado para o etanol: com a efetivação da E5, e de misturas ainda superiores em algumas províncias, estima-se uma demanda mínima de 2,054 milhões de litros para 2012, e de 2,074 milhões de litros para 2013, no entanto, a fabricação doméstica conseguirá suprir somente 89,3% e 90,3% dessas quantidades respectivamente (USDA, 2012). Conclui-se que haverá a necessidade de importação do combustível. Essas importações provavelmente serão totalmente provenientes dos Estados Unidos, uma vez que o NAFTA (*North American Free Trade Agreement*) assegura a não existência de barreiras a importações entre ambas as nações, enquanto que para outros países, como o Brasil, essa tarifa é de US$0,05 por litro.

Apesar de o Canadá não ter significativo destaque no desenvolvimento e produção de etanol derivado de outros tipos de biomassa que não o trigo e o milho, grandes esforços públicos e privados vêm sendo feitos nesta direção. Um exemplo disso é a construção, anteriormente citada, de uma usina de etanol celulósico em Alberta, uma joint venture feita a partir da associação da Enerkem e da GreenField Bioethanol. Ademais, a Iogen Corporation, com suporte governamental, tem se

empenhado na construção, ainda em fase demonstrativa, de uma usina para conversão de fibras de biomassa em etanol com base em tecnologia enzimática.

2.2.1.1.5. Outros mercados

Dentre os demais produtores de etanol, a produção chinesa vem apresentando relativo crescimento na última década, com crescimento médio de cerca de 8% a.a., o que já a coloca como o quarto maior mercado produtor de etanol do mundo. No entanto, sua produção representa menos de 3% da produção mundial. A matéria empregada para a produção de etanol na China é baseada em grãos, o que potencialmente concorre com o consumo alimentar daquele país, gerando uma tensão não desprezível no setor daquele país. Os avanços na produção de etanol celulósico contribuiriam para o acréscimo da produção chinesa, que é exportador líquido do produto.

A produção de etanol na América Central e Caribe beneficiava-se, até o ano passado, do tratamento preferencial dispensado pela política americana, por meio do *Caribbean Basin Initiative* (CBI), que possibilitava isenção das tarifas impostas ao etanol de outras regiões, no montante de até 7% da produção americana de etanol. Como o etanol não necessariamente precisaria ser produzido nessa região, esse beneficio, além de eventualmente incrementar a produção nesses países, também incentivava a “triangulação”, mecanismo pelo qual países como o Brasil exportam grandes quantidades de etanol hidratado para países signatários do CIB, para que fossem desidratados nesses países, e adequado às normas e especificações norte-americanas em plantas especialmente projetadas para esta finalidade, com o intuito de exportar para os EUA sem a incidência da tarifa alfandegária. O fim dos subsídios americanos tende a modificar essa situação.

Ao lado do aumento da produção e do consumo no período recente, desponta a possibilidade de que haja um intenso crescimento do comércio internacional de etanol decorrente do seu uso cada vez maior como combustível adicionado à gasolina e da baixa capacidade produtiva, principalmente nos países desenvolvidos. Já se pode perceber um crescimento no volume transacionado de etanol. Na medida em que novos países aprovem programas de uso do etano como combustível é possível que essa tendência se intensifique.

Além das questões ambientais, também aparece como fonte propulsora do mercado internacional de etanol o objetivo de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, em especial o petróleo. Esta preocupação decorre do fato de o petróleo ser uma fonte de energia finita e que vem apresentando um comportamento crescente de preços, o que torna o etanol bastante competitivo frente a ele. Desde a crise, tem-se uma escalada no preço do petróleo que já superou a barreira dos US$80/barril, chegando atualmente a US$110/barril. Além disso, um conjunto de problemas geopolíticos associados aos principais países produtores de petróleo amplia a importância do crescimento de fontes alternativas e, assim, uma substituição/menor dependência de fontes energéticas atenderia a um conjunto de objetivos ambientais, sociais, políticos e econômicos.

Se considerarmos a tendência de crescimento na demanda de combustíveis e que outros países deverão adotar políticas semelhantes, é possível verificar o amplo potencial do mercado internacional de etanol. Ademais, o aumento da demanda internacional do produto, em especial no que tange às políticas de adição à gasolina, incentivará ainda mais o comportamento análogo dos preços do etanol e do petróleo, que passarão a concorrer internacionalmente.[2]

Atualmente o comércio mundial de etanol, em relação à produção, continua a ser modesto, apesar do incremente dos últimos anos. Os americanos exportaram, em 2011, cerca de 3,8 bilhões de litros, o que representa pouco mais de 7% da produção americana (Renewable Fuels Association). As exportações brasileiras, no mesmo período, não passaram de 600 milhões de litros, o que não chega a 3% da produção brasileira.

2.2.1.2. Açúcar

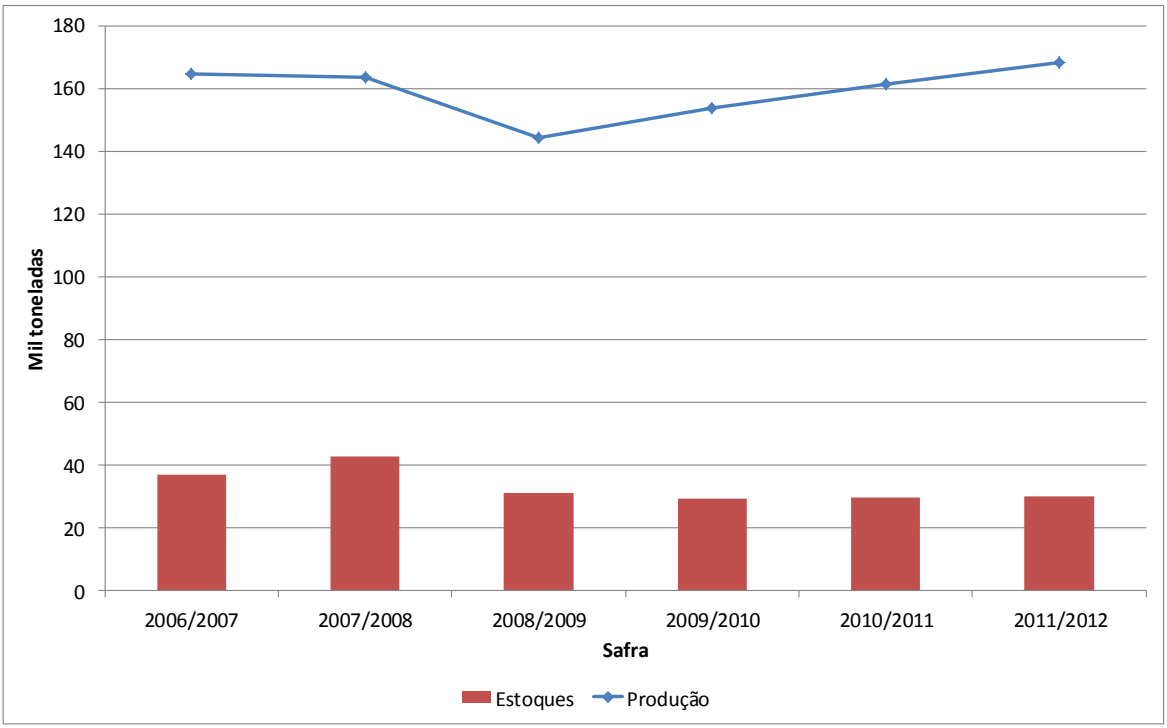
O açúcar é o principal produto que concorre pela matéria prima do etanol brasileiro. O aumento do preço do produto, que é uma *commodity* internacional, tem

---

[2] No caso de adição do etanol à gasolina o comportamento esperado nos preços seria menos o de produtos concorrentes e mais o de produtos complementares. Também nesse caso, o comportamento do preço do etanol estaria mais ligado ao do mercado do petróleo.

levado a um deslocamento da produção de etanol para a produção de açúcar[3]. Em 2010/2011, o consumo mundial se situou na faixa de 155 milhões de toneladas, enquanto a produção foi em torno de 160 milhões de toneladas. Se tomarmos a evolução da produção e do consumo nos últimos anos (2006/2011) verifica-se um crescimento médio da ordem de 1,3% e 0,6%a.a., respectivamente.

Estes descompassos anuais entre consumo e produção se refletem nas oscilações dos estoques, e estes no comportamento dos preços. Nos anos em que o consumo excede a produção, tem-se retração nos estoques, que tende a provocar elevação no preço. Este, por sua vez, tende a estimular a produção nos anos seguintes, tanto para atender ao consumo como para repor estoques, sendo que esta elevação na produção tende a provocar a retração nos preços.



Fonte: USDA.

Figura 2: Produção e estoques mundiais de açúcar

[3] Sobretudo no mercado brasileiro.

Vale destacar que este ainda é um mercado extremamente regulamentado, com um conjunto de acordos entre países de imposições de cotas, tarifas preferenciais, entre outros instrumentos. O crescimento do comércio tem decorrido da adesão de alguns novos países, e da sinalização de outros, à flexibilização de algumas regras. A recente vitória do Brasil e de outros países em pleito da OMC contra o protecionismo e subsídios neste mercado abrem boas perspectivas para um maior crescimento do comércio mundial, e nesse cenário o Brasil tende a ocupar importante papel.

Esse otimismo pode ser atribuído a dois motivos principais: (i) a maior abertura do mercado mundial de açúcar induz a retração da produção em países com menor eficiência, principalmente naqueles onde predomina o açúcar de beterraba, proporcionando melhores condições de comércio pelos países mais competitivos, dentre os quais se destacam aqueles que têm na cana sua matéria-prima (Brasil) e (ii) a possibilidade de aumento da participação da China no mercado internacional de açúcar, um país com elevadas taxas de crescimento e ainda pouca cultura no consumo desse produto, apresentando um consumo *per capita* anual de aproximadamente 7 quilos, contra 58 do Brasil, 18 da Índia, 34 dos EUA, 38 da União Europeia e 50 de Cuba (estimativas da *International Sugar Organization* - ISO). Assim, caso persista a elevação da renda na China e se amplie seu padrão de consumo de açúcar, para níveis semelhantes ao de outros países, deverá ocorrer um aumento significativo na demanda mundial do produto.

2.2.2. Fatores críticos para a competitividade internacional

2.2.2.1. Fatores críticos relacionados à demanda

A assinatura do Protocolo de Kyoto, e sua exigência de redução das emissões de gases de efeito estufa, associada à elevação do preço do petróleo, gerou grande expectativa de crescimento no consumo de etanol em vários países. Embora vários programas de uso do etanol já tenham sido aprovados em vários países, como se trata de um setor considerado estratégico, uma vez que se relaciona com a matriz energética do país, o desenvolvimento da produção doméstica tem sido priorizado, ao invés de se recorrer às importações em massa. A falta ou a superprodução de etanol podem gerar crises no mercado interno e externo

de combustíveis. Surgem, então, preocupações sobre como garantir a oferta a todos os clientes do etanol em nível mundial.

O mercado internacional, após um período de abertura ao etanol, dadas as políticas governamentais de adição de álcool na gasolina, passa por um momento de estagnação ou retrocesso. Na Europa, a mistura de etanol aumentou rapidamente na última metade da década passada, decorrente de metas obrigatórias aos estados membros. Apesar do rápido crescimento, os efetivos volumes totais de etanol ainda são modestos e o porcentual de mistura praticado não supera 4 a 5% (Fallon, 2012). A queda na atividade dos países europeus não dá sinais alentadores ao setor, e comprometerá a adoção de medidas mais rigorosas de redução de emissão de carbono. A maior parte dos países europeus atrasados, em termos inclusão de biocombustíveis, são mercados relativamente menores e, portanto, a taxa de crescimento de consumo de etanol deve diminuir nos próximos anos.

Para a região da Ásia e outras nações do Pacífico, os programas de adição de etanol na matriz energética, sobretudo como aditivo à gasolina, até agora parecem ter resultados que ficaram aquém dos objetivos, seja por ter colidido com a difícil realidade do abastecimento ou o trade-off entre alimentos e energia.

As histórias recentes de Índia e China ilustram bem os obstáculos que muitas nações enfrentam quando procuram adotar adição de etanol obrigatória. Há alguns anos, a China resolveu adotar programa de adição, chegando a 16% de etanol por litro de combustível, em algumas províncias. Em paralelo, um programa de subsídio à produção de etanol também foi adotado. O volume total produzido cresceu de modo a tornar a China o terceiro maior produtor mundial. Desde 2009, contudo, o crescimento do programa interno da China estagnou. A controvérsia em torno do destino de parte da produção interna (ou importação) de grãos para a produção de etanol provocou reação interna. Recentemente (abril de 2012) o governo chinês, acompanhando o movimento americano, decidiu reduzir o subsídio à produção de etanol de grãos.

A produção de etanol na China alcançou cerca de 2,2 milhões de litros em 2011, um acréscimo de 4% comparado a 2010. No entanto, o setor representa não mais que 1% da produção de grãos da China, mas o montante é suficiente para que o setor continue a receber fortes críticas em razão da escalada dos preços dos alimentos e grãos (Scott e Junyang, 2011).

Em contrapartida, um recente anúncio dá conta de construção de plantas em grande escala para converter carvão em etanol, utilizando processo termoquímico que incide sobre o abastecimento do mercado de álcool industrial, mas tem um perfil marcadamente diferente de intensidade de carbono que a produção a partir da fermentação (Fallon, 2012).

A Índia, com sua grande indústria de cana e melaço, parece ser um país ideal para a adoção de um programa de adição de etanol em larga escala, como forma de suprir a demanda crescente de combustível para transporte. Desde 2003, a Índia estabeleceu metas nacionais de adição, tipicamente entre 5% e 10% do consumo de gasolina total. No entanto, em nenhum ano desde, a adoção dessas metas, a Índia tem alcançado sequer 50% do volume desejado. Uma combinação de motivos pode ser apontada, inclusive o rendimento pior do que o esperado da cultura da cana, incentivos governamentais complicados e inconsistentes e que não contribuem para facilitar a produção de etanol. A posição histórica da Índia como um importador de alimentos parece tornar improvável a implementação de um abrangente programa de biocombustíveis nos próximos 10 anos.

Esta tendência, de volumes de adição de biocombustíveis que não combinam com ambiciosos objetivos declarados de programas nacionais, continuará, provavelmente, em muitas partes do mundo.

2.2.2.2. Fatores críticos relacionados à oferta

O potencial desafio de atender à demanda internacional de etanol, necessária a implementação de ambiciosos programas de adição do combustível à gasolina esbarra também em outros obstáculos relacionados à oferta. Nos Estados Unidos, o maior obstáculo a expansão da produção é a necessidade de novas matérias-primas, sobretudo derivada de material celulósico. No entanto, a expansão da produção por essa tecnologia parece improvável de atingir as metas inicialmente desejadas. Isso porque o estágio atual no desenvolvimento tecnológico parece apontar para alternativas tecnológicas que exigem ou uma imobilização de capital de magnitude ainda não experimentada pelo setor (caso do processo termoquímico) ou a descoberta de um microorganismo capaz de converter eficientemente lignocelulose em açúcares, o que ainda não foi alcançado.

A alternativa, ainda no caso americano, seria a incorporação de ganhos de produtividade no processo produtivo de modo a permitir que o milho se torne matéria-prima mais produtiva, o que também parece ser muito difícil, sem afetar significativamente a oferta mundial de alimentos, dado que a expansão da produtividade deve se dar em ritmo superior à demanda do milho como alimento.

A queda dos incentivos americanos aos produtores locais de etanol pode levar a um desenvolvimento do mercado mundial do biocombustível, no médio prazo, mas não para a produção americana. Existe o risco de que a queda da barreira tarifária não seja repassada para os preços aos consumidores americanos, tendo em vista as alegadas estreitas margens de comercialização das usinas de etanol americanas. Nos anos recentes, o retorno sobre o capital dessas unisas foi, em média, de 10% e 5% para uma moagem úmida e moagem seca, respectivamente (Fallon, 2012). Este é um nível de sustentação, com algum incentivo para reinvestimentos.

A retirada dos subsídios de crédito remove o suporte para as usinas marginais, forçando-as a margens negativas e eventual falência. O encerramento da atividade desses fornecedores comprometeria a capacidade dos EUA em atingir suas metas de produção para atender os níveis de adição. O não repasse dos preços aos consumidores teria que ser absorvido, portanto, pelos produtores de milho.

Na União Europeia, a capacidade de produção de etanol deve aumentar de 2,44bilhões de litros em 2006 para 8,7 bilhões de litros em 2012 (Flach, Lieberz, Bendz e Dahlbacka, 2011). A importação, no entanto, declinou entre os anos de 2009 e 2010, por conta da redução na oferta do produto brasileiro. No final de 2010, as importações dos Estados Unidos suplantaram a brasileira. Apesar dos esforços da União Europeia em controlar essas importações, são as restrições na oferta do produto brasileiro e americano que limitam a oferta do produto na Europa. A introdução do E10 na Alemanha pode beneficiar os produtores domésticos.

Ademais, as restrições pelo lado da oferta ainda esbarra em questões relacionadas a:

i) disponibilidade de terras cultiváveis para as matérias-primas destinadas à produção de etanol. Trata-se de problema que todos os países do mundo vão

enfrentar, tendo em vista os atuais limites à expansão da produção agrícola no mundo, o que fará ressurgir sempre o conflito latente entre produção de biocombustíveis e alimentos. Nesse ponto, avanços tecnológicos sucessivos farão reduzir essa pressão, de tempos em tempos. Mas o trade-off sempre estará presente enquanto houver taxa de crescimento populacional líquida;

ii) naquelas áreas em que se encontram as atuais fronteiras agrícolas, algumas dificuldades adicionais se colocam. A primeira relaciona-se à inevitável alteração na composição floresta-produção agrícola, com impacto sobre clima. Mesmo naqueles países em que esse trade-off não é tão pronunciado, como ocorre em alguns países da África, a dificuldade de organizar a produção, devido à insegurança institucional, falta de qualificação da força de trabalho, dificuldade no aprofundamento do capital setorial, ausência de infraestrutura adequada para distribuir a produção no mercado internacional etc., funcionam como limitantes à expansão da produção no curto e médio prazos;

iii) nos atuais países produtores, a necessidade de ganhos de produtividade para assegurar a expansão da produção esbarra na capacidade de investimento do setor, principalmente no contexto de crise. As restrições tecnológicas atuais atuam no sentido de aumentar o custo de produção, sobretudo de matérias-primas como trigo, milho e outros grãos.

2.2.2.3. Fatores críticos relacionados ao comércio

O principal entrave relacionado ao comércio internacional do etanol refere-se à própria transformação do produto em uma *commodity* global etanol. Entre as principais questões que devem avançar a pauta de discussões, colocam-se:

i. O desenvolvimento e fortalecimento de novos países produtores nas Américas, na África e na Ásia, possibilitando a diversificação da origem do etanol por países;
ii. Redução de barreiras protecionistas e dos desestímulos tarifários para uma maior adoção do etanol como combustível, como os existentes nos EUA e em países da União Europeia e no Japão;
iii. Criação de canais de distribuição mundiais;
iv. Padronização do produto para que a produção possa ser realizada com segurança nos diferentes países, entre outras ações.

No que se referem às padronizações internacionais, várias iniciativas vêm sendo buscadas, no sentido de atestar a qualidade do produto, do processo de produção e sua adequação socioambiental. Assim, temas relacionados ao uso do solo e da água, condições de trabalho, utilização de fertilizantes e agrotóxicos, preservação da biodiversidade, entre outras, são pontuadas nas diversas certificações existentes. Alguns protocolos internacionais que podem ser mencionados, nesse sentido, são o Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB), Global Bioenergy Partnership (GBEP), ISO/ABNT e Bonsucro[4].

Via de regra, essas certificações têm em comum a exigência de cumprimento pelas empresas às normas legais, respeito aos direitos trabalhistas e humanos, melhoria de planejamento do negócio, controle do fornecimento de insumos, entre outros. No caso das normas europeias, nota-se maior ênfase à proteção ambiental. A princípio tal exigência não é algo indesejável, mas pode esconder barreiras comerciais não tarifárias sobre os produtos de fora da região. De todo modo, entende-se que as certificações são mais benéficas que o contrário, e necessárias para assegurar a oferta da *commodity* contratada no mercado internacional. Se por um lado, o aprofundamento do processo de certificação pode contribuir para acelerar a viabilização do produto no comércio internacional, por outro lado, os altos custos envolvidos na certificação são proibitivos, sem perspectivas desse desenvolvimento.

2.2.3. Dinâmica tecnológica

O etanol pode ser obtido a partir de culturas energéticas e de biomassa lignocelulósico. A complexidade do processo de produção depende da matéria-prima. Desse modo, o espectro de tecnologias concebidas e aplicadas vai desde a simples conversão de açúcares por fermentação, até a conversão em várias fases da biomassa lignocelulósica. A grande diversidade de alternativas tecnológicas requer a análise do processo global, juntamente com a concepção e desenvolvimento de cada uma das operações envolvidas.

---

[4] Adiante essas certificações são analisadas em mais detalhe.

Entre as tendências de novas pesquisas neste campo, o processo de integração é questão chave para reduzir custos na indústria do etanol e aumentar a competitividade do etanol em relação à gasolina (Cardona e Sánchez, 2007). Várias opiniões têm sido publicadas sobre o tema da produção de etanol, especialmente a partir de biomassa lignocelulósica (Chandrakant e Bisaria, 1998; Lee, 1997; Lin e Tanaka, 2006). A quantidade de comentários que cobrem a produção de etanol a partir de outros tipos de matérias-primas, como materiais de sacarose ou baseados em amido é mais reduzida (por exemplo, Kosaric e Velikonja, 1995; e Bothast e Schlicher, 2005).

2.2.3.1. Etanol a partir de açúcares[5]

A principal matéria-prima para a produção de etanol é a cana-de-açúcar, na forma de um caldo de cana ou melaço (um subproduto de usinas). O melaço de beterraba é outra fonte de açúcar fermentável. O microorganismo mais utilizado na fermentação é a Saccharomyces cerevisiae, devido à sua capacidade de hidrolisar a sacarose da cana em glicose e frutose. Entre as bactérias, o microrganismo mais promissor é o Zymomonas mobilis, que tem uma baixa eficiência energética, resultando em um maior rendimento de etanol (até 97% do máximo teórico). No entanto, a sua gama de substratos fermentáveis é demasiado estreita (glucose, frutose e sacarose), e no processo de fermetação do xarope há formação do polissacárido levana, o que aumenta a viscosidade do caldo; e de sorbitol, um produto de redução de frutose que diminui a eficiência da conversão de sacarose em etanol.

Outras substâncias demonstraram a sua utilidade no prcesso de produção baseado em cana de açúcar. A adição de um complexo enzimático comercial de amilases, celulases e amylopectinases permite a conversão de substâncias não fermentáveis em compostos assimiláveis, melhorando a fermentação alcoólica (Acevedo et al., 2003). Por outro lado, a adição de uma concentração inibitória mínima de ácidos de lúpulo para melaço irá parar o crescimento de bactérias,

---

[5]Esta seção baseia no trabalho de Sánchez e Cardona, 2008.

aumentar o rendimento do etanol e evitar a necessidade de antibióticos, como descrito na patente de Maye (2006).

2.2.3.2. Etanol a partir de amido

O amido é uma matéria-prima de alto rendimento para produção de etanol, mas a sua hidrólise é necessária para produzir etanol por fermentação. O etanol é produzido quase exclusivamente a partir do milho nos EUA. O milho é moído para o amido de extração, que é enzimaticamente tratado para a obtenção de xarope de glicose. Em seguida, este xarope é fermentado em etanol. Existem dois tipos de moagem de milho na indústria: secos e molhados.

Durante o processo úmido, o grão de milho é separado em seus componentes. O amido é convertido em etanol e os demais componentes são vendidos como coprodutos. Durante a moagem seca, os grãos não são fracionados e todos os seus nutrientes entram no processo e estão concentrados em uma destilação coproduto utilizada para alimentação animal chamado Grãos de Destilação Secos com Solúveis (DDGS, na sigla em inglês). Em geral, os passos de sacarificação, liquefação e a fermentação são os mesmos para ambas as tecnologias.

A fermentação é realizada usando S. cerevisiae, com adição de sulfato de amônio ou ureia como fontes de azoto. A bactéria Z. mobilis também foi pesquisada para a produção de etanol a partir de amido de milho moído seco. Novas tendências industriais na cultura do milho para a produção de etanol destinam-se ao processo de moagem seca. O aumento da capacidade produção de etanol nos EUA é representado principalmente por plantas de etanol que utilizam milho moído seco. Outros esforços de pesquisa são orientados para o desenvolvimento de híbridos de milho com maior quantidade de amido extraível ou elevado teor de amido fermentável. A engenharia genética pode ser aplicada para dirigir a acumulação de amilases no endosperma de grãos de milho transgênicas.

Na França, embora o etanol seja produzido principalmente a partir do melaço de beterraba, também é produzido a partir de trigo, por um processo semelhante ao do milho. Alguns esforços foram feitos para otimizar as condições de fermentação. Para melhorar o desempenho da fermentação, fermentações de alta gravidade têm

sido propostas, em particular para o caso de malhas de trigo. Os inconvenientes incluem tempos mais longos de fermentação, e por vezes fermentações incompletas, provavelmente causadas por inibição do produto, elevadas pressões osmóticas e nutrição inadequada.

A mandioca representa uma importante fonte alternativa de amido, não só para produção de etanol, mas também para a produção de xaropes de glicose. Na verdade, a mandioca é um tubérculo que ganhou maior interesse devido à sua disponibilidade nos países tropicais, sendo uma das dez melhores e mais importantes culturas tropicais. A produção de etanol a partir de mandioca pode ser realizada utilizando o tubérculo de mandioca todo ou o amido extraído a partir dele. A extração de amido pode ser realizada através de um processo de alto rendimento de grande volume industrializado como o método de extração Alfa Lavai (FAO, 2004), ou por um processo tradicional para plantas pequenas e média dimensão. Este processo pode ser considerado como o equivalente do processo de moagem úmida para produção de etanol a partir do milho.

A produção de mandioca com elevado teor de amido (85-90% de matéria seca) e menos teor de proteína e minerais é relativamente simples. O amido de mandioca oferece uma maior solubilidade para amilases, em comparação com o amido de milho. No entanto, considera-se que o etanol de mandioca teria melhores indicadores econômicos se o tubérculo inteiro fosse usado como matéria-prima, especialmente quando os pequenos produtores estão envolvidos. Esse aproveitamento é prejudicado pelo tempo de processamento necessário (3-4 dias após a sua colheita).

Além do milho e trigo, o etanol pode ser produzido a partir de centeio, cevada, triticale e sorgo. Para estes cereais, alguns pré-tratamentos têm provado ser úteis. A produção de etanol de bananas e resíduos de banana usando comercial α-amilase e glucoamilase também tem sido estudada. Uma das culturas mais promissoras para produção de etanol combustível é o sorgo sacarino, que produz grãos com elevado teor de amido, caules com alto teor de sacarose e folhas e bagaço com alto teor lignocelulósico. Além disso, esta cultura pode ser cultivada tanto em países tropicais como temperados.

2.2.3.3. Etanol a partir de biomassa lignocelulósica

É evidente a importância da biomassa lignocelulósica como matéria-prima para produção de etanol. O complexo lignocelulósico é o biopolímero mais abundante na Terra. Considera-se que a biomassa lignocelulósica compreende cerca de 50% da biomassa do mundo. Muitos materiais lignocelulósicos têm sido testados para a produção de etanol. Em geral, os potenciais materiais lignocelulósicos para produção de etanol combustível podem ser divididos em seis grupos principais: i) restos vegetais (bagaço de cana, palha de milho, palha de trigo, palha de arroz, casca de arroz, palha de cevada, bagaço de sorgo doce, caroços de azeitona e celulose), ii) madeiras de lei (mogno, álamo, choupo), iii) madeira macia (pinus, pinheiro), iv) resíduos de celulose, papel de jornal, resíduos de papel de escritório, lamas papel reciclado), v) biomassa herbácea (feno de alfafa, gramíneas, capim-amarelo, bermuda costeira), e vi) resíduos sólidos urbanos (RSU).

Numerosos estudos para o desenvolvimento de produção em larga escala de etanol a partir de lignocelulose estão sendo realizados no mundo. No entanto, o principal fator limitante é o maior grau de complexidade inerente ao tratamento desta matéria-prima. Isto está relacionado com a natureza e composição da biomassa lignocelulósico. Dois dos polímeros principais da biomassa devem ser decompostos em açúcares fermentáveis, a fim de ser convertida em etanol ou outros produtos valiosos. Mas este processo de degradação é complicado, altamente consumidor de energia e não completamente desenvolvido.

O desafio de processamento principal na produção de etanol a partir de biomassa lenhocelulósico é o pré-tratamento da matéria-prima. O complexo lignocelulósico é constituído por uma matriz de celulose e lignina ligada por cadeias de hemicelulose. Durante o pré-tratamento, esta matriz deve ser quebrada, a fim de reduzir o grau de cristalinidade da celulose. O fato de a hidrólise da celulose ser afetada pela porosidade (área de superfície acessível) de materiais lignocelulósicos também deve ser considerado. Os métodos de pré-tratamento principais relatados na literatura incluem métodos físicos, físico-químicos, químicos e biológicos.

Para a fermentação de materiais lenhocelulósicos, a celulose deve ser degradada em glucose (sacarificação), utilizando ácidos (química) ou enzimas (biológico). No primeiro caso, os ácidos concentradas ou diluídos podem ser utilizadas. No entanto, a hidrólise da celulose é realizada atualmente usando

enzimas microbianas celulolíticas. A hidrólise enzimática demonstrou melhores resultados para a fermentação subsequente porque não há formação de componentes de degradação da glucose, embora o processo seja mais lento.

2.2.3.4. Comparação dos principais tipos de matérias-primas

A seleção da matéria-prima mais apropriada para a produção de etanol depende fortemente das condições locais. Evidentemente, os países norte-americanos e europeus têm baseado sua indústria de etanol nos materiais ricos em amido, devido às suas condições agroecológicas. Estas condições não são apropriadas para a cultura de cana de açúcar. O emprego de amido-culturas, especialmente milho, para produção de etanol tem provocado um amplo debate sobre a adequação dessas matérias-primas, considerando a quantidade de energia necessária para sua produção (Patzek et al., 2005; Pimentel, 2003; Shapouri et al., 2003; Chagas et al. 2008). No entanto, a competitividade do etanol de cana brasileiro tem sido amplamente demonstrada, principalmente se a sua relação de energia de saída/entrada é considerada.

Materiais lignocelulósicos representam uma opção promissora como matéria-prima para produção de etanol, considerando a sua relação de energia de saída/entrada, a sua grande disponibilidade, tanto em países tropicais como temperados, o seu baixo custo (principalmente relacionado com o seu transporte), e seus rendimentos em termos de etanol. Uma das vantagens da utilização de biomassa lignocelulósica é que esta matéria-prima não está diretamente relacionada com a produção de alimentos, o que implica a produção de bioetanol, sem a necessidade de empregar grandes extensões de terra cultivável fértil para o cultivo de cana ou de milho exclusivamente dedicada à produção de bioenergia. Além disso, lignocelulose é um recurso que pode ser processado de maneiras diferentes para a produção de muitos outros produtos, como gás de síntese, metanol, hidrogênio e eletricidade.

A seleção da matéria-prima lignocelulósica é concordante com os interesses de cada país para a transferência de valor para os resíduos produzidos, especialmente para os resíduos que não têm valor como alimento. Para o caso dos

EUA, a palha de milho é considerada uma das matérias-primas mais promissora, devido à sua grande disponibilidade.

Certamente, uma detalhada avaliação econômica e ambiental dos impactos das diferentes matérias-primas diferentes é necessária, a fim de tomar decisões sobre as mais adequadas matérias-primas para produção de etanol em cada caso. Uma abordagem útil para a realização de tais avaliações é empregar ferramentas de simulação com base em dados realistas, obtidos a partir de instalações existentes, produção de etanol de plantas-piloto ou modelos matemáticos. Além disso, esta abordagem permite a análise de como diferentes configurações tecnológicas têm influência sobre os indicadores do processo global.

2.3. Quadro nacional

2.3.1. Estrutura de mercado e concorrência

O Brasil é o maior produtor mundial de cana, matéria-prima empregada para a produção do etanol brasileiro, e sua importância vem crescendo nos últimos anos. No começo dos anos 90 a produção brasileira, de cerca de 263 milhões de toneladas representava cerca de 1/4 da produção mundial do produto, de pouco mais de um bilhão de toneladas. Nos últimos anos, no entanto, a produção brasileira aumentou sua participação para 40% da produção mundial, saltando para uma produção total de 717 milhões de toneladas em 2010.

Tabela 2: Série histórica da produção dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhões de toneladas

Ano	Brasil	Índia	China	Tailândia	México	Mundo
1990	263	226	63	34	40	1.053
1991	261	241	73	41	38	1.089
1992	271	254	79	47	42	1.116
1993	245	228	69	40	43	1.031
1994	292	230	66	38	41	1.090
1995	304	276	70	51	44	1.172
1996	317	281	71	58	45	1.223
1997	332	278	83	56	45	1.252
1998	345	262	87	47	49	1.258
1999	334	296	78	50	47	1.267
2000	328	299	69	54	44	1.253
2001	346	296	78	50	47	1.261
2002	364	297	92	60	46	1.331
2003	396	287	92	74	47	1.376
2004	415	234	91	65	49	1.336
2005	423	237	88	50	52	1.317
2006	457	281	100	48	51	1.389
2007	514	356	106	64	51	1.558
2008	649	348	125	74	51	1.743
2009	692	285	116	67	49	1.687
2010	717	292	111	69	50	1.711

Fonte: FAO.

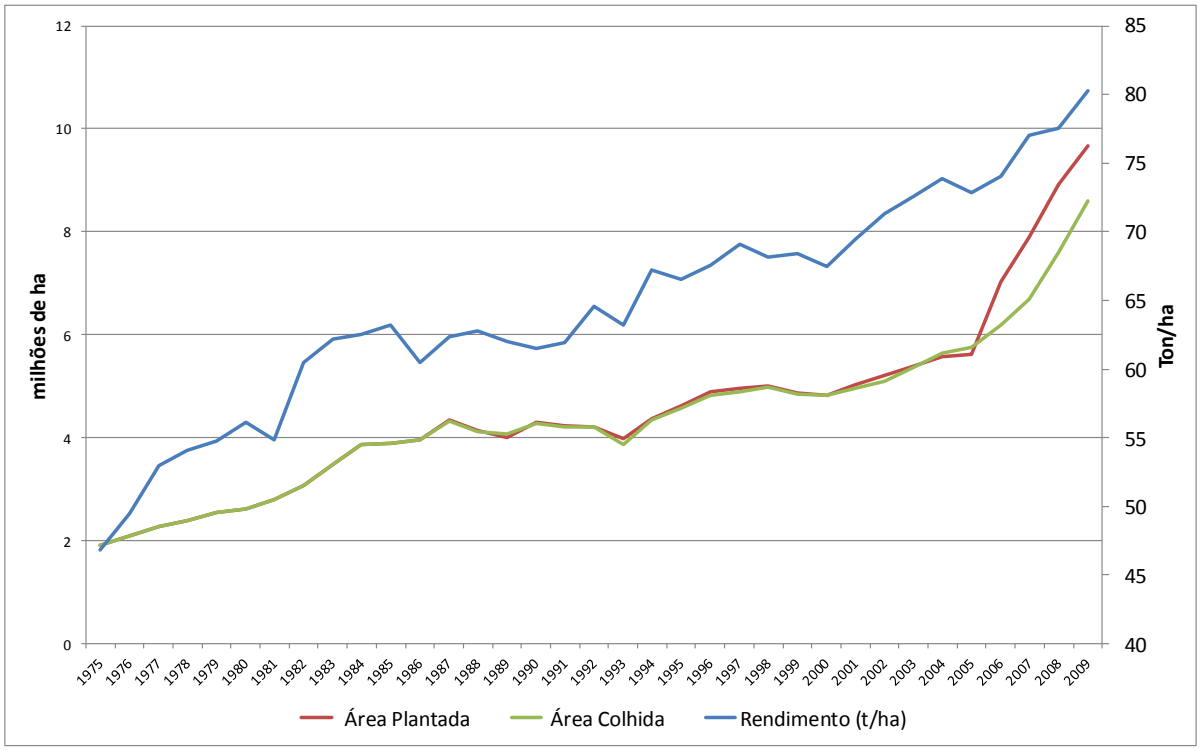
Parte desse crescimento pode ser explicada pelo aumento na área plantada que saltou de 4,3 milhões de hectares, em 1990, para 9,1 milhões em 2010, um aumento de mais de 110%. No mesmo período, a Índia, segundo maior produtor mundial do produto, expandiu sua área em cerca de 50%, passando de 3,4 milhões de hectares, em 1990, para 5,1 milhões, em 2008, tendo retrocedido desde então, alcançando 4,2 milhões, em 2010. Com isso, a área de cana que no Brasil era pouco mais de 25% maior que a área do segundo maior produtor, em 1990, passou para quase 120% a mais, em 2010.

Tabela 3: Série histórica da área plantada dos principais países produtores de cana-de-açúcar, em milhões de hectares

Ano	Brasil	Índia	China	Tailândia	México	Mundo
1990	4,3	3,4	1,1	0,7	0,6	17,1
1991	4,2	3,7	1,2	0,8	0,5	17,8
1992	4,2	3,8	1,3	0,9	0,6	18,2
1993	3,9	3,6	1,2	1,0	0,6	17,3
1994	4,3	3,4	1,1	0,8	0,6	17,6
1995	4,6	3,9	1,2	0,9	0,6	18,6
1996	4,8	4,2	1,2	1,0	0,6	19,4
1997	4,8	4,2	1,1	1,0	0,6	19,3
1998	5,0	3,9	1,2	0,9	0,6	19,3
1999	4,9	4,1	1,0	0,9	0,6	19,2
2000	4,8	4,2	1,2	0,9	0,6	19,5
2001	5,0	4,3	1,3	0,9	0,6	19,7
2002	5,1	4,4	1,4	1,0	0,6	20,5
2003	5,4	4,5	1,4	1,1	0,6	20,8
2004	5,6	3,9	1,4	1,1	0,7	20,4
2005	5,8	3,7	1,4	1,1	0,7	20,0
2006	6,1	4,2	1,2	1,0	0,7	20,5
2007	6,7	4,9	1,2	1,0	0,7	22,0
2008	8,1	5,1	1,7	1,1	0,7	24,4
2009	8,6	4,4	1,7	0,9	0,7	23,8
2010	9,1	4,2	1,7	1,0	0,7	23,9

Fonte: FAO.

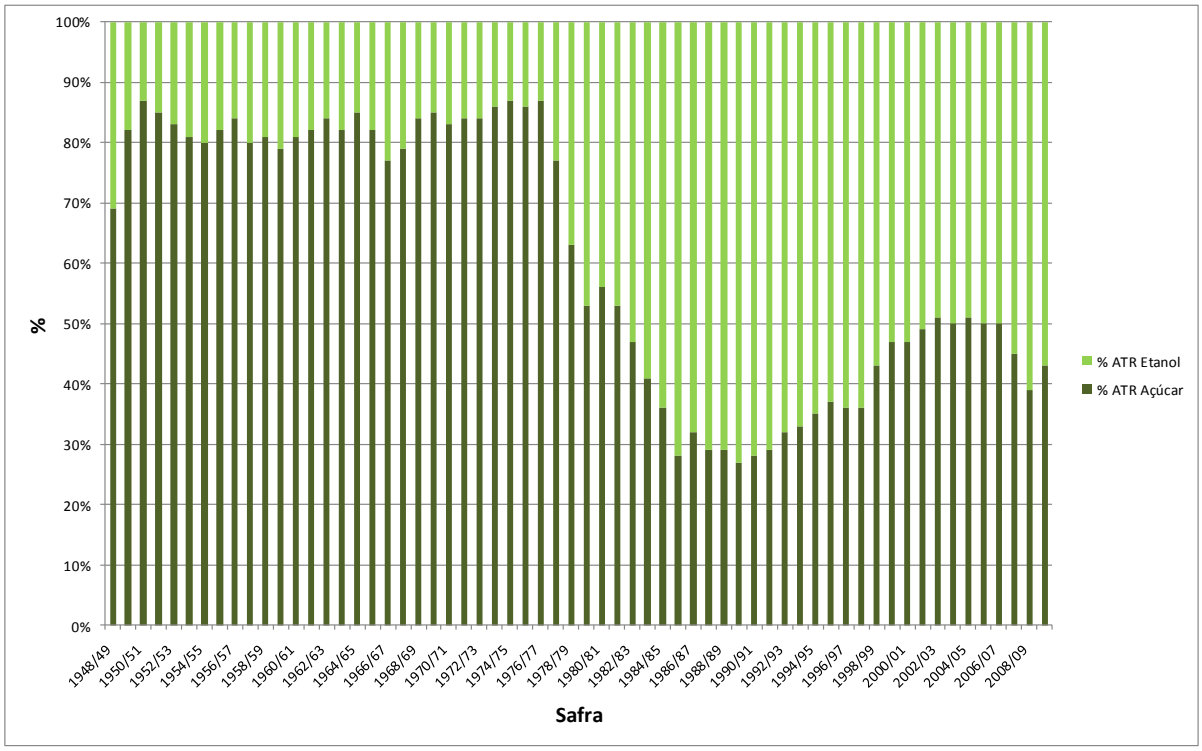
O aumento da produtividade, toneladas de cana/hectare, é outro fator explicativo para o crescimento da importância do Brasil no cenário internacional de produção de cana-de-açúcar. Segundo dados do IBGE, entre 1975 e 2009, a produtividade da cana cresceu cerca de 70%, passando de 46,8 ton/ha, em 1975, para 80,2 ton/ha em 2009.



Fonte: IBGE

Figura 3:Área plantada, área colhida e produtividade da cana-de-açúcar, Brasil, 1975 a 2009

Até os anos setenta, a maior parte da produção de cana-de-açúcar era destinada para a produção de açúcar. Nesse período, a produção de açúcar respondia por cerca de 80% do ATR (Açúcar Total Recuperável), enquanto que a produção de etanol representava os outros 20%. Com o advento do Proálcool e o uso de etanol como combustível ou aditivo, a importância do etanol cresceu expressivamente, sobretudo até o final dos anos oitenta, período em que o etanol chegou a representar 80% do ATR total. Durante os anos noventa o açúcar recupera parte de sua importância, no entanto o etanol ainda representa 50% ou mais do ATR total.



Fonte: MAPA

Figura 4: Etanol e açúcar, participação no ATR total

As usinas vendem o álcool basicamente às distribuidoras e o açúcar à indústria de transformação (com destaque para a alimentícia), este sendo exportado ou vendido ao comércio. A comercialização pode ser de forma direta pelas usinas, mas a maior parte se faz por meio de tradings que congregam várias unidades produtivas. Destaca-se a Coopersucar que possui 90 associados e 33 unidades produtivas, e a COSAN que representa as unidades do grupo. Grandes players nacionais entraram no setor com plantas de grande porte, com destaque para Odebrecht e Petrobras; também empresas multinacionais fizeram sua inserção adquirindo plantas já existentes, com destaque para British Petroleum, Bunge, Louis Dreyfuss, entre outros. Apesar da tendência de expansão, a retomada da construção de novas usinas (*greenfields*) ainda não se percebe.

Tabela 4: Principais Usinas da Região Centro-Sul - Safra 2008/2009

	USINAS - SAFRA 08/09	Grupo	Moagem de Cana (t)	Participação (%)
SP	SÃO MARTINHO	Coopersucar	8.004.221	2,31
SP	DA BARRA	Cosan	7.378.408	2,13
SP	EQUIPAV	Equipav	6.518.126	1,88
SP	COLORADO	Colorado	6.103.406	1,76
SP	VALE DO ROSÁRIO	Louis Dreyfus	5.922.940	1,71
SP	SANTA ELISA	Louis Dreyfus	5.585.370	1,61
SP	COLOMBO	Colombo	5.152.190	1,49
SP	BONFIM	Cosan	4.785.973	1,38
SP	ALTA MOGIANA	Alta Mogiana	4.751.584	1,37
SP	MOEMA	Moema	4.608.925	1,33
SP	CRUZ ALTA	Guarani/Petrobras Bio	4.436.982	1,28
SP	BARRA GRANDE	Zilor	4.376.621	1,26
SP	SÃO JOSÉ - MACATUBA	Zilor	4.222.913	1,22
SP	COSTA PINTO	Cosan	4.180.869	1,21
SP	NOVA AMÉRICA	Nova América	4.145.247	1,20
SP	CATANDUVA	Virgolino de Oliveira	4.039.739	1,17
SP	DA PEDRA	Coopersucar	4.006.495	1,16
SP	SANTA CRUZ S/A	Coopersucar	3.808.287	1,10
	Total Geral da Região Centro-Sul		346.293.389	100
	Média		2.049.073	0,59
	Número Total de Usinas		169	

Fonte: UNICA

Em recente movimento de fusão no setor, a Royal Dutch Shell e a Cosan S.A. uniram suas atividades no país, criando a Raízen empresa que será responsável por uma produção de mais de 2,2 bilhões de litros de etanol por ano para atendimento ao mercado interno e externo. Além do etanol, as atuais 23 usinas do grupo produzirão 4 milhões de toneladas de açúcar e 900 MW de capacidade instalada de produção de energia elétrica a partir do bagaço da cana. Na área de combustíveis, a *joint venture* comercializará aproximadamente 20 bilhões de litros para os segmentos de Transporte, Indústria e sua rede de 4500 postos de serviço.[6]

[6] Em 2008, a Cosan já havia adquirido os ativos de distribuição de combustíveis e lubrificantes da ExxonMobil no Brasil, quarto maior distribuidor de combustíveis no Brasil, tornando-se o único player de energia renovável totalmente integrado no mundo.

Em movimentação ainda mais recente, a Coopersucar anunciou sua fusão com a Eco-Energy, empresa americana que atua na comercialização e distribuição de biocombustíveis. Ela detém cerca de 9% do mercado de etanol dos EUA, com vendas anuais de mais de US$ 3 bilhões. A fusão cria a maior produtora e comercializadora de etanol do mundo, atuando estrategicamente nos dois principais mercados consumidores. A capacidade de produção combinada é de cerca de 10 bilhões de litros de etanol por ano. A fusão visa à obtenção de economias ao longo da cadeia de abastecimento global, bem como agregar valor às empresas parceiras.

Esse processo de fusão e aquisição deve se manter nos próximos, em razão do aumento do custo de oportunidade do capital e necessidade de ganhos de escala na produção e distribuição, para inserção internacional do produto. Essa tendência tem contribuído para modificar o perfil da gestão das empresas do setor, antes muito mais próximo da gestão familiar. Tal mudança é bastante saudável, uma vez que viabiliza a adoção de estratégia de negócio de mais longo prazo, ao mudar as políticas de governança corporativa, características de empresas familiares, para aquelas mais típicas de grandes corporações. A própria relação do setor com o governo pode ser beneficiada por tais mudanças.

No entanto, as transformações pelas quais o setor vem passando não são garantias que o desenvolvimento do mercado de etanol se dará de maneira espontânea. Um papel estratégico cabe ao governo e a sua responsabilidade como regulador. Em primeiro lugar, o escopo de produção atual dos produtores de etanol lhes permite atuar em diferentes mercados, arbitrando, conforme a conjuntura, entre preços diferentes. Os três principais mercados de atuação hoje são os mercados de açúcar, etanol e eletricidade. Todos bastante estratégicos também do ponto de vista público.

Na ausência de quaisquer fatores exógenos, os agentes que atuam no setor deslocarão sua produção para aqueles mercados que apresentem a maior oportunidade de lucro. No longo prazo, essa estratégia é também a mais eficiente, do ponto de vista econômico. No curto prazo, no entanto, o vetor de preços pode ser impactado por fatores conjunturais, como o deslocamento de recursos financeiros para o mercado de commodities, em razão da reduzida taxa de juros em mercados de títulos, por exemplo. Ora, se os três mercados em que o setor atua fossem mercados de *commodities*, a competição entre eles não seria tão impactada. No

entanto, como o mercado de etanol ainda não se consolidou como um mercado de *commodity*, o atual aumento de preços no mercado de açúcar funciona como desestabilizador da produção de etanol, postergando, se não comprometendo, seu desenvolvimento. Contratos de longo prazo podem mitigar esse efeito. A incorporação de mecanismos de garantias de parte a parte a esses contratos é necessária para incentivar a adesão das usinas aos mesmos.

Nessas condições, pode-se pensar em ações públicas que mitiguem os efeitos de curto prazo em razão dos fatores conjunturais. Tais ações devem ser adequadamente pensadas, uma vez que o mercado de açúcar e álcool no Brasil sempre foi muito regulamentado, com a presença do IAA (Instituto do Açúcar e Álcool) que determinava preços para insumos e produtos finais, cotas de produção, formas de comercialização etc. Nos anos 90 o setor passou por uma ampla desregulamentação e o conjunto de decisões relacionadas a investimentos, quantidade produzida e formação de preços passou para o mercado. Nesse período, a expansão produtiva do setor foi muito grande, o que atesta o benefício da desregulação.

Na atualidade, as regulações do setor são as típicas de qualquer atividade produtiva: definições relacionadas a normas sanitárias e padronização de produtos, legislação ambiental (reserva legal de 20% da área dos estabelecimentos, preservação de áreas de mananciais, topos de montanhas, florestas etc.), exigência de licença ambiental e do Estudo de Impactos Ambientais para a implantação de usinas, legislação trabalhista, enfim trata-se de regras gerais. Deve-se destacar, porém, a norma que exige a mistura do álcool anidro à gasolina que cria um mercado cativo para o produto. Além disso, a demanda de etanol e o setor possuem alguns incentivos adicionais: incidência da Contribuição de Intervenção Econômica (CIDE) sobre os derivados de petróleo, IPVA e IPI reduzidos para veículos a álcool, programas de financiamento voltados para a modernização do setor (Moderfrota, Proinfa etc.) e financiamento à pesquisa.

O desenvolvimento de mecanismos que permitam o alongamento dos prazos dos contratos, em períodos que coincidam minimamente com os dos investimentos no negócio (renovação dos canaviais, incorporação de máquinas e equipamentos, adequação de plantas industriais etc.) podem alterar as relações entre o estado e o setor.

Com relação à importância econômica do setor para o país, registra-se que em 2009, o Valor Bruto da Produção (VBP) das usinas foi da ordem de R$ 51 bilhões (em R$ de 2009), o que representava em torno de 0,9% do VBP brasileiro. Ao se considerar apenas o Valor Adicionado (VA), isto é, o VBP menos o consumo intermediário, foi da ordem de R$ 18 bilhões, ou 0,6% do VA nacional de 2009. O VA corresponde à renda gerada apenas na atividade industrial. Comparando-se com o Valor Bruto da Produção, observa-se que o setor adiciona mais valor, relativamente à indústria como um todo. Enquanto que para a indústria como um todo, a proporção do VA/VBP é de menos de 30%, para as usinas de açúcar e álcool, essa proporção, em 2009, alcançou quase 35%.

Tabela 5: Dimensão Econômica do Setor Sucroalcooleiro (R$ Milhões de 2009); 2007-2009

Especificação	2007	2008	2009	Cresc 09/07
VBP sucroalcooleiro	40.187	45.139	50.956	26,80%
VBP Indústria	1.548.758	1.679.974	1.451.729	-6,26%
Sucro/Indústria %	2,59%	2,69%	3,51%	
VA sucroalcooleiro	11.315	15.211	17.815	57,45%
VA Indústria	425.176	469.487	413.653	-2,71%
Sucro/Indústria %	2,66%	3,24%	4,31%	
VAsucro/VBPsucro	28,16%	33,70%	34,96%	
VAind/VBP ind	27,45%	27,95%	28,49%	

VBP = Valor Bruto da Produção; VA = Valor Adicionado

Fonte: PIA-IBGE / Valores deflacionados pelo Deflator Implícito.

De acordo com a PAM-IBGE, o Valor da Produção da cultura de cana-de-açúcar foi da ordem de R$25 bilhões, em 2009, em reais correntes, o que está bastante próximo ao valor declarado de gastos com matérias-primas nas usinas.

Acompanhando o aumento da produção verificou-se um aumento significativo no emprego do setor. De acordo com a PIA, o pessoal ocupado no setor saiu de 404 mil pessoas, em 2007, para 467 mil em 2009, um aumento de 16%, muito acima do crescimento do emprego industrial no período, que foi da ordem de 5%, no mesmo período. Com isso, a participação do setor no emprego industrial aumentou de 7% para 8%, entre 2007 e 2009.

Esse dinamismo do emprego se refletiu na remuneração do setor. Enquanto o salário real médio da indústria como um todo teve aumento de 4,85% (deflacionado pelo INPC), o salário real médio do setor teve um aumento de 18,04%. Assim, o salário médio do setor, que correspondia a 64% do salário médio da indústria, passou para 71%. Combinando-se com o aumento do emprego, a massa salarial real da indústria cresceu apenas 10% no período, enquanto a do setor aumentou 36%, ampliando a sua participação no total da massa salarial industrial de 4,6% para 5,7%.

Entre 2007 e 2009 verifica-se que, no caso da indústria como um todo, como o crescimento do Pessoal Ocupado foi superior ao do VA, houve queda na produtividade do trabalho da ordem de 7% no período. Já no caso da indústria sucroalcooleira, nota-se que houve incremento na produtividade do trabalho da ordem de 36%, muito parecida com o acréscimo do salário real do setor. Entretanto, a produtividade média do setor ainda é bem abaixo da verificada na indústria, correspondendo, em 2009, a pouco mais da metade do valor para a indústria como um todo.

Tabela 6: Indicadores do Mercado de Trabalho - 2007-2009

Especificação	2007	2008	2009	Var. 09/07
PO Sucroalcooleiro	403.992	431.487	466.875	15,57%
PO Indústria Total	5.534.452	5.764.319	5.817.690	5,12%
Part. Sucroalcooleiro	7,30%	7,49%	8,03%	
Salário Médio R$ Sucro	14.428	15.387	17.031	18,04%
Salário Médio R$ Indústria	22.732	23.681	23.835	4,85%
Sucroalcooleiro/Indústria	63,47%	64,98%	71,46%	
Salários Sucro - R$ milhões	5.829	6.639	7.951	36,41%
Salários Indust – R$ milhões	125.808	136.502	138.662	10,22%
Sucroalcooleiro/Indústria	4,63%	4,86%	5,73%	
VAsucro /PO sucro – R$	28.007	35.252	38.158	36,24%
VAindust/PO indust – R$	76.824	81.447	71.103	-7,45%
Sucro/Indústria	36,46%	43,28%	53,67%	

Salário Médio corresponde ao item salários, retiradas e outras remunerações/PO

PO = Pessoal Ocupado

Valores deflacionados pelo INPC – R$ 2009

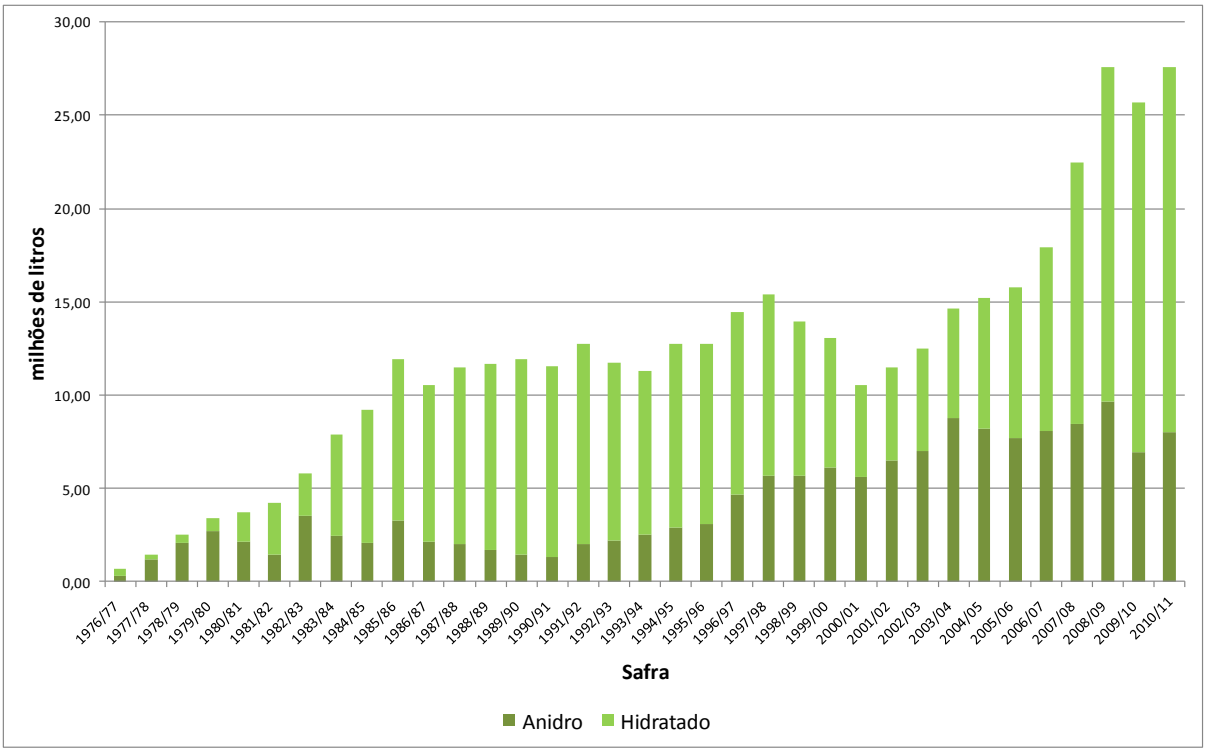
Fonte: PIA-IBGE

Além do pessoal ocupado nas atividades industriais, o setor possui um grande número de ocupados no cultivo da cana. De acordo com os dados da PNAD, em 2009 havia em torno de 620 mil trabalhadores empregados no cultivo da cana, o que representava 3,8% do emprego agrícola do país. Assim, combinando-se com os dados de emprego industrial da PIA observa-se que o setor gera mais de um milhão de empregos no país.

Outro aspecto a ser analisado para dimensionar o setor é a utilização da terra. A cana-de-açúcar ocupa em torno de 9 milhões de hectares no Brasil, sendo a terceira lavoura que mais ocupa área no país, perdendo para soja (mais de 23 milhões) e milho (cerca de 13 milhões). Entre 2006 e 2010 a área destinada à cana aumentou em 2,7 milhões de hectares, o que é pouco mais de 45% de acréscimo de área. Comparando-se com o aumento da produção de 50% verifica-se que também ocorreu um aumento da produtividade da ordem de 5%. Apesar do aumento da área destinada à cana, esta continua representando em torno de 10% da área destinada à lavoura no país e representa em torno de 18% do valor da produção, mostrando que gera um maior rendimento por hectare quando comparado a outras culturas, o que colabora para explicar o processo de expansão da cana e a substituição de outras atividades.

2.3.2. Produção, consumo e comércio

Como destacado o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol. O uso do etanol como combustível é uma prática bastante antiga, seja com a adição do álcool à gasolina (álcool anidro), seja sua utilização direta como combustível em substituição à gasolina, que se faz desde o final dos anos 70. A produção de etanol teve um grande aumento ao longo dos anos 70 e 80, ficou relativamente estabilizada ao longo dos anos 90, voltando a crescer de forma significativa a partir do início deste século, como pode ser visto no gráfico a seguir.



Fonte: MAPA e Única.

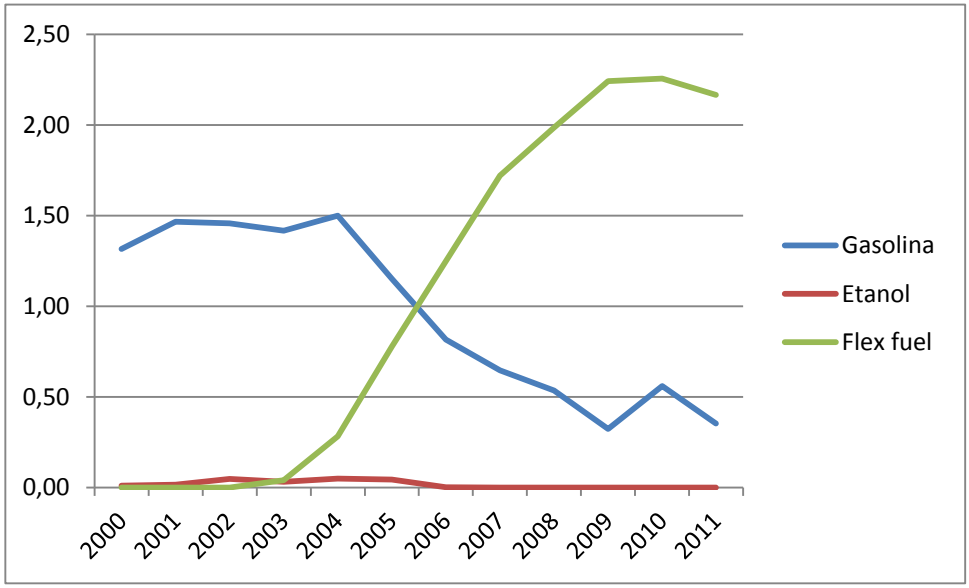
Figura 5: Produção de etanol anidro e hidratado, 1976 a 2010

Esta dinâmica reflete o Proálcool nos anos 70/80 e o forte incentivo aos veículos movidos exclusivamente a álcool, o que explica o maior predomínio do etanol hidratado nos anos 80; seguida da crise do Proálcool nos anos 90, levando ao aumento da importância do etanol anidro adicionado à gasolina, e no período recente uma forte expansão da produção total, em especial do hidratado em função do surgimento do carro flex fuel.

O advento dos veículos Flex Fuel gerou um aumento significativo no consumo de álcool hidratado no Brasil: 4,3 bilhões de litros em 2003 para 15 bilhões de litros em 2010.[7] Os veículos Flex Fuel e os movidos exclusivamente a álcool hidratado têm alíquotas do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) menores em relação aos veículos a gasolina. O Decreto nº 4.317, de 31 de julho de 2002, fixou as

[7] Cabe destacar que nos EUA a frota deste tipo de veículo é superior a 7 milhões de unidades que podem ser abastecidas com qualquer mistura de E-85 (85% de etanol e 15% de gasolina) e gasolina. Outros países como Suécia, Espanha, Alemanha, França, Holanda, Inglaterra e Canadá estão incentivando o uso de veículos Flex Fuel.

alíquotas do IPI de veículos Flex Fuel (início do tratamento tributário destes veículos) e induziu o lançamento dos mesmos no ano seguinte. Desde seu lançamento a participação dos veículos flex aumentou de forma significativa, representando atualmente mais de 85% do total de automóveis vendidos no país. Deve-se destacar que a produção do etanol anidro também cresceu, apesar da maior expansão do hidratado, o que reflete um aumento também no consumo de gasolina. Este processo decorre da forte expansão das vendas de veículos no país, como pode ser visto no gráfico a seguir.



Fonte: ANFAVEA.

Figura 6: Produção de automóveis por tipo de motor, 2000 a 2011

Com isso o aumento da demanda e da produção de etanol tem se dado de forma bastante intensa. Entre 2004 e 2011, por exemplo, verificou-se crescimento da produção superior a 28% a.a. Deve-se destacar que este crescimento decorreu basicamente da expansão do mercado doméstico. Diferentemente do açúcar cuja maior parte da produção se destina ao mercado internacional, a produção de etanol busca atender essencialmente o mercado interno. Inclusive o forte aumento da demanda nos últimos anos frente a produção fez com que o país tivesse que importar o produto.

Nos dois últimos anos, a crise econômica mundial, o encarecimento do custo de capital, a não realização dos cenários de comercialização do etanol em nível mundial que haviam embasado muitos estudos *greenfields* de anos anteriores, a queda da produtividade no campo, em decorrência da não renovação dos canaviais, o aumento do preço do açúcar e a manutenção dos preços da gasolina, apesar da elevação do custo do petróleo, contribuíram para retirar competitividade do etanol e estagnar sua produção no país. As razões, como apontadas, são antes conjunturais do que estruturais e essa tendência deve ser revertida quando tais fatores se arrefecerem.

Além do uso como combustível em automóveis leves, novos mercados estão surgindo para o etanol. Podem-se destacar os seguintes: (i) Fabricantes brasileiros têm trabalhado no desenvolvimento de motocicletas Flex Fuel cujo primeiro modelo (Honda CG 150 Titan MIX) foi lançado comercialmente em março de 2009; (ii) Desde 2005 a indústria aeronáutica Neiva, subsidiária da Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer), comercializa aviões agrícolas movidos a álcool hidratado usados para pulverização de lavouras. O modelo Ipanema foi a primeira aeronave de série no mundo a obter autorização para voar com álcool combustível. Para os proprietários de modelos Ipanema movidos a gasolina, existe a opção de realizar a conversão do motor para utilizar álcool por meio de kits[8]; (iii) Em outubro de 2007 ocorreu o lançamento do primeiro ônibus brasileiro movido a álcool, no âmbito do Projeto BEST - BioEthanol for Sustainable Transport. Trata-se de uma iniciativa da União Europeia que tem como objetivo divulgar mundialmente o uso do álcool combustível, com o apelo à redução do uso de combustíveis fósseis e de emissões de gases geradores de efeito estufa. O Projeto está sendo coordenado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) da Universidade de São Paulo (USP). Os ônibus (chassis e motores) com motorização do ciclo diesel, movidos a álcool, serão importados da Suécia e circularão no corredor Jabaquara – São Matheus (Região Metropolitana de São Paulo) para a realização de estudos de viabilidade comercial e avaliação do desempenho deste tipo de ônibus em relação aos ônibus convencionais. Os referidos ônibus a álcool são equipados com motores que atendem a norma de emissões PROCONVE 6.

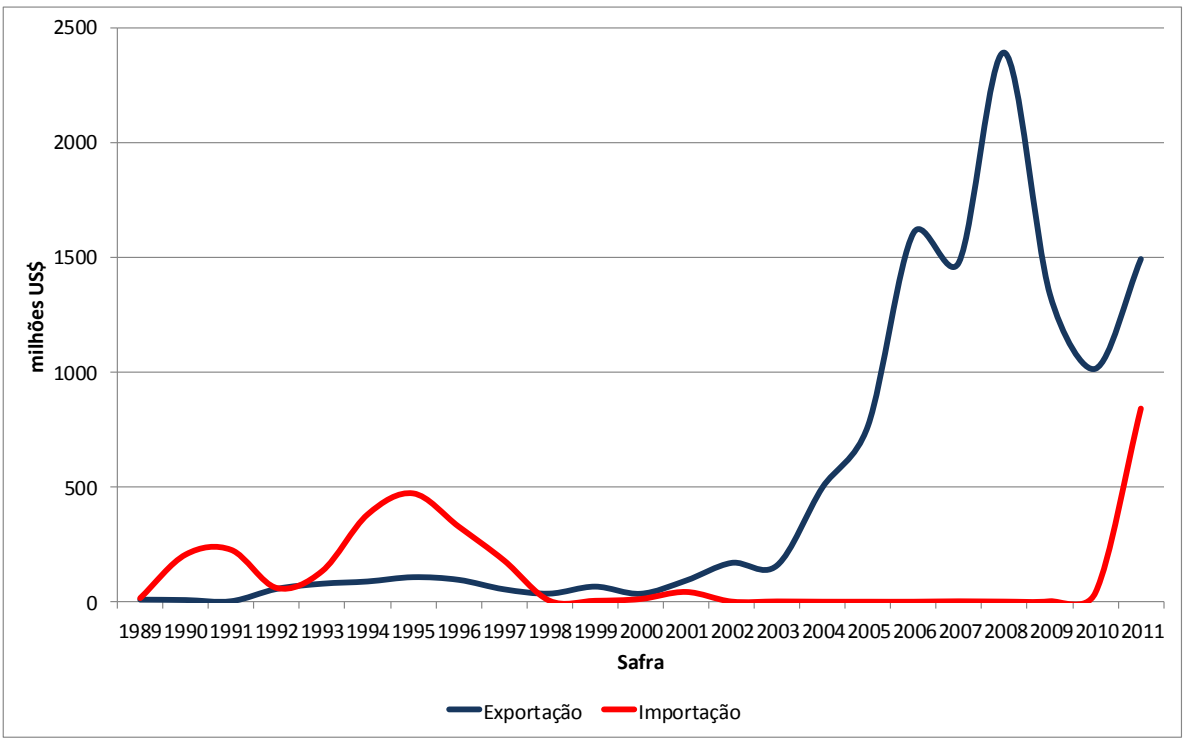
---

[8]Mais informações em http://www.aeroneiva.com.br/site/content/home/default.asp.

Com relação ao comércio internacional, as importações dos anos recentes não foram suficientes, ainda, para retirar do Brasil a condição de principal exportador de etanol do mundo, seja em quantidade, seja em valor. Em 2011 (até dezembro) o Brasil exportou 1,964 bilhão de litros de álcool, volume 3,4% superior ao mesmo período de 2010. Em 2010 o Brasil exportou 1,9 bilhão de litros de álcool, volume 42,4% inferior ao de 2009. As receitas obtidas com as exportações de álcool em 2010 foram de US$ 1 bilhão (redução de 24% em relação a 2009). O Brasil exporta para países como EUA, Japão, Jamaica, Nigéria, Coréia do Sul, Suécia, Países Baixos (Porto de Roterdam, Holanda), Costa Rica, El Salvador e México.

Os EUA são grandes importadores de álcool brasileiro (664 milhões de litros importados diretamente em 2011). Empresas brasileiras também exportam para países da América Central e do Caribe etanol hidratado que é reindustrializado (desidratado e transformado em anidro) e reexportado para os EUA. Em 2011 o Brasil exportou para os referidos países cerca de 343 milhões de litros.

Em 2011 (até dezembro) o Brasil importou 1,136 bilhão de litros de álcool, volume 1405% superior ao mesmo período de 2010, sendo 1,099 bilhão de litros importados diretamente dos EUA.



Fonte: MDIC, Secex.

Figura 7:Brasil, exportação e importação de etanol – 1989 a 2011

O Brasil deve se beneficiar do crescimento deste mercado e espera-se que com o maior dinamismo exportador, o preço do etanol passe a se atrelar mais firmemente a fatores internacionais, incluindo a taxa de câmbio e o preço do petróleo. O que se verifica hoje é seu casamento com o preço do açúcar, por ser uma *commodity agrícola*. Entretanto, com a transformação do etanol em uma *commodity energética* global, esse comportamento tende a se alterar.

2.3.3. Competitividade internacional

É sabido que o Brasil apresenta vantagens comparativas para a produção de combustíveis renováveis, em função da disponibilidade de terras para o cultivo de matérias-primas, da diversidade climática, do avanço tecnológico e gerencial e da experiência acumulada em mais de setenta anos produzindo etanol, contudo, ainda falta traçar uma estratégia ambiciosa para transformar o etanol combustível em *commodity* internacional. Falta aprimorar as tecnologias utilizadas internamente e exportá-las, de forma remunerada. Nesse caso, talvez a estratégia seja disseminar a produção de etanol em outros países, contribuindo para aumentar o mercado consumidor do produto e, inclusive, de futuras exportações.

A desregulamentação do setor sucroalcooleiro contribuiu para ampliar a eficiência e a competitividade do etanol brasileiro. Isso porque, com o fim do controle estatal, os produtores de etanol tiveram de se adaptar ao livre mercado e caminhar sem os incentivos, os subsídios e a coordenação do Estado.

Nesse período, houve o desenvolvimento de um parque industrial de produção de bens de capital para a agroindústria sucroalcooleira, que permitiu ao Brasil fazer toda expansão e aprimoramento na sua produção de álcool[9]. Também agora, não só a ampliação e aperfeiçoamento de sua capacidade instalada estão

[9](http://www.abimaq.org.br/; http://www.ceiseciesp.org.br/).

baseados no setor brasileiro de bens de capital como tem ocorrido exportações para ampliação da indústria sucroalcooleira de outros países. A expansão do parque industrial de bens de capital contribuirá para a manutenção de vantagens comparativas do país no setor.

Dadas as condições tecnológicas atuais, uma série de estudos mostra que o etanol extraído da cana apresenta uma série de vantagens em termos de custo e em termos de balanço energético, quando se compara a energia gasta com a produzida, em relação a fontes alternativas de produção, o que amplia o mercado consumidor internacional de produtos derivados da cana (BNDES; CGEE, 2008). A maior produtividade de litro de etanol equivalente por hectare é um diferencial que dificilmente será superado antes do advento do etanol celulósico. A produção de etanol a partir de cana, no Brasil, rende 8,1 mil litros por hectare, ao passo que a produção a partir do milho, nos EUA, rende 3 mil litros por hectare (Andreoli e Souza, 2006). Esse fato contribui para manter ainda relativamente baixos os custos de produção do setor[10].

Nesse sentido, novamente o Brasil aparece com destaque no mercado de etanol por apresentar vantagens comparativas no cultivo da cana-de-açúcar e na tecnologia envolvida na produção. O Brasil tem trabalhado não só no sentido de aumentar sua produção de álcool etílico para fins carburantes, a partir da cana-de-açúcar, como também de transferir sua experiência e tecnologia para que outros países tropicais, que dispõem de terras, mão-de-obra e radiação solar intensa, possam ser produtores e exportadores de álcool, ampliando e diversificando sua

[10] Nos últimos anos o setor vem sendo premido pela queda de rentabilidade decorrente de fatores climáticos, que reduziram a produtividade média, e aumento de custos em função de encarecimento de insumos utilizados na plantação e mão de obra, por conta do aquecimento do mercado de trabalho. Mas, mais importante ainda, pesou sobre o setor o custo de capital de projetos que foram implantados no ciclo de expansão, no início e até pouco mais de meados da década passada, e que ainda não apresentaram retorno do capital investido. Esses negócios foram particularmente atingidos pelo encarecimento do capital de terceiros, decorrente da crise internacional e prejudicou a renovação de canaviais nos anos recentes – o que reforçou a queda de produtividade do setor. Some-se a esses fatores, o aumento do preço do açúcar no mercado mundial, decorrente das quedas nas safras indianas, e a preferência das usinas em que é possível o deslocamento da produção para essa *commodity*. O resultado foi a redução no ritmo necessário de expansão da produção de etanol e a necessidade de importações de etanol dos Estados Unidos. A redução na produção de açúcar no mercado indiano, a ausência de um novo player internacional que supra essa oferta, bem como a manutenção da expansão monetária americana, que desloca volumes consideráveis de recursos financeiros para os mercados de commodities em geral, dentre elas o açúcar, contribuirão para manter os preços do açúcar em níveis elevados por mais alguns anos.

oferta no mercado mundial. A intenção é tornar o álcool uma *commodity* internacional.

No caso brasileiro, as restrições concentram-se na capacidade ou não do setor em atender a demanda potencial pelo combustível, caso ele de fato se torne uma *commodity* internacional. Há até alguns anos atrás, no auge da expansão da produção, a drástica redução na capacidade ociosa das indústrias de bens de capital para o setor, limitava a instalação dos novos projetos na velocidade desejada, encarecendo os custos de instalação, que só se viabilizavam com projeções de demanda muito otimistas.

Pesam ainda contra o setor os gargalos típicos de mercados altamente competitivos e com margens estreitas, sobretudo aqueles que podem ser controlados pelos agentes do setor, como custos logísticos, capacitação de recursos humanos e P&D. As usinas, muitas ainda com estruturas de governança familiar, tendem a resistir ao investimento em canais de distribuição. Usinas que estejam numa mesma região podem criar *joint ventures* e entrar no mercado de distribuição de etanol, com uma gestão independente, comprando distribuidoras hoje existentes ou montando novas, autorizadas a funcionar pelo governo (Neves e Conejero, 2007).

Os investimentos em alcooldutos e estruturas portuárias para exportação também merecem uma visão mais atenta do setor, eventualmente capitalizando recursos para investimento nessas infraestruturas.

A necessidade de transporte por estrada e caminhões reduz em muito os ganhos de produtividade da cana e seu impacto ambiental positivo. O escoamento em grandes distâncias requer a construção de dutos de distribuição que integrem os vários mercados, em diferentes regiões do país, e também os portos, para eventual escoamento da produção ao exterior. Uma importante iniciativa privada nessa direção foi a constituição da Logum Logística S.A., por empresas dos setores de engenharia, energia e transporte (Camargo Corrêa, Copersucar, Raizen, Odebrecht, Petrobras e Uniduto Logística), responsável por consolidar, em uma única rede, três projetos individuais de alcooldutos que envolvia, além de dutos, complexos sistemas de transporte por hidrovias, rodovias, cabotagem, além de operações em terminais

aquaviários, portos e armazéns (figura 8)[11]. O projeto da Logum está sendo financiado pelo BNDES, e faz parte do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento – promovido pelo Governo Federal.

Fonte: Logum, revista Globo Rural.

Figura 8: Estrutura logística da Logum Logística.

No mesmo sentido, a padronização de contratos para o etanol e sua cotação em bolsa contribuiria para tornar o produto uma *commodity* e aumentar sua competitividade.

O setor também se beneficiaria com investimentos próprios em estoques estratégicos, que evitem flutuações de preços e escassez do produto. Estoques reguladores podem melhorar a imagem do setor no Brasil e no mundo e fornecer segurança do abastecimento no mercado interno e externo. No entanto, os empresários do setor devem ter claro de que não compete mais ao governo esse papel e que eles mesmos devem buscar viabilizar tais estoques, ainda que em conjunto com o governo. A Petrobrás, como ator nesse mercado, terá papel

[11] A participação da Petrobras no empreendimento está passando por contingenciamentos, em razão das revisões nos planos de investimento da estatal.

relevante, mas atribuir-lhe papel fundamental é não apenas abdicar posicionamento estratégico, como subordinar os resultados de longo prazo às vicissitudes políticas.

É possível que a ação do governo em assegurar a competitividade do etanol frente a gasolina contribua para um melhor planejamento do setor. Uma política de alteração automática do porcentual de adição de etanol à gasolina poderia reduzir as incertezas, em momentos de aumento no custo de produção vis-à-vis à manutenção dos preços da gasolina. Nesse caso, sempre que o custo de produção, em relação ao preço da gasolina, ultrapasse determinado patamar de aumento, o porcentual de etanol na gasolina seria alterado. Para evitar manipulação nos dados de custo, os mesmos poderiam ser acompanhados a partir de metodologias de custos padrão (*benchmark*). Essa política de alteração automática ainda teria o potencial benéfico de reduzir a margem de manobra política sobre a mesma (a definição do porcentual a cada período), haja vista que sua definição atual, de maneira discricionária, fica sempre sujeita às pressões conjunturais, nem sempre ligadas a preocupações com o longo prazo.

Da mesma forma que os demais produtos agrícolas, o etanol é produzido durante alguns meses (safra), mas seu consumo ocorre durante todo o ano. Assim, a formação de estoques se torna fundamental, demandando capital de giro para isso, objetivando minimizar os riscos de flutuação de preços e de desabastecimento do mercado no final da entressafra.

Até recentemente, mais de 90% da produção nacional de etanol era adquirida pelas distribuidoras de combustível, que não se interessavam em formar estoques, deixando esse ônus exclusivamente com os produtores. Porém, com a ampliação das exportações do combustível e com a transformação do etanol em *commodity*, a questão de armazenagem se torna um fator crítico para o setor brasileiro, ampliando os riscos e os custos de carregamento de estoques para as usinas e destilarias. A formação de grandes grupos, com escala suficiente para arcar com os custos de armazenagem, atuando no mercado distribuidor internacional, pode contornar esse problema, no médio prazo.

Fora do domínio direto dos empresários, mas que retira competitividade do setor no Brasil, pesam as questões tributárias, de longe não resolvidas, como a tributação interestadual do ICMS, a Cide etc. Os efeitos das intervenções fiscais no setor dificultam as análises convencionais de precificação, posto que o preço do

principal substituto no consumo de combustíveis (a gasolina) não é determinado em mercado competitivo[12]. Por outro lado, a revisão da carga tributária para o setor pode ser adotada como contrapartida a determinados investimentos do setor, como a inovação em etanol de segunda geração em parceria com centros de pesquisa ou mesmo pequenas empresas inovadoras[13], o que pode contribuir para a manutenção da vanguarda brasileira no setor.

2.3.4. Perfil tecnológico

A expansão da produção da indústria do etanol se apoiou essencialmente na expansão da produção do estado de São Paulo, em decorrência da abundância de recursos naturais de boa qualidade, melhor infraestrutura de transportes e energética, proximidade do maior mercado consumidor do país e, sobretudo, a inserção dentro de um sistema regional de inovação, nos quais se conjugam produtores, fabricantes de bens de capital, institutos de pesquisa e universidades. Esse sistema possibilitou que a região aumentasse gradativamente a produtividade da cana-de-açúcar a partir de cultivares desenvolvido na própria região.

Por essa razão o sistema de inovação brasileiro de inovação na agroindústria canavieira é essencialmente paulista. Essa região dá suporte e sustentação a praticamente todas as instituições relevantes que atuam dinamicamente nesse sistema. A grande originalidade do sistema de inovação canavieiro paulista é o predomínio da pesquisa privada sobre a pública, embora nem sempre tenha sido assim, contrariamente ao restante da agroindústria. O principal centro de pesquisa, o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), é uma empresa privada, recentemente transformada em Sociedade Anônima.

Apresentam-se, a seguir, os principais atores do sistema de inovação em etanol.

---

[12] A tributação distorce vários mercados no país. Uma análise específica deveria ser feita para saber se ela é mais ou menos distorciva para o etanol que para os demais produtos.

[13] Sabe-se que, em algumas rotas tecnológicas, as inovações em segunda geração encontra-se em fase de teste em escala industrial, o que requereria a construção de usinas de porte industrial, ou a eventual adaptação de uma linha de produção em usinas existentes. Essas adaptações, por exemplo, poderiam ser beneficiadas com incentivos fiscais bem planejados.

2.3.4.1. O Instituto Agronômico de Campinas (IAC)

O IAC, criado ainda no século XIX, dedicou-se inicialmente a dar suporte à cultura de café no Estado de São Paulo. Foi somente a partir da década de 20 do século passado, quando a cultura de cana começou a expandir-se no Estado, que surgiram as primeiras demandas de pesquisa em cana-de-açúcar, iniciou em 1892, com Franz W. Dafert, cientista austríaco que desenvolveu o primeiro estudo envolvendo 42 variedades de canas nobres (Saccharum officinarum) em duas condições de cultivo.

No final do século XIX, a gomose, primeira doença registrada nas lavouras de cana-de-açúcar nos Estados da Bahia e de Pernambuco, preocupava o setor canavieiro paulista devido à suscetibilidade da cana caiana. No início da década de 20, foi o mosaico que se disseminou pelos canaviais paulistas, provocando grande crise e levando à criação de programas de melhoramento genético. Na década de 30, Frederico de Meneses Veiga, em Campos (RJ) e José Manuel de Aguirre Jr, em Piracicaba (SP) lideraram os programas dos quais resultaram as variedades CB e IAC, juntamente com as primeiras experimentações de métodos de cultivo da cultura. A princípio, o melhoramento genético priorizava o estudo de genótipos introduzidos de outros países como Índia (sigla Co), Java (sigla POJ) e Estados Unidos (sigla CP). No final da década de 30, os resultados experimentais indicavam a variedade Co290 como de superior potencial agroindustrial quando comparada às POJs e CPs.

Nas décadas de 40 e 50, foram avaliados os primeiros genótipos desenvolvidos em Campos e Piracicaba, que resultaram nas primeiras variedades criadas no Brasil: CB41-76, CB45-3, CB40-69, juntamente com as variedades IAC48-65, IAC50-134, IAC51-205 e IAC52-150. A partir desta época, outros estudos também foram desenvolvidos como: adubação, calagem, época de plantio, espaçamento, aplicação de vinhaça etc.

Esse processo foi acompanhado pelo desenvolvimento da agroindústria canavieira no Centro-Sul do Brasil. Na década de 60, o Instituto Agronômico de Campinas contribuiu significativamente na formação dos programas de melhoramento genético do Planalsucar, atual RIDESA, e Coopersucar, hoje CTC.

Com a criação desses dois programas, a pesquisa canavieira foi dinamizada em todo o Brasil. Na década de 70, foi firmado um convênio entre a Coopersucar e o IAC que possibilitou a introdução de 678 genótipos de vários países. A ampliação dessa colaboração permitiu que o IAC utilizasse a Estação Experimental de Cruzamento de Camamu (BA), onde se concentra o maior número de genótipos de cana-de-açúcar de todo o mundo e excelentes condições climáticas para hibridação. Na década de 80 foram criadas variedades regionais, aproveitando-se o posicionamento geográfico das Estações Experimentais de Piracicaba, Jaú, Ribeirão Preto, Mococa, Pindorama e Assis. Com a eliminação da Seção de cana-de-açúcar, houve a criação do Programa de cana-de-açúcar-IAC, incorporando os pesquisadores e especialistas em cana-de-açúcar sediados nas seis Estações Experimentais onde as pesquisas eram conduzidas. Em consequência dessa nova postura de atuação descentralizada, ampliou-se rapidamente a interface institucional com o setor sucroalcooleiro, surgindo assim, o Grupo Fitotécnico de cana-de-açúcar em 1992, em Ribeirão Preto, que congrega fitotecnistas de usinas e cooperativas, pesquisadores e outros profissionais de empresas de insumos, matérias-primas, máquinas e equipamentos, projetos e outros fatores de produção ligados à cultura de cana.

Esse grupo, além de aglutinar as principais lideranças técnicas do setor, funciona para o Programa Cana IAC como um prospector de demandas determinantes no aprimoramento de linhas de pesquisas científicas.

Em 1994, o Programa Cana foi apresentado como uma proposta de cooperação envolvendo as empresas do setor, o Instituto Agronômico e a Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola, ampliando-se a rede experimental do IAC em cana-de-açúcar. Este projeto integra pesquisas nas áreas de conhecimento de genética, fisiologia, fitopatologia, entomologia, pedologia, fertilidade, climatologia e fitotecnia.

Com esta cooperação empresas x pesquisa foi criado, a partir de 1995, o Treinamento Procana para promover a homogeneização da linguagem técnica, aumentar a capacidade de absorção dos agrônomos e técnicos das usinas no processo de geração de novas tecnologias. O Treinamento, que se faz a cada ano, é o primeiro passo no processo de transferência de conhecimento da pesquisa do IAC para as usinas.

Novos Projetos foram agregados ao Procana como o Ambicana e o Rhizocana, os quais têm como primícias o estudo da relação cana-ambiente e cana-raíz-ambiente, respectivamente.

2.3.4.2. O Planalsucar – Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar

O Planalsucar inaugurou sua sede em 1972, em Piracicaba. Esse programa surgiu como um intento de melhorar a produtividade da cana em todo o país. Em São Paulo, o programa tinha cinco estações experimentais. No entanto, a contribuição do programa foi mais direcionada para a pesquisa de interesse público e de baixo retorno econômico para o Estado. As pesquisas do Planalsucar extrapolaram o domínio do melhoramento genético e se estenderam para o campo do processamento industrial. Os avanços patrocinados pelas pesquisas do programa permitiram introduzir as tecnologias de reciclagem do vinhoto, que foram essenciais para viabilizar ambientalmente o Proálcool. No entanto, o programa não contribuiu muito para a introdução de novas variedades de cana no Estado de São Paulo (Belik, 1985).

O Planalsucar foi mais importante nos demais Estados da Federação para modernizar a cultura da cana-de-açúcar (Furtado, Cortez e Scandiffio, 2008). O programa ao todo abriu 30 estações no país, 14 no Centro-Sul. Sua contribuição foi muito importante para melhorar a produtividade da cana nos Estados do Nordeste. O Planalsucar acabou sendo desmontado a partir da extinção do IAA, realizada em 1990. Suas atividades acabaram sendo incorporadas pela Ridesa.

2.3.4.3. A Ridesa – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucro-alcooleiro

A Ridesa, que é formada por Universidades Federais, é uma empresa que foi criada com a finalidade de incorporar as atividades do extinto Planalsucar, e dar continuidade ao desenvolvimento de pesquisas visando o melhoramento genético da cana-de-açúcar. A rede foi inicialmente instituída por meio de convênio firmado entre sete Universidades Federais (UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFSE, UFAL e UFRPE)

que estavam localizadas nas áreas de atuação do ex-Planalsucar, do qual foi absorvido o corpo técnico e a infraestrutura das sedes das coordenadorias e estações experimentais. Com o apoio de parte significativa do Setor Sucro-alcooleiro, por meio de convênio, a rede começou a desempenhar suas funções em 1991, aproveitando a capacitação dos pesquisadores e as bases regionais do extinto programa, aos quais se juntaram professores das universidades.

A Ridesa tem como base para o desenvolvimento da pesquisa em 31 estações experimentais estrategicamente localizadas em sete Estados da Federação onde a cana-de-açúcar tem expressão. Além dessas estações experimentais, a rede também desenvolve pesquisa nos campus das sete universidades federais, envolvendo, principalmente, pesquisas conduzidas nos diferentes cursos de pós-graduação, em nível de mestrado e doutorado.

Os cultivares liberados pela rede é amplamente utilizado pelo setor produtivo. Atualmente, os cultivares de sigla RB, anteriormente desenvolvidos pelo PLANALSUCAR, e atualmente pela RIDESA. Segundo informações da própria rede, seus cultivares são cultivados em mais de 50% da área de cana-de-açúcar no país, chegando em algumas regiões a representar até 70%[14]. Isto significa que a RIDESA apresentou grande eficiência nestes últimos dez anos, dando incalculável retorno aos investimentos aplicados em pesquisa.

A RIDESA ampliou sua atuação com a agregação da Universidade Federal de Goiás-UFG a partir de 2004 e da Universidade Federal de Mato Grosso em 2007. Desta forma foram criadas três novas estações experimentais para o Cerrado, uma localizada em Goiânia-GO, da UFG, outra em Cuiabá-MT da UFMT, e uma terceira em Capinópolis-MG da UFV, sendo que nesta última os trabalhos se iniciaram em 2003.

---

[14] É muito comum o emprego de cultivares diferentes em uma mesma área, para mitigar o risco de doenças e pragas no canavial. Esses cultivares não necessariamente são de um único centro de pesquisa. A decisão sobre qual cultivar empregar é da usina e do produtor.

2.3.4.4. O Centro de Tecnologia Canavieira

A Coopersucar (Cooperativa Central de Produtores de Açúcar do Estado de São Paulo) foi criada em 1959, como resultado da fusão de duas cooperativas regionais. Essa cooperativa se expandiu rapidamente a ponto de responder por 51% do mercado de açúcar do país em 1973 (Mariotoni, 2004). Essa cooperativa se ressentiu com a falta de interesse do IAA em promover programas de melhoramento genético. Buscando modificar esse quadro, que penalizava agroindústria local, a Copersucar convidou em 1968 o geneticista Havaiano Mangelsdorf para estruturar um programa de melhoramento genético, que constituiria a base do Centro de Pesquisa da Copersucar.

O Centro de Tecnologia Copersucar (CTC) foi criado em 1970 na cidade de Piracicaba. O centro começou inicialmente competindo com as estações experimentais do IAA que apresentavam condições mais favoráveis de atuação. Rapidamente será a atividade de assistência técnica para as usinas associadas da Copersucar que propiciará uma importante fonte de receita para o centro. Essa experiência na manutenção das usinas será decisiva para que o CTC se torne um importante foco de aprimoramento dos processos produtivos da fase industrial. A indústria de bens de capital manteve-se muito pouco dinâmica durante todo o período que antecedeu ao Proálcool. Quando houve os grandes volumes de investimentos realizados em decorrência do programa, a tecnologia incorporada nos equipamentos era já ultrapassada. A função do CTC consistiu fundamentalmente em introduzir inovações incrementais que permitiram melhorar eficiência do processo de extração e de fermentação do caldo de cana. Essas inovações incrementais foram decisivas para aumentar o grau de extração do açúcar que aumentou de 92%, antes do Proálcool, para 96%, em meados dos anos 80.

Durante a década de 80, o programa de novas variedades irá começar a render frutos. As variedades utilizadas no Estado de São Paulo que eram provenientes de outros Estados e da Argentina, começaram a ser substituídas pelas variedades desenvolvidas pelo CTC. Desde então as variedades desenvolvidas pelo CTC se tornaram dominantes no cenário paulista e nacional.

A Copersucar enfrentou crescentes problemas financeiros devido às fortes oscilações dos preços das *commodities* no mercado internacional, e a descontinuação do Proalcool. Os associados demonstraram-se reticentes em

financiar o CTC. Assim o número de associados que alcançava mais 70 usinas durante o período de auge da cooperativa caiu para menos de 40 no final da década de 90. As tecnologias desenvolvidas pelo CTC, embora fossem extremamente importantes para garantir a rentabilidade e o progressivo aumento de produtividade do setor, puderam ser facilmente reproduzidas e apropriadas pelos não cooperados. A Copersucar acabou desmembrando o CTC, que passou a se chamar de Centro de Tecnologia Canavieira em 2005.

O CTC é uma instituição que conta com um orçamento de 45 milhões de Reais e um contingente de 107 pesquisadores. Em 2012, para irrigar a expansão de um plano estratégico também chancelado pelos sócios e multiplicar os recursos por meio de parcerias tecnológicas e acelerar os ganhos de produtividade agrícola e industrial no segmento, que há uma década permanece praticamente estável, Copersucar e Cosan, dois dos principais sócios do CTC, aprovaram um aumento de capital do Centro de R$ 163 milhões e decidiram por transformá-lo em uma Sociedade Anônima.

2.3.4.5. Grupos de Pesquisa em Tecnologias de Baixo Carbono no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq

Um levantamento específico na base do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq (DGP) foi realizada com o objetivo de identificar grupos de pesquisa envolvidos em tecnologias de baixo carbono, especificamente para biocombustíveis. Os grupos foram identificados a partir de uma lista de palavras-chaves. No caso de biocombustíveis as palavras principais pesquisadas foram: etanol de segunda geração, hidrólise ácida, hidrólise enzimática, gaseificação da biomassa, transesterificação, catalisação e alcoolquímica. Essa busca resultou no levantamento de 109 grupos de pesquisa. Após o levantamento dos grupos na base corrente, os mesmos grupos foram levantados no Censo 2010 do DGP, a fim de obter informações sobre produtividade científica e tecnológica dos grupos. Dentre os 109 grupos, 93 apresentaram produção científica detectada no Censo 2010. A maior parte dos grupos de pesquisa concentra-se nas grandes áreas de conhecimento das Engenharias e Ciências Exatas e da Terra. Mais de 80% dos grupos de pesquisa concentram-se nessas áreas (Tabela 7). Considerando as áreas do conhecimento,

34 grupos são da área química, 25 na Engenharia Química e 10 na Engenharia Mecânica.

Tabela 7: Grupos de pesquisa de biocombustíveis no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq, por grande área do conhecimento

Grande Área do Conhecimento	Quantidade de grupos
Ciências Agrárias	11
Ciências Biológicas	6
Ciências Exatas e da Terra	37
Engenharias	39
Total Geral	93

Fonte: DGP

Os 93 grupos de pesquisa de biocombustíveis foram responsáveis pela publicação de 12.366 artigos de circulação nacional e internacional. Essas publicações concentram-se nas áreas Química, Engenharia Química e Ciência de Tecnologias e Alimentos (Tabela 8).

Tabela 8: Grupos de pesquisa de biocombustíveis e no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq e artigos publicados, por área do conhecimento

Área do Conhecimento	Quantidade de grupos	Artigos
Agronomia	2	252
Bioquímica	2	145
Ciência e Tecnologia de Alimentos	7	2.311
Ecologia	1	61
Engenharia Agrícola	0	0
Engenharia Civil	0	0
Engenharia de Materiais e Metalúrgica	0	0
Engenharia de Produção	2	42
Engenharia Elétrica	1	10
Engenharia Mecânica	10	686
Engenharia Química	25	2.743
Engenharia Sanitária	1	152
Física	2	586
Genética	1	131
Geociências	1	222
Microbiologia	2	488
Química	34	4.223
Recursos Florestais e Engenharia Florestal	2	314
Total Geral	93	12.366

Fonte: DGP

Os grupos de formação mais recente foram os responsáveis pela maior parte das publicações (tabela 9). Mais de 50% dos artigos foi publicada por grupos formados pós-2001. Esse agrupamento temporal também é responsável por cerca mais de 60% dos grupos (58 grupos). Esse resultado sugere uma grande movimentação dos grupos de pesquisa na área.

Tabela 9: Grupos de pesquisa de biocombustíveis no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq e artigos publicados, por ano de formação

Ano de formação	Quantidade de grupos	Artigos
Pré-1990	6	1.331
De 1990 a 2000	29	4.682
De 2001 a 2005	20	3.241
Pós 2006	38	3.112
Total Geral	93	12.366

Fonte: DGP

2.3.4.6. Desafios tecnológicos

No início dos anos 2000, com o desenvolvimento do motor flex, foi possível a utilização de qualquer mistura etanol hidratado/gasolina, entre 20% e 100%. Tal inovação foi muito bem aceita pelo consumidor e propiciou que o país desenvolvesse um programa de adição e complementação ao uso da gasolina, com a adoção de um combustível alternativo muito mais limpo em termos ambientais, assegurando a vanguarda do país nessa área[15,16].

A crise financeira de 2008 aumentou o custo de capital em empreendimentos *green fields*, limitando o aumento da capacidade instalada no setor. Mas foi o aumento de custos generalizados, sobretudo os custos operacionais, aliado à redução na produtividade, decorrente da não renovação dos canaviais, nas áreas de cultura tradicional (regiões de produção do Centro-Sul do país, excetuando as regiões de expansão) que mais contribuíram para a perda de rentabilidade no setor. Esses acontecimentos têm o impacto de reduzir os investimentos do setor, o que ameaça a manutenção da vanguarda tecnologia do país.

Apenas para ilustrar esse ponto, a tabela 10, apresenta a estimativa de custo de produção da cana para a safra 2010/2011, de acordo com o levantamento do o Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas – PECEGE, da Esalq/USP, para a CNA. Nota-se que na principal região produtora do país (Centro-Sul Tradicional) os custos de mecanização, arrendamento e remuneração da terra foram os que mais pesaram para retirar a competitividade da cana produzida nessa região, frente às demais. O custo de formação do canavial nem foi tão diferente frente às outras regiões, mas isso pode ser explicado pela ausência de renovação.

---

[15] É interessante observar que este desenvolvimento foi uma articulação das empresas do setor, governo e indústria automobilística e de componentes com a presença de algumas universidades.

[16] O etanol hidratado tinha competitividade em relação a gasolina porque o custo de produção da cana-de-açúcar era, na ocasião, o menor do mundo. Além disso, o preço da gasolina subiu entre 2002 até meados de 2006, quando foi mantido praticamente constante desde então.

Tabela 10: Custo de produção de cana-de-açúcar de usinas das regiões Centro-Sul Tradicional, Centro-Sul Expansão e Nordeste, para o fechamento da safra 2010/2011.

Descrição	Tradicional		Expansão		Nordeste	
	R$/t	R$/ha	R$/t	R$/ha	R$/t	R$/ha
Mecanização	15,27	1.274,79	13,72	1.161,40	11,02	655,03
Mão de obra	9,05	755,90	8,71	737,59	19,23	1.143,06
Insumos	4,47	373,63	5,36	453,72	7,30	433,85
Arrendamento	6,83	570,42	5,11	432,67	2,45	145,51
Despesas administrativas	2,23	186,24	1,84	155,55	3,58	212,68
Custo Operacional Efetivo (COE)	**37,86**	**3.160,99**	**34,74**	**2.940,93**	**43,57**	**2.590,13**
Depreciações	9,18	766,23	9,07	767,59	12,63	750,76
Formação do Canavial	7,86	656,60	7,77	657,72	11,11	660,41
Máquinas	1,10	91,57	1,13	95,76	1,10	65,18
Benfeitorias	0,10	8,67	0,11	9,74	0,03	1,74
Irrigação	0,11	9,38	0,05	4,37	0,39	23,43
Custo Operacional Total (COT)	**47,03**	**3.927,21**	**43,80**	**3.708,52**	**56,20**	**3.340,89**
Remuneração da terra	3,82	319,18	1,06	89,87	4,26	253,39
Remuneração do capital	2,27	189,16	2,25	190,15	2,93	174,12
Formação do canavial	1,42	118,19	1,40	118,39	2,00	118,87
Irrigação/fertirrigação	0,66	54,94	0,68	57,46	0,66	39,11
Máquinas e implementos	0,12	10,40	0,14	11,68	0,04	2,08
Benfeitorias	0,07	5,63	0,03	2,62	0,24	14,06
Custo Total (CT)	**53,12**	**4.435,56**	**47,11**	**3.988,55**	**63,39**	**3.768,40**

Centro-Sul Tradicional: São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná; Centro-Sul Expansão: Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Gross do Sul e Goiás; Nordeste: Pernambuco, Alagoas e Paraíba.

Fonte: PECEGE (2011)

Alguns desafios precisam ser superados pelo setor para assegurar a manutenção da vanguarda tecnológica no país. Dentre eles podem ser citados: aumento da produtividade na produção de primeira geração; desenvolvimento de processos rentáveis na segunda geração; aprimoramento do motor flex; novos produtos derivados da cana.

a) Primeira geração

No que se refere ao etanol de primeira geração alguns ganhos ainda podem ser obtidos em termos de ganhos de produtividade e redução de custos de produção com o melhoramento genético dos cultivares. A Ridesa, o IAC e o CTC têm um papel importante na inovação e difusão de novas variedades genéticas de cana, sobretudo com o uso de métodos tradicionais. Ainda existe um potencial a ser explorado no melhoramento a partir de métodos transgênicos. A complexidade do material genético da cana é alegada como um entrave a esse caminho.

A mecanização da colheita e transporte tende a gerar reduções de custos. O carregamento e o transporte podem ser considerados completamente mecanizados. A colheita passa por um ritmo acelerado de substituição do modo manual para o sistema mecanizado[17] (Staduto; Shikida; Bacha, 2004).

No segmento industrial percebem-se sinais de transformação organizacional, estrutural e de adoção de inovações tecnológicas, com redução de custos industriais, verificados pela constatação de fusões e incorporações de usinas/destilarias, pelo investimento de capital estrangeiro, e mesmo nacional, na aquisição e instalação de unidades industriais no centro-sul do país, e pela diversificação da produção e lançamento de novos produtos (Scaramuzzo, 2009).

Mas, o maior potencial de redução nos custos de produção na tecnologia atual vem da melhoria do transporte de insumos, matéria-prima e produto final. As dificuldades logísticas generalizadas do país também atingem o setor. Particularmente, no caso da cana, a proximidade das usinas aos produtores exige a manutenção do transporte rodoviário da matéria-prima – não há escala para o escoamento da produção por trens, por exemplo. As características da matéria-prima também limita o tamanho das usinas, uma vez que a distância ideal da usina ao produtor não deve ser superior a 50 km[18]. A mecanização da cana e o

---

[17] O processo de mecanização da colheita da cana-de-açúcar tende a se intensificar no futuro próximo, na medida em que novas e mais acessíveis tecnologias sejam disponibilizadas, bem como com as mudanças institucionais, sobretudo regulatórias, que são implantadas. No estado de São Paulo, a Lei 11.241/2002 e o Decreto 47.700/2003 estabelecem restrições para o uso da queimada, assim como cronograma para eliminação dessa prática nas áreas mecanizáveis. Também se prevê que as áreas sujeitas à mecanização, em decorrência de progressos tecnológicos que viabilizem essa prática, estarão automaticamente sujeitas aos critérios e cronogramas estabelecidos na Lei.

[18] No caso do milho, pode chegar a 100 km.

desenvolvimento de novos equipamentos que permitam o tratamento da matéria prima antes de sua chegada à usina podem contribuir para a redução dos custos nessa etapa do processo produtivo.

Ainda com relação à tecnologia atual, um importante aspecto tecnológico do setor refere-se à cogeração de energia, feita a partir da queima do bagaço de cana. Essa possibilidade foi muito difundida a partir das adaptações no marco regulatório do setor elétrico brasileiro, que possibilitou ambiente institucional adequado para viabilizar que os novos projetos de investimentos contemplassem a cogeração como importante fonte de recursos para sua viabilidade (Castro e Dantas, 2009). No entanto, em plantas maduras, a adaptação para a cogeração envolve novos investimentos, nem sempre avaliados como rentáveis pelas empresas (Nyko et at., 2011), seja pelo alto custo envolvido, seja por questões tributárias específicas (substituição tributária que impede o aproveitamento de créditos do ICMS)[19].

b) Segunda geração

No que se refere ao etanol de segunda geração, os principais entraves ainda se referem aos elevados custos de produção na fase industrial. Nesse ponto, os americanos parecem apresentar vantagens sobre os brasileiros tendo em vista os pesados recursos direcionados à pesquisa e desenvolvimento nessa área, a implantação de plantas pilotos, em escala industrial, e mesmo o maior custo de produção de longo prazo associado ao etanol de milho. Se a adoção de uma nova tecnologia é viabilizada quando esta iguala o custo de produção da tecnologia atual, o fato de terem uma tecnologia atual mais cara, possibilitaria a eles vantagem na adoção de tecnologia substituta. Nesse caso, a manutenção da vanguarda tecnológica ao país teria que ser obtida com o subsídio a adoção da nova tecnologia nos estágios iniciais.

---

[19] O aproveitamento energético do bagaço da cana é fundamental para aumentar o saldo ambiental positivo da cadeia produtiva desse segmento. Questões tributárias não poderiam representar empecilho para esse aproveitamento. A equalização das mudanças institucionais associadas à tributação do ICMS por meio do substituto tributário é premente. Já os custos de investimentos podem ser superados garantindo-se acesso às linhas de crédito disponíveis, sobretudo no BNDES. Institucionalmente, o governo pode contribuir sinalizando mais claramente o desejo por esse aproveitamento e direcionando, quando for o caso, a modificação na estrutura organizacional de grupos com capacidade de financiamento insuficiente.

João, Porto e Galina (2012) analisam dados de C&T do Brasil e dos Estados Unidos e verificam considerável atraso no programa brasileiro de pesquisa do etanol de segunda geração. O CTBE, programa federal de incentivo, só começou efetivamente em 2010. O programa Bioen, da FAPESP, é a rede de inovação mais avançada em relação às outras desenvolvidas no Brasil, possuindo linhas direcionadoras dos esforços de P&D e política de acesso ao programa definidas. Entretanto, tem como limitação a abrangência estadual, que restringe a expansão da rede e a obtenção de alguns dos benefícios oriundos da formação desse tipo de estrutura.

O *Biomass Program* nos EUA tem se mostrado mais eficaz no sentido de promover a formação de redes entre universidades, empresas e instituições que compartilham equipamentos e conhecimento, a fim de atender aos objetivos do programa estabelecidos nas chamadas. Esse desempenho deve-se, principalmente, à flexibilidade do programa com relação à origem dos integrantes da rede, o que permite ao país um maior conhecimento dos processos utilizados em outras nações, fundamental nesse momento, pois a descoberta e a aceleração do(s) processo(s) que permita(m) a fabricação do etanol celulósico em escala comercial podem significar o domínio tecnológico daquele país.

Outro fator de destaque é que este programa constitui uma das iniciativas desenvolvidas pelo governo estadunidense que visa P&D de outras fontes energéticas, possuindo, para tal, um departamento que coordena esses esforços. Em comparação com os programas brasileiros, concluem os autores, ele dispôs de maior quantia de recurso financeiro, o que pode justificar, em parte, a posição de destaque dos Estados Unidos verificada a partir da análise dos indicadores de C&T.

Conclui-se que a liderança dos Estados Unidos, tanto em artigos publicados como em solicitações de patentes, pode ser justificada pelo seu efetivo esforço em iniciar, articular e investir em P&D de etanol celulósico, entre outras fontes. Nesse sentido, enquanto para os Estados Unidos a busca pela redução da dependência por combustíveis estrangeiros e, consequentemente, pelo desenvolvimento de outras rotas tecnológicas é estratégia nacional, para o Brasil, o domínio da tecnologia de produção do etanol celulósico significa a manutenção de uma posição de liderança ocupada atualmente pelo setor sucroenergético. Sob essa ótica, apesar

de possuir papel fundamental nesse processo, o Estado ainda tem atuado de forma setorial e regional.

Por fim, nota-se que no Brasil ainda é baixo o envolvimento da iniciativa privada nas redes de P&D do etanol celulósico, sendo duas empresas participantes até o momento, contra 117 nos Estados Unidos, o que reduz demasiadamente as chances de uma organização brasileira dominar essa nova rota tecnológicas.

Uma importante ação para tentar mitigar em parte o atraso do Brasil em inovações no setor é o PAISS, Plano BNDES-FINEP de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico. O PAISS é uma iniciativa conjunta do BNDES e da FINEP de seleção de planos de negócios e fomento a projetos que contemplem o desenvolvimento, a produção e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa oriunda da cana-de-açúcar, com a finalidade de organizar a entrada de pedidos de apoio financeiro no âmbito das duas instituições e permitir uma maior coordenação das ações de fomento e melhor integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis.

Foram três os principais critérios empregados para indicação do instrumento de subvenção econômica no âmbito do PAISS: (i) Grau de inovação e risco tecnológico associado ao Projeto: por grau de inovação entendeu-se o teor de novidade do produto/processo em relação ao mercado, isto é, se é novo para o mercado mundial, se é novo para o mercado nacional ou se é novo só para a própria empresa. Já o risco tecnológico está associado ao estágio de desenvolvimento da tecnologia; quanto mais o produto estiver próximo de ser colocado no mercado, menor o risco tecnológico. Os projetos de maior grau de inovação e maior risco tecnológico deverão ser prioritários para recebimento de subvenção; (ii) Grau de importância/externalidades da tecnologia (ou produto): este critério visa considerar o grau de importância da tecnologia proposta para o setor e/ou para a cadeia produtiva, e também o nível de impacto e as externalidades decorrentes da implantação do projeto. Projetos que possuem maior relevância econômica (redução de custos, aumento de produtividade e aumento do conteúdo local), social (maximização da geração de empregos, aumento de infraestrutura/qualificação em tecnologias de ponta) e ambiental (desenvolvimento de tecnologias mais limpas e substituição de matérias-primas fósseis por renováveis) terão prioridade para o recebimento de subvenção. A capacidade das empresas envolvidas de difundir a

tecnologia e, consequentemente, gerar maior impacto no setor deve ser um diferencial para um bom resultado na avaliação; (iii) Grau de nacionalização da tecnologia: contribuem para a nacionalização, os projetos capazes de gerar propriedade ou absorção de tecnologia por parte de instituições brasileiras. Terão prioridade para receber subvenção os projetos que possuem maior grau de nacionalização da tecnologia desenvolvida.

Os projetos receberam pontuação de 1 a 3 para cada um dos critérios. Os projetos que obtiveram média aritmética superior a dois foram habilitados a enviar proposta de subvenção econômica para análise na FINEP, desde que satisfeitas as condições previstas no item 5.3.1 do PAISS. Projetos que são essencialmente de infraestrutura física e/ou de porte industrial não foram pontuados, sendo classificados como N.A. (não se aplica).

Serão subvencionadas todas as despesas de custeio dos projetos destinados à execução de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação, até o limite máximo de R$ 10 milhões. Os projetos terão valor mínimo de R$ 1 milhão, com prazo de execução de até 36 meses, e não poderão ter instituições sem finalidade lucrativa como parceiras.

Os recursos estimados para os anos de 2011 a 2014, considerados todos os instrumentos passíveis de utilização por BNDES e FINEP, serão de R$ 1 bilhão. Além disso, os recursos somente serão comprometidos, independente do instrumento financeiro indicado, na medida em que houver a aprovação e posterior contratação dos projetos nos respectivos instrumentos de apoio.

As linhas temáticas do PAISS contemplaram:

(i) Bioetanol de 2ª Geração (desenvolvimento de tecnologias de coleta e transporte de palha de cana-de-açúcar, otimização de processos de pré-tratamento de biomassa de cana para hidrólise, desenvolvimento dos processos de produção de enzimas e/ou de processos de hidrólise de material ligno-celulósico oriundo da biomassa da cana-de-açúcar, desenvolvimento de microrganismos e/ou de processos de fermentação de pentoses; e integração e escalonamento de processos para produção de etanol celulósico);

(ii) Novos produtos de cana-de-açúcar (desenvolvimento de novos produtos diretamente obtidos a partir da biomassa da cana-de-açúcar por meio de processos

biotecnológicos e integração e escalonamento de processos para produção de novos produtos diretamente obtidos a partir da biomassa da cana-de-açúcar);

(iii) Gaseificação: Tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores (desenvolvimento de tecnologias de pré-tratamento de biomassas de cana-de-açúcar para gaseificação, desenvolvimento de tecnologias de gaseificação de biomassas de cana-de-açúcar, especialmente quanto à otimização dos parâmetros de processos e/ou redução nos custos de capital dos equipamentos, desenvolvimento de sistemas de purificação de gases e desenvolvimento de catalisadores associados à conversão de gás de síntese em produtos).

Foram selecionados 31 planos de negócios, sendo 13 para a linha 1, 17 para a linha 2 e apenas 1 na linha 3.

c) Desenvolvimento do motor flex

Um incentivo importante viria do aumento da competitividade do etanol frente à gasolina, o que poderia se dar pelo aprimoramento do motor flex e a inovação por meio de motocicletas movidas a etanol. Nessa direção a dúvida refere-se ao aproveitamento desse motor, no longo prazo, frente ao motor elétrico, concorrente. Quando se pensa em muito longo prazo, parece inevitável que o motor elétrico venha a ser adotado em larga escala, muito mais quando vários dos empecilhos atuais a essa tecnologia forem superados. No entanto, no atual estágio do desenvolvimento desses motores, a melhor opção tecnológica parece apontar para veículos híbridos – veículos com dois motores, operando complementarmente, um motor a combustível líquido e outro elétrico. Nessa situação, o etanol continua sendo uma opção importante, na medida em que é um combustível líquido competitivo, capaz de ser utilizado isoladamente, ou como aditivo à gasolina.

Do lado da pesquisa, seria importante que os produtores bancassem a expansão da pesquisa em novas culturas, valendo-se dos esforços já obtidos no sequenciamento genético da cana. Apoio a atividades integradas de P&D para o setor em centros de excelências universitários, Embrapa, institutos agronômicos, empresas privadas e centros de tecnologia. Garantir o patenteamento internacional da tecnologia de produção do álcool brasileiro, para evitar a "livre importação" de

tecnologia e capturar valor em cima das exportações de tecnologia e posteriormente, de royalties.

A ação do governo nesse quesito é fundamental no sentido de sinalizar, com incentivos corretos, o curso desejado para as novas descobertas. Benefícios fiscais ao setor poderiam estar condicionados à participação efetiva das empresas privadas no desenvolvimento e patenteamento de novas descobertas, sobretudo na segunda geração.

d) Novos produtos de cana

No que se refere ao desenvolvimento de novos produtos derivados do etanol, muitas são as perspectivas de desenvolvimento, assim como todas requerem investimentos na busca de viabilidade econômica dos novos produtos, bem como nas adaptações necessárias nas plantas atualmente existentes, para que tornem possível a fabricação.

Uma perspectiva promissora para a utilização do etanol como combustível para além do uso em automóveis e como aditivo à gasolina vem da substituição do querosene de avião na indústria aérea. Trata-se de um setor em que o impacto ambiental é bastante expressivo e que não encontra ainda um substituto à altura do derivado de petróleo. O setor de aviação, que contribui com 2% das emissões totais de gases de efeito estufa no planeta, está enfrentando o desafio de reduzir pela metade a emissão de CO2 em 2050, em comparação com 2005, e se tornar neutro carbono até 2020, conforme estabeleceu a Associação de Transporte Aéreo Internacional (IATA, na sigla em inglês). Para atingir essas metas de controle de emissões, em meio a um cenário de forte expansão do transporte aéreo em todo o mundo, uma das alternativas que estão sendo avaliadas pelo setor é a utilização de biocombustíveis que possam ser misturados ao querosene na proporção de até 50% sem a necessidade de realizar modificações nas turbinas da atual frota de aeronaves e no sistema de distribuição do combustível aeronáutico.

Recentemente, FAPESP, Boeing e Embraer iniciaram estudos sobre os principais desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos para o desenvolvimento e adoção de biocombustível pelo setor de aviação comercial e executiva no Brasil. Entretanto, ainda não se chegou ao desenvolvimento de um

biocombustível que seja produzido em escala comercial e a um custo competitivo. Apesar de já existirem biocombustíveis produzidos no exterior a partir de diferentes biomassas, que inclusive já obtiveram certificação para serem utilizados na aviação e vêm sendo usados em voos de teste e até mesmo comerciais, eles ainda não são produzidos em grande escala e chegam a ser até 100% mais caros do que o querosene de aviação. A partir da experiência brasileira na produção do etanol, que não é um combustível ideal para a aviação, as instituições envolvidas no projeto pretendem dar um salto tecnológico que possibilite o desenvolvimento de um biocombustível viável comercialmente, obtido a partir do estudo de diferentes matérias-primas, que não só a cana-de-açúcar, e de diversas rotas tecnológicas.

Outro combustível derivado da cana que vem sendo testado é o diesel de cana. A partir dos açucares extraídos da cana e a utilização de microorganismos modificados para a produção de óleo, ao invés de etanol, obtém-se um produto com características químicas muito similares ao diesel de petróleo, que pode ser utilizado em motores não adaptados. A Amyris, empresa norte-americana de biotecnologia, instalada no Brasil, já está produzindo esse produto em escala semi-industrial, com custos de produção próximos aos do biodiesel de soja. A produção comercial da companhia está em andamento desde o final de 2011, com o abastecimento de alguns ônibus da SPTRANS, que circulam na cidade de São Paulo.

Recentemente, empresas de alguns países têm desenvolvido pesquisas relativas à aplicação do butanol, um álcool que pode ser derivado de cana, como combustível. Efetivamente, comparando-se o valor energético do butanol (110.000 Btu) com o do etanol (84.000 Btu) e com o da gasolina (115.000 Btu), pode-se inferir que há a possibilidade deste álcool ser um substituto da gasolina ou do etanol. Alguns autores citam que o butanol seria mais vantajoso que o etanol, devido a sua baixa solubilidade na água, baixa corrosividade, pelo fato de poder ser conduzido na mesma tubulação da gasolina e ainda apresentar propriedades semelhantes a moderna gasolina. Existem propostas também relativas ao uso do butanol como aditivo da gasolina. Com base nesta argumentação a DuPont e instituições japonesas e nórdicas (Suécia e Finlândia) têm investido de forma bastante significativa em processos de geração de 1-butanol via etanol (CGEE, 2010).

O mercado de cosméticos e artigos de higiene e cuidado pessoal encontra-se em continua ascensão. Também o mercado de produtos de higiene doméstica e

industrial, parcela importante originária da petroquímica. Ainda também os mercados de polímeros e plásticos, sobretudo os biodegradáveis. Esses são segmentos nos quais produtos derivados de biomassa podem ter penetração. A redução no impacto ambiental, decorrente da substituição de derivados de petróleo, por produtos de fontes renováveis, representa um atrativo para atender nichos de mercado para clientes com maior poder aquisitivo. No entanto, a difusão em larga escala desses produtos requer a equalização dos custos de produção, que será favorecida pela perspectiva de crescimento nos custos de extração do petróleo e seus derivados, mas também necessita de inovações de produtos e processos que tornem mais econômicos os bioprodutos.

2.4. Mudanças Climáticas, Institucionais e Tecnológicas

2.4.1. Impactos ambientais

As principais preocupações ambientais levantadas com relação à expansão da produção do etanol referem-se aos riscos de contaminação de solo, uso da água, deslocamento de culturas para regiões de florestas, queimadas, uso de áreas de proteção ambiental (nascentes, margens de rios, topos de montanha etc.), entre outros aspectos.

No que se refere à cana, vários trabalhos já foram empreendidos com o objetivo de estimar a quantidade de energia de origem fóssil despendida no processo de produção de cana-de-açúcar nas condições brasileiras. Dentre os quais podem ser citados Macedo, 1998, Macedo, Seabra e Silva, 2008, Urquiaga, Alves e Boddey, 2005; Pimentel e Patzek, 2008; Oliveira, Vaughan e Rykiel (2005) e Oliveira (2008). A conclusão de uma parte desses trabalhos é de que o balanço energético da cana (razão entre energia total contida no combustível produzido e a energia fóssil investida na sua produção) é bastante variada. Estudos empreendidos por pesquisadores no Brasil estimam essa relação entre 8 a 9, podendo chegar a 12 em determinadas condições. No entanto, estudos realizados no exterior apontam para números bem menos expressivos, em torno de 3,7 e 1,1. A principal razão para essa divergência de conclusões refere-se aos pressupostos adotados no cálculo.

Os estudos realizados no exterior (Pimentel e Patzek, 2008; Oliveira, Vaughan e Rykiel, 2005; Oliveira, 2008) assumem tecnologia muito defasada nas operações de campo, implicando em um consumo de energia fóssil muito maior do que o que seria razoável. Pimentel e Patzek (2008) estimam consumo de 2.596 Mcal (o que é aproximadamente 10.640 MJ) por 1.000 L de etanol, devido à utilização de energia nas fases de limpeza preparo e esmagamento da cana, nas esteiras de transporte, filtros e centrífugas e aquecimento do caldo para fermentação. Se transformados em ha pela produtividade média, esses valores de consumo de energia representam cerca de metade de toda a energia contida no etanol. No entanto, as usinas brasileiras produzem toda a energia que consomem nesses processos a partir da queima do bagaço em caldeiras de alta pressão, cujo vapor gerado aciona turbinas que produzem eletricidade em unidade de cogeração. Portanto, não é correto assumir que esses gastos de energia provêm de fonte fóssil.

Soares et al. (2009) fazem uma ampla revisão nos dados disponíveis e fatores de consumo de energia fóssil na produção de cana nas condições brasileiras. A tabela 11 resume as conclusões dos autores

Tabela 11: Balanço energético da cana

Entradas	quantidade	unidade	MJ/unidade	MJ/ha/ano
Operações agrícolas				
Trabalho	64,0	h	7,84	501,8
Máquinas	186,5	kg	8,52	1.588,8
Óleo Diesel	28,8	L	47,73	1.383,7
Nitrogênio	56,7	kg	54,00	3.061,8
Fósforo	16,0	kg	3,19	51,0
Potássio	83,0	kg	5,89	488,9
Calcário	367,0	kg	1,31	478,9
Sementes[a]	2.000,0	kg		252,2
Herbicidas	3,20	kg	451,66	1.445,3
Insecticidas	0,24	kg	363,83	87,3
Aplicação da vinhaça	180	m^3	3,64	656,0
Transporte de insumos[b]	820,0	kg		276,8
Transporte da cana[c]	24,7	L	47,73	2.058,0
Transporte total				*2.334,8*
Total das operações agrícolas				12.329,7
Entradas da Usina				
Reagentes químicos usados na usina[d]				487,6
Água		L		0,0
Cimento	11,5	kg		75,9
Aço leve estrutural	28,1	kg		841,8
Aço leve em equipamentos	23,1			693,5
Aço inoxidável	4,0	kg		287,1
Retificação até 99,5%				225,3
Tratamento de efluentes	0			0,0
Total de entradas na usina				2.611,1
Total de todas entradas de energia fóssil				14.940,8
Saídas				
Rendimento da cana-de-açúcar	79,5	Mg/ha		
Produção total de etanol	6.510,0	L/ha	21,45	139.639,5
Balanço energético final[e]				9,35

[a] *Estimado como correspondente a 2,6% de todas as entradas agrícolas.*
[b] *Transporte de máquinas, implementos, etc, para a lavoura ou fábrica.*
[c] *Transporte de cana colhida para a usina.*
[d] *Adaptado de Macedo et al., (2003) Tabela 3.*
[e] *Total de energia produzida/energia fossil investida.*

Extraído de Soares et al., 2009.

A estimativa do total de energia fóssil utilizado nas operações de campo, incluídos o transporte de cana para a usina e o fornecimento de insumos, é de 12.329,7 MJ /ha/ano. Já os ingressos de energia fóssil associados ao material usado nas construções e nos equipamentos das usinas representam 2.611 MJ /ha/ano, totalizando 14.940,8 MJ /ha/ano. Considerando que um litro de etanol produz na combustão 21,45 MJ de energia, um ha de cana capaz de produzir 6.510 L de etanol por ano pode gerar 139.639 MJ de energia, aproximadamente 9 vezes a energia fóssil investida nas operações agrícolas.

Mas existem outras preocupações ambientais relacionadas à produção do etanol e do açúcar. O impacto ambiental potencial da expansão da cana faz com que todos os novos investimentos devam obter licença ambiental e apresentar o Estudo de Impactos Ambientais e Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA), conforme previsto no Inciso IV do Artigo 225 da Constituição, que exige estudo prévio para qualquer atividade potencialmente causadora de degradação ambiental. A exigência e o modelo de EIA-RIMA são definidos por Resolução (237/97) do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). São previstos três tipos de licença: licença prévia que aprova a localização e a concepção do empreendimento e estabelece todos os requisitos para a obtenção das licenças seguintes; licença de instalação e licença de operação. Esta última é de três anos para a produção de açúcar e de dois para o etanol, devendo-se solicitar sua renovação antes do vencimento. O licenciamento é responsabilidade da autoridade ambiental estadual, exceto em casos cujo empreendimento extrapola os limites do estado.

Em relação ao uso da terra, estipula-se a exigência de uma reserva legal da ordem de 20% da área total que não pode ser utilizada além da preservação das áreas de proteção permanente (matas ciliares, nascentes etc.). Este é um problema do setor, uma vez que historicamente os produtores de cana avançaram com as plantações em todas as áreas, inclusive as áreas de proteção permanente. No Estado de São Paulo, 8,1% da área de cana referem-se a matas ciliares. Desta área, 3,4% têm mata natural e 0,8% foi reflorestado. A intensificação da fiscalização tem levado a implementação de significativos programas de recomposição das matas ciliares e proteção às nascentes. Percebe-se que houve um significativo avanço das áreas de plantação de cana sobre áreas de proteção, principalmente no passado. Em várias regiões estes problemas estão sendo reparados. A intensificação da fiscalização e o maior controle do cumprimento das normas têm propiciado a recuperação das áreas de proteção.

Existe uma discussão em relação à responsabilidade pela preservação das áreas de proteção e reservas legais. As usinas produzem utilizando “cana própria”, cana-de-açúcar produzida em terras próprias e áreas arrendadas, e “cana de terceiros”, obtida junto a fornecedores. Em relação às terras próprias e de terceiros fornecedores, não existe dúvida em relação à responsabilidade, mas em relação às áreas arrendadas existem dúvidas.

Uma das principais preocupações ambientais da atividade canavieira é a prática da queimada da cana na colheita. O excesso de fuligem gerado nos municípios canavieiros é considerado um fator de agravamento de problemas de saúde além da própria deterioração das condições atmosféricas devido à emissão de CO2. Como esta prática tende a ocorrer com maior intensidade nos meses de seca, durante os quais se dá a colheita, agravam-se seus efeitos negativos. A queimada é uma prática realizada para facilitar a colheita manual da cana. A legislação proíbe determinados tipos de queimadas, em determinadas áreas e horários. A queima controlada da cana é regulada por decreto no âmbito federal (Decreto no 2661/98) e no Estado de São Paulo possui uma lei específica mais restritiva (Lei Estadual no 11.241/02). A tendência é que esta prática seja encerrada em alguns anos, tanto por pressões da regulação para diminuir a emissão de poluentes e seus efeitos deletérios como pelo próprio incentivo econômico decorrente do uso integral da cana (caldo, palha, folhas e bagaço), ou mesmo questões relacionadas ao mercado de trabalho, formalização da mão-de-obra e encarecimento da força de trabalho. No Estado de São Paulo, o Protocolo Ambiental assinado entre as usinas, produtores de cana e o governo estabelece o fim das queimadas nas áreas passíveis de mecanização em 2014 e em todas as áreas em 2017.

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar avançou e atingiu 65,2% da área colhida no estado de São Paulo, na safra 2011/2012, de acordo com informações do obtidas a partir de imagens de satélite, compiladas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Dos 4,8 milhões de ha de cana colhidos na última safra, 3,1 milhões (65,2%) foram colhidos mecanicamente. Os dados do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético apontam que a produção de cana no estado vem cumprindo as metas estabelecidas para redução da queimada. Desde 2007, quando a proposta foi assinada entre o setor canavieiro e o Governo do Estado de São Paulo, a mecanização passou de 34,2% para 65,2% da área colhida.

Com o avanço da mecanização da colheita, outra preocupação tem se colocado: a sobra da palha no campo. Parte desta é utilizada como cobertura, mas a colheita mecanizada gera uma grande quantidade de palha, em torno de 14 toneladas por hectare. A dificuldade de se definir um destino para a palha, pela

dificuldade de seu transporte, tem gerado as queimadas das palhas remanescentes após a colheita, o que tem sido objeto de várias autuações de produtores. Este tem sido um problema maior do que a queimada controlada para a colheita manual. O destino natural para a palha é ser queimada nas caldeiras para ampliar a geração de energia elétrica, a principal dificuldade existente refere-se ao seu transporte até a usina.

Os subprodutos gerados no processo produtivo poderiam ser outro receio. No passado, muitos rios no Brasil foram contaminados pela vinhaça despejada pelas usinas. Atualmente, a água captada para o processo industrial é quase em sua totalidade tratada e reaproveitada na própria usina, gerando baixa captação de água; os sistemas industriais são praticamente fechados. Os níveis de captação e lançamento de água nas atividades industriais reduziram-se da ordem de $5m^3$/tonelada de cana na década de 90 para a faixa dos $1,8m^3$/tonelada, sendo que a eficiência do tratamento da água captada para lançamento atingia os 98%. No caso das atividades agrícolas, a cana produzida nas regiões tradicionais do Centro-Sul praticamente não utiliza a irrigação, dependendo basicamente das chuvas. A captação de água superficial ou subterrânea é controlada pelo Estado e depende da concessão de outorga pelo órgão ambiental (Departamento de Águas e Energia Elétrica, no caso de São Paulo). Em várias bacias hídricas do Estado de São Paulo já está sendo cobrada dos usuários de recursos hídricos a captação, consumo e lançamento de efluentes com carga orgânica; o que deverá induzir a redução da captação e um melhor tratamento dos efluentes.

Atualmente, praticamente todos os subprodutos são aproveitados no processo de produção da usina. A vinhaça é utilizada no campo para fertilização em um processo chamado de fertirrigação, por ser um valioso fertilizante orgânico e uma fonte de reposição de água para o solo; reduzindo a necessidade de fertilizantes e de água. Existem restrições sobre a quantidade de vinhaça utilizada por área, para não haver problema de contaminação do solo, e as usinas devem fazer o acompanhamento da qualidade das águas subterrâneas para verificar se há contaminação. No Estado de São Paulo esta utilização é regulamentada por Norma Técnica da CETESB que define os limites e as medidas de proteção ambiental para evitar a poluição das áreas. As usinas devem apresentar anualmente à CETESB o plano de aplicação da vinhaça demonstrando o respeito às normas. Atualmente

CETESB e CTC (Centro Tecnológico da Cana) estão trabalhando na definição de parâmetros de utilização da vinhaça. Os parâmetros devem considerar qual a quantidade de nutrientes demandadas pelo solo. A expectativa é que a quantidade de vinhaça passível de ser utilizada pelas usinas seja muito inferior do que aquela gerada, assim deverá se verificar no futuro uma grande sobra de vinhaça sem destino nas usinas. Uma possível solução será o desenvolvimento de mini usinas de fertilizantes que promovam a concentração de vinhaça e viabilizem o seu transporte para ser utilizada em regiões mais distantes, hoje isto é inviável pela elevada quantidade de água na qual a vinhaça se encontra, o que encarece o transporte.

Outro subproduto utilizado como fertilizante é a torta de filtro. A forte utilização dos resíduos como fertilizantes faz com que a cultura da cana seja, entre as grandes culturas brasileiras, a que menos utiliza fertilizantes. Também em relação ao consumo de fungicidas (praticamente nulo) e pesticidas este é inferior ao das demais lavouras. O controle da broca (principal praga) e da cigarrinha se faz por meio biológico. Apenas o controle de formigas, besouros e cupins se fazem por meio químico. O uso de agrotóxicos (fungicidas, herbicidas, inseticidas) também é regulamentado por legislação federal e controlado por agência estadual ou federal dependendo do estado. Os limites para serem utilizados são determinados e deve ser feito o acompanhamento sobre a contaminação do solo, além de exigir-se dos produtores o retorno das embalagens.

O bagaço da cana que sobra da extração do caldo, é um material celulósico que é queimado nas caldeiras das usinas para a geração de energia elétrica. Historicamente a cogeração era feita apenas para o atendimento das usinas, atualmente muitas usinas produzem excedentes que são comercializados. A queima do bagaço nas caldeiras gera emissão de poluentes atmosféricos, sendo que o Conselho Nacional do Meio Ambiente definiu limites para a emissão de particulados e óxidos de nitrogênio. A queima do bagaço não resulta na emissão de compostos de enxofre. Grande parte das usinas, principalmente aquelas que possuem caldeiras antigas geram emissões superiores ao permitido. O órgão fiscalizador tem determinado a troca das caldeiras ou sua adaptação, por exemplo, com a utilização dos lavadores de filtros. No Estado de São Paulo dentro do Protocolo Ambiental também se estipulou metas para a adaptação de emissões de poluentes pelas usinas.

Com o avanço da mecanização da colheita haverá uma grande sobra de palha e folhas no campo. Caso se viabilize o seu transporte até as usinas serão ampliadas as fontes para a geração de energia elétrica. O desenvolvimento do processo de hidrólise poderá viabilizar a extração do etanol tanto do bagaço como da palha. Percebe-se, portanto, que a cana apresenta um aspecto bastante positivo que é o aproveitamento integral da planta. Existem vantagens em se deixar parte da palha não queimada no solo, como alteração na biologia e química de solo, melhor conservação da umidade, variações na utilização de herbicidas etc. Outra parte, no entanto, pode ser enfardada, em fardos redondos e quadrados. O processo de fardos quadrados, em que a palha é prensada em fardos de 400 kg, tem apresentado vantagens sobre o processo de fardos redondos, em que a palha é amarrada em fardos de 120 a 160 kg, o que gera dificuldades no desenfardamento para trituração e perdas em densidade de carga no transporte por acomodação destes na carroceria e carretas.

Assim, do ponto de vista ambiental o setor apresenta resultados bastante positivos por gerar uma matéria-prima renovável para a produção de combustíveis menos poluentes, possibilitar o aproveitamento de seus subprodutos e colaborar para a geração de energia-elétrica no país de forma menos poluente que outras termelétricas, com geração de energia descentralizada em várias regiões e próxima dos maiores centros consumidores, além de ser complementar à oferta de energia hidroelétrica porque a safra do Centro-Sul ocorre na época de seca e baixa nos reservatórios.

2.4.2. Certificações socioambientais

Os biocombustíveis representam, de fato, uma alternativa ambientalmente mais amigável para suprir parcelas da demanda energética de diversos setores da sociedade (transportes, industrial, doméstico, etc.). As vantagens potenciais desses novos combustíveis dependem, no entanto, de que o desempenho ambiental e social dos mesmos seja otimizado ao longo de toda sua cadeia produtiva.

Questões como uso do solo e da água, emprego adequado de fertilizantes e agrotóxicos, preservação da biodiversidade, condições de trabalho oferecidas, entre outras, têm que ser rigorosamente avaliadas ao longo de todo o ciclo de vida desses

novos produtos, de modo a se assegurar que a expansão de seu uso signifique efetivamente progresso ambiental e social.

O desenvolvimento de processos nacionais de certificação e etiquetagem de todo o ciclo produtivo dos biocombustíveis poderia contribuir para a maior garantia para a sociedade de sustentabilidade dos produtos.

Nesse sentido, alguns protocolos internacionais estão sendo propostos, dentre os quais se destacam: Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB), Global Bioenergy Partnership (GBEP), ISO/ABNT e Bonsucro, como discutido na sequência.

2.4.2.1. Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB)

A certificação Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) é uma iniciativa suíça da "École Polytechnique Fédérale de Lausanne" (EPFL) e outros parceiros, para desenvolver padrões internacionais de sustentabilidade para os biocombustíveis. A versão da Norma RSB inclui princípios e critérios para a produção sustentável de biocombustíveis, orientação a associados e indicadores de adesão. A RSB desenvolveu vários documentos para fornecer orientação para a realização do Estudo de Impacto Ambiental e Social (EIAS), incluindo orientações sociais, ambientais e de valores de conservação do solo, água e diretrizes.

O padrão RSB inclui 12 tópicos: (i) da legalidade, (ii) melhoria planejamento, e monitoramento contínuo; (iii) emissões de gases de efeito estufa; (iv) direitos humanos e trabalhistas; (v) desenvolvimento rural e social; (vi) segurança alimentar local; (vii) conservação; (viii) solo; (ix) água; (x) ar; (xi) o uso da tecnologia, insumos e gestão de resíduos; (xii) regularização fundiária. Ela também inclui orientações sobre as melhores práticas na produção, transformação e uso de biocombustíveis nos transportes. A metodologia é desenvolvida para tratar dos impactos indiretos, incluindo a mudança de uso do solo e as questões de segurança alimentar. Duas abordagens estão sendo examinados para abordar os impactos indiretos: (1) a utilização de um fator de uso indireto do solo e (2) a promoção de práticas e insumos que diminuam o risco de impactos indiretos. (SCARLAT e DALLEMAND, 2011.)

2.4.2.2. Global Bioenergy Partnership

Em 2005, o Grupo dos Oito Países (G8) e mais cinco países (Brasil, China, Índia, México e África do Sul) estabeleceram a Parceria Global de Bioenergia (Global Bioenergy Partnership - GBEP) para promover o desenvolvimento da biomassa e de biocombustíveis e desenvolver um ambiente de sustentabilidade voluntária para a bioenergia (SCARLAT e DALLEMAND, 2011). A parceria já congrega 21 países e 11 organizações internacionais e mais 21 países como observadores, juntamente com a Comissão Econômica para América Latina e Caribe, o FIDA (Fundo Internacional para o Desenvolvimento da Agricultura), IRENA (International Renewable Energy Agency), a Comissão Europeia, o Banco Mundial, o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, entre outros.

A Força-Tarefa sobre Sustentabilidade do GBEP, criada em 2008 e coordenada pelo Reino Unido, procura construir um consenso sobre a sustentabilidade da bioenergia, para identificar sinergias entre as várias iniciativas e incentivar a integração, para promover uma maior coerência e reduzir a duplicação desnecessária. A Força-Tarefa tem como objetivo estabelecer critérios de sustentabilidade relevantes, práticos, com base científica, voluntária e indicadores relevantes e melhores exemplos de práticas relativas à sustentabilidade da bioenergia. Os critérios do GBEP deve finalmente incluir um conjunto de indicadores que podem ser interpretados de acordo com as circunstâncias nacionais e incluirá informação de apoio e descrições de abordagens metodológicas para a medição.

A Força-Tarefa desenvolveu o primeiro projeto de critérios de sustentabilidade e indicadores do GBEP, classificados como indicadores de base (altamente relevante, prático e com base científica), indicadores de grande relevância (praticidade baixa e / ou uma base fraca científica); não altamente relevantes. Estes critérios abrangem uma série de questões de sustentabilidade, incluindo: (i) os impactos ambientais: as emissões de GEE, a terra e os ecossistemas, qualidade do ar, disponibilidade de água, eficiência de uso e qualidade, diversidade biológica e mudança do uso da terra, incluindo os efeitos indiretos; (ii) impactos sociais: segurança alimentar, acesso à terra, água e outros recursos, desenvolvimento rural e social, o acesso à energia, condições de trabalho, saúde e segurança humana, (iii) os impactos econômicos e de segurança energética: o acesso ao desenvolvimento econômico, a viabilidade econômica e competitividade, à tecnologia e segurança

energética (SCARLAT e DALLEMAND, 2011). Uma série de tópicos deve ser mais refinada, incluindo a biodiversidade, efeitos indiretos do uso da terra mudança, a segurança alimentar, o apoio do governo, comércio e jurídica nacional, políticas e estruturas institucionais.

2.4.2.3. Critérios de sustentabilidade para bioenergia ISO / PC 248

A Organização Internacional de Normalização (ISO) desenvolveu um padrão internacional para tratar de questões de sustentabilidade relacionadas à produção de bioenergia (ISO, 2009). Um novo projeto ISO para tratar de critérios de sustentabilidade (comitê ISO/TC 248) foi criado para este fim e sua primeira reunião foi realizada em abril de 2010. Vinte e nove países estão envolvidos como participantes ou observadores, incluindo a China e os EUA. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Deutsches Institut für Normung (DIN), da Alemanha, forneceram o secretariado e a liderança da comissão, respectivamente.

Os critérios de sustentabilidade para bioenergia do Projeto ISO/TC 248 irá abordar os aspectos sociais, econômicos e ambientais da cadeia de suprimentos, produção e uso de bioenergia e desenvolver critérios de sustentabilidade globalmente harmonizados. O projeto pretende desenvolver um padrão global (ISO 13065) para a sustentabilidade de biomassa e de avaliação da conformidade, incluindo a cadeia de suprimento. Isso irá incluir além de terminologia adequada, os aspectos ambientais, sociais e econômicos relacionados com a sustentabilidade da bioenergia. A norma deve contribuir para a resolução das questões sociais e ambientais e para ajudar a evitar obstáculos técnicos ao comércio de bioenergia e fazer a bioenergia mais competitiva (SCARLAT e DALLEMAND, 2011).

2.4.2.4. Bonsucro

O padrão Bonsucro pretende fornecer mecanismo para a produção sustentável da cana de açúcar (todos os produtos) em relação às dimensões econômica, social e ambiental. Ele busca incorporar um conjunto de princípios, critérios, indicadores e verificadores que serão utilizados para certificar produtores de cana que os cumprem, e para orientar as empresas na cadeia de valor da cana

que desejam adquirir matéria-prima/suprimentos sustentáveis, e também o setor financeiro, que deseja fazer investimentos mais sustentáveis.

O padrão é baseado em um conjunto de medidas que permite a agregação e uma clara demonstração do impacto. A unidade de certificação é a usina de açúcar e etanol e as auditorias serão baseadas em avaliações da área de fornecimento de cana. Auditores credenciados serão obrigados a realizar avaliações.

Os critérios de sustentabilidade do padrão Bonsucro incluem 5 princípios: (i) respeito à legislação; (ii) respeito aos direitos humanos e às normas de trabalho; (iii) gerenciamento da eficiência dos insumos, produção, e do processamento para aumentar a sustentabilidade; (iv) gerenciamento ativo da biodiversidade e dos serviços do ecossistema; (v) melhoraria contínua das áreas-chave do negócio.

A característica geral das certificações é a exigência de cumprimento às normas legais, pelas empresas a serem certificadas, respeito aos direitos trabalhistas e humanos, melhoria de planejamento do negócio, controle do fornecimento de insumos, entre outros. As normas de origem europeia tendem a dar maior ênfase à proteção ambiental, o que em princípio é algo desejável, mas pode esconder barreiras comerciais não tarifárias sobre os produtos de fora da região. De todo modo, entende-se que as certificações são mais benéficas que o contrário. Os produtores brasileiros, quer no padrão Bonsucro ou no comitê da ISO, por exemplo, ou ainda em outros fóruns de certificações, devem estar na vanguarda dessas discussões, estabelecendo princípios que interessem ao país, e que assegurem a legalidade, a proteção ambiental e os direitos sociais. O governo também tem papel importante no sentido de sinalizar, via gradação de incentivos, inclusive os de crédito pelo BNDES, seu interesse de que o setor siga nessa direção (Nassar, 2012).

2.4.3. Mudanças climáticas e regulação

O Brasil possui posição de destaque nas negociações internacionais acerca da mitigação do aquecimento global, tendo o próprio MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) surgido da proposta brasileira de fundo de desenvolvimento limpo. Além disso, a regulamentação pátria do MDL continua

sendo de vanguarda, cabendo sua análise sob as perspectivas dos princípios jurídicos do ordenamento nacional (SABBAG, 2008).

O Brasil aprovou os termos da Convenção por meio do Decreto Legislativo nº 01/94, e os promulgou por meio do Decreto Federal nº 2.652/98, sendo, portanto, instrumento legal válido no ordenamento jurídico pátrio. Com o Decreto Legislativo 144 do dia vinte de junho de 2002, o Brasil ratificou o texto do Protocolo de Kyoto. Assim, ficam sujeitos à aprovação do Congresso Nacional quaisquer atos que possam resultar em revisão da Convenção sobre Mudanças Climáticas, bem como quaisquer ajustes complementares que, nos termos do inciso I do artigo 49 da Constituição Federal, acarretem encargos ou compromissos gravosos ao patrimônio. E, ainda cabe mencionar que a Resolução nº 01 de onze de setembro de 2003 da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima veio dispor sobre os procedimentos e modalidades possíveis para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no âmbito do Protocolo de Kyoto (Milaré, 2004).

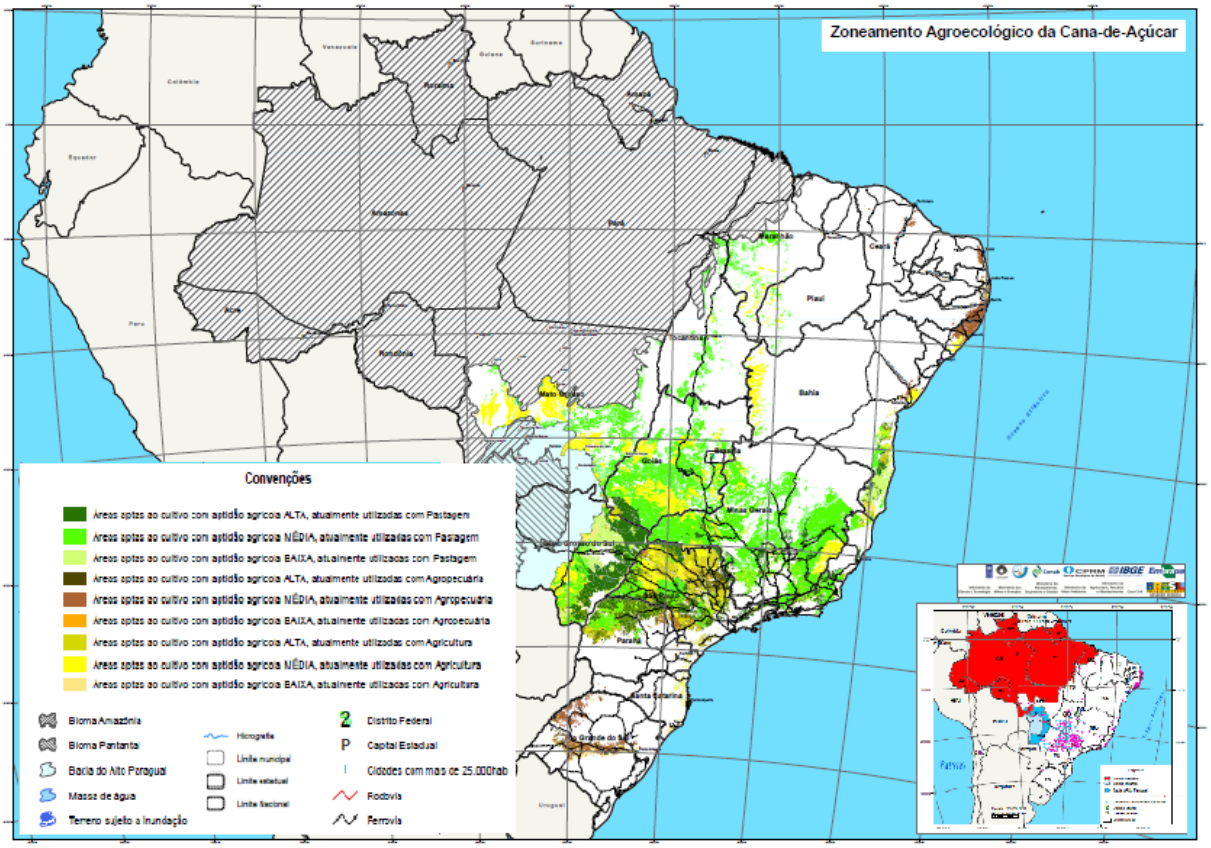
Nesse sentido, o Plano Nacional de Mudanças do Clima, que deu origem à Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC), Lei 12.187/2009, fixou metas voluntárias de redução de emissões entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020, com base no segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.

Essas medidas dos Poderes Legislativo e Executivo foram marcos necessários para subsidiar futuras ações do país em defesa do ambiente global, seja no âmbito do Poder Público ou da sociedade civil organizada.

No Brasil, o governo e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estão estudando aumentar a regulação do setor de etanol, passando a regular a produção e estabelecer metas. A intenção do governo é estender ao etanol o mesmo tratamento dado ao setor de petróleo, o qual a ANP acompanha desde a produção até a distribuição. A ANP estabelece metas de produção com os concessionários dos blocos de petróleo adquiridos nos leilões da agência. A principal motivação para essa intervenção seria a estabilização dos preços do etanol para o consumidor final.

No que se refere ao marco regulatório da produção de cana, o governo brasileiro concluiu em 2009 o Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar (ZAE-

Cana). Na elaboração do Zoneamento Agroecológico para a cana-de-açúcar foram utilizadas avaliações quanto à disponibilidade hídrica, solo, clima e cultura. O Zoneamento é parte da política agrícola do governo, para a contratação de crédito de custeio e seguro agrícola. Ele fornece o potencial de terras aptas ao plantio da cultura, que se conjugado com as áreas atualmente sob plantio, fornece o potencial de expansão da cultura por regiões de interesse (Figura 9).



Fonte: Embrapa

Figura 9: Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar

O Zoneamento Agroecológico da cana limita o cultivo de cana-de-açúcar na Amazônia, Pantanal e Bacia do Alto Paraguai e mapeou o cultivo potencial em 64,7 milhões de hectares, ou 7,5% do território nacional (MAPA; EMBRAPA, 2009).

Uma das motivações para a regulação do setor, tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, seria atender a metas de redução de emissão apenas no longo prazo. As motivações diretas, no entanto, atendem muito mais a interesses localizados em suas indústrias nacionais, bem como os objetivos de liderança

tecnológica no setor. Um aspecto importante às eventuais restrições de emissão é o possível impacto sobre a demanda de automóveis, com consequente redução no consumo de combustível, o que pode afetar o setor.

No questionário enviado a especialista, no escopo desse projeto, uma das questões relacionava-se às medidas que foram implementadas em âmbito nacional e internacional e o grau de importância que têm ou viriam a ter caso fossem implementadas. A tabela 12 resume os resultados obtidos nesse levantamento. Os entrevistados são quase unânimes em afirmar que no Brasil ainda não foi implementada muitas mudanças institucionais e regulatórias já adotadas no exterior, como por exemplo, pagamento por restrições ambientais de caráter local, pagamento por permissões de emissões de CO2, restrições ao comércio exterior, regulamentação restritiva sobre os produtos e mudanças no comportamento do consumidor.

As medidas consideradas mais importantes pelos entrevistados foram pagamento por permissões de emissões de CO2 e mudanças no comportamento do consumidor, seguidas por pagamento por restrições ambientais de caráter local e regulamentação restritiva sobre os processos produtivos. Também pagamento por permissões de emissões de outros GEEs foi atribuído grau de importância significativo. Dentre essas medidas, regulações restritivas sobre os processos produtivos foram avaliadas como implementadas no Brasil, por uma pequena maioria na amostra.

Tabela 12: Mudanças institucionais

Mudanças Institucionais e regulatórias	Já implementada no **Brasil**?		Já implementada no **exterior**?		Grau de importância			
	Sim	Não	Sim	Não	Nenhuma	Baixa	Média	Alta
a) pagamento por restrições ambientais de caráter local	3	9	9	2	0	4	5	3
b) pagamento por permissões de emissões de CO_2	0	11	10	1	0	1	6	4
c) pagamento por permissões de emissões de outros GEEs	0	11	5	6	0	3	6	2
d) restrições ao comércio exterior	1	11	8	3	0	5	6	0
e) regulamentação restritiva sobre os processos produtivos	7	5	10	1	0	4	3	4
f) regulamentação restritiva sobre os produtos	5	7	8	3	0	6	3	2
g) mudanças no comportamento do consumidor	5	7	9	2	0	4	2	5

Fonte: Questionário enviado a especialistas.

Esses resultados corroboram o que foi levantado nas visitas realizadas[20], em que foi possível identificar expectativas do setor no sentido de regulações que favoreçam as tecnologias mais limpas do setor, encarecendo aquelas mais defasadas ambientalmente. Em outras palavras, o setor em sua maioria vê mais como oportunidades do que como riscos as intervenções pró redução na emissão de carbono, pois acreditam que essas mudanças acabarão por incentivar o uso de combustíveis renováveis.

2.4.4. Mudanças climáticas e mudança tecnológica

As condições naturais e geográficas são favoráveis a que o país explore vantagens comparativas expressivas, suficientes para que o país assuma posição de destaque, no plano mundial, na produção e uso da biomassa como recurso energético. Além dos usos energéticos mais conhecidos da biomassa, como os dos resíduos agrícolas, deve-se destacar o grande potencial existente no Brasil para o desenvolvimento de florestas energéticas, cultivadas especificamente para esse fim. Diversos estudos têm sido conduzidos por instituições de pesquisa no País (p. ex., EMBRAPA e IPT), com o objetivo de identificar biomassas com grande potencial

[20] Foram realizadas visitas ao Ministério de Minas e Energia, Ministério de Ciência e Tecnologia, Petrobras e Amyris. Ademais, em workshop realizado no Rio de Janeiro, também foi possível estabelecer contato com Petrobio, Embraga Agroenergia e Solazyme. Também foram estabelecidos contatos com o Grupo de Economia da Energia da UFRJ.

energético, e que podem ser cultivados em acordo com as exigências ambientais vigentes. No entanto, para garantir a vanguarda tecnológica, para além de apenas fornecedor de clima, solo e matéria prima, o país também precisa insistir no desenvolvimento tecnológico dos produtos relacionados aos biocombustíveis.

No desenvolvimento tecnológico do etanol destacam-se os temas já mencionados relativos à manutenção das vantagens comparativas do país: melhoria da competitividade por meio de redução de custos na fase produtiva e de distribuição; melhoramento genético, por meios tradicionais ou transgênicos; pesquisa e desenvolvimento da utilização da palha e bagaço da cana para cogeração ou utilização como matéria prima do etanol de segunda geração; desenvolvimento de técnicas de produção do etanol de segunda geração etc.

Esses temas foram recorrentes nos levantamentos realizados por meio de entrevistas, e no questionário enviado a especialistas, levado a campo por essa pesquisa. Esses temas são catalisados em um novo conceito que se está desenvolvendo e relaciona-se à bioindústria, biorrefinaria etc. É muito comum entre os atores do setor, ainda mais na academia, mas também entre os profissionais de mercado, a ideia de que a indústria de biocombustíveis, e de maneira mais geral, de bioprodutos, do futuro encontra-se em transformação, e será muito diferente da que se conhece hoje. Novas matérias primas, novas tecnologias de conversão, novos produtos e novos modelos de negócio estão sendo testados e aprimorados. Diversas empresas buscam responder aos desafios colocados e explorar as oportunidades existentes. No entanto, parece consenso também que o processo de formação dessa nova bioindústria ainda tem pontos em aberto e as estratégias e políticas são traçadas em um ambiente de muitas incertezas.

No questionário enviado a especialistas, uma das questões relacionava-se à percepção dos entrevistados em relação às tecnologias que impactarão o setor do etanol, o estágio atual de desenvolvimento, o horizonte de difusão e o caráter proprietário ou não da tecnologia[21]. As tecnologias pesquisadas foram agrupadas em três grandes tópicos, a saber, tecnologias relacionadas aos processos enzimáticos de fermentação, produtos derivados a partir do etanol e tecnologias

[21] Tecnologia proprietária é aquela protegida por patentes ou segredos industriais

relacionadas ao etanol de segunda geração[22]. A tabela 13 resume os resultados obtidos nesse levantamento. Os números nas tabelas representam médias de respostas para cada quesito, em relação ao número de tecnologias em cada subgrupo, de modo a poder tornar comparáveis as respostas entre os subgrupos.

Tabela 13: Tecnologias de biocombustíveis, estágio de desenvolvimento, horizontes de difusão e propriedade da tecnologia

Tecnologia	Estágio atual de desenvolvimento				Horizonte de difusão				Tecnologia Proprietária?	
	Conceito	Bancada	Protótipo/ Piloto	Comercial	2015	2020	2030	2050	Sim	Não
Processos enzimáticos	4,5	0,0	4,0	0,0	4,5	3,0	0,5	0,5	5,0	4,5
Produtos derivados de etanol	3,1	1,8	1,5	0,0	2,8	4,3	0,8	0,0	5,4	3,3
2a geração	3,8	4,8	0,3	0,0	3,3	4,3	0,7	0,0	5,5	3,0

Fonte: Questionário enviado a especialistas.

Todas as tecnologias pesquisadas encontram-se em estágio de desenvolvimento, nenhuma delas alcançou o estágio comercial. O ponto a destacar é que os processos enzimáticos são os que, proporcionalmente, se encontram em estágio mais avançados, uma vez que apresentam a maior quantidade de respostas em estágio de protótipo/piloto. De outro lado, as tecnologias de segunda geração são as mais incipientes, muitas delas se encontrando em estágio de bancada. Para todas as tecnologias pesquisadas, o horizonte de difusão é de cerca de 10 anos (até 2020). Para as tecnologias enzimáticas, o horizonte de difusão parece ser um pouco menor, com uma incidência maior no prazo até 2015.

No questionário enviado a especialistas, os entrevistados também foram questionados sobre as oportunidades do desenvolvimento das tecnologias pesquisadas para o país, e as instituições críticas para o seu desenvolvimento. A

[22] As tecnologias de processos enzimáticos de fermentação incluem a Saccharomyces cerevisiae (usado na fermentação) e a Zymomonas mobilis (usado na fermentação); com relação aos produtos derivados do etanol, foram pesquisados a obtenção de 1,3 butadieno a partir do etanol, a obtenção de 1-butanol a partir de etanol, a obtenção de acetato de etila a partir de etanol via desidrogenativa, a obtenção de acetato de etila a partir de etanol via oxidativa, a obtenção de ácido acético a partir de etanol, a obtenção de propeno via etanol, a obtenção de xilitol de biomassa e a hidroformilação do eteno gerado a partir do etanol; com relação ao etanol do segunda geração, foram questionados o pré-tratamento biológico, o pré-tratamento físico da matéria-prima, o pré-tratamento físico-químico, o pré-tratamento químico, a hidrólise ácida e a hidrólise enzimática.

tabela 14 resume os resultados obtidos nesse levantamento. Todos os entrevistados são quase que unânimes em reconhecer que as tecnologias representam boa oportunidade para o país e veem, preferencialmente, nos centros de pesquisas e universidades, as principais instituições responsáveis para o desenvolvimento das tecnologias. Um pouco menos consideram as empresas como sendo instituições críticas no desenvolvimento e, muito poucos, os fornecedores. Os resultados são muito semelhantes entre os grupos de tecnologias.

Tabela 14: Tecnologias de biocombustíveis, oportunidade para o Brasil e instituições críticas para o desenvolvimento da tecnologia

Tecnologia	Boa oportunidade para o Brasil?		Instituições críticas para o desenvolvimento da tecnologia				
	Sim	Não	Empresas	Fornece-dores	Universi-dades	Centros de Pesquisa	Outros*
Processos enzimáticos	9,5	1,5	6,0	2,5	8,0	9,5	0,0
Produtos derivados de etanol	7,6	1,9	6,3	2,4	6,0	7,3	0,0
2a geração	9,3	1,5	6,2	4,5	7,8	8,7	0,0

*Governo Federal e Governos Estaduais

Fonte: Questionário enviado a especialistas.

Os resultados obtidos a partir da tabulação dos questionários enviados a especialistas são corroborados pelas visitas realizadas ao longo do desenvolvimento do projeto. Em geral, as perspectivas de desenvolvimento tecnológicos no setor são muito promissoras, o país já dispõe de recursos humanos e infraestrutura de pesquisa para o desenvolvimento das tecnologias pesquisadas.

Dois aspectos levantados nas entrevistas e visitas, e que ainda limitam o desenvolvimento, são o pequeno aporte de recursos por parte de empresas e as dificuldades regulatórias, que impedem maior participação de pesquisadores universitários no desenvolvimento de projetos industriais.

As grandes empresas do setor, associadas ao agronegócio, dão maior ênfase às melhorias tecnológicas focadas na agricultura, e menos na etapa industrial. Alguns entrevistados mencionam a ausência de tradição das usinas em investir no desenvolvimento de novos processos e produtos e a ênfase na comercialização de *commodities* com baixíssimo valor agregado em nível industrial, exportando

frequentemente produtos sem qualquer transformação. Nota-se uma dependência de pesquisas fora das empresas para o desenvolvimento tecnológico, o que de todo não é ruim. No entanto, parte da pesquisa acadêmica não está diretamente vinculada a novos produtos e processos, destinando-se a atender as metas de publicação, com impacto restrito a academia, mas com pouca possibilidade de impactar o desenvolvimento industrial em um prazo relativamente curto ou, pelo menos, no médio prazo. O setor ainda carece de maior compartilhamento de ações entre as empresas e os centros de pesquisa, com objetivo de desenvolver um ciclo virtuoso de retroalimentação entre a geração de inovações e sua utilização na esfera produtiva. Mais do que em outras áreas a pesquisa em biotecnologia industrial exige mecanismos de retroalimentação para de fato ter poder de transformar-se em tecnologia com aplicação no mercado.

2.5. Análise do impacto das mudanças institucionais e tecnológicas sobre o setor no Brasil

2.5.1. Síntese das perspectivas tecnológicas e impactos sobre o setor

Como destacado várias matérias-primas são utilizadas para a produção do etanol com destaque para a cana-de-açúcar, o milho, o trigo etc. A grande perspectiva de aumento da demanda e o eventual conflito que o uso dessas matérias-primas possa ter entre a destinação para alimento ou energia tem levado a busca de outras fontes com destaque para a biomassa lignocelulósica que se encontra em diversos materiais e pode ser obtida em qualquer lugar do planeta.

O complexo lignocelulósico é o biopolímero mais abundante na Terra. Considera-se que a biomassa lignocelulósica compreende cerca de 50% da biomassa do mundo. Muitos materiais lignocelulósicos têm sido testados para a produção de etanol: i) restos vegetais (bagaço de cana, palha de milho, palha de trigo, palha de arroz, casca de arroz, palha de cevada, bagaço de sorgo doce, caroços de azeitona e celulose), ii) madeiras de lei (mogno, álamo, choupo), iii) madeira macia (pinus, pinheiro), iv) resíduos de celulose, papel de jornal, resíduos de papel de escritório, lamas papel reciclado), v) biomassa herbácea (feno de alfafa, gramíneas, capim-amarelo, bermuda costeira), e vi) resíduos sólidos urbanos (RSU).

As perspectivas de desenvolvimento tecnológicos no setor são promissoras, uma vez que o país dispõe infraestrutura de pesquisa em centros de pesquisas e universidades, muitos deles ligados ao setor e suas empresas, ainda que seja necessário um aprofundamento nessas relações; o parque de empresas de bens de capital para o setor também é relativamente desenvolvido, com algumas delas na fronteira tecnológica da produção industrial atual; há dotação de recursos naturais, clima e solo adequados ao desenvolvimento do etanol de 1ª e 2ª gerações. Fatores institucionais precisam ser aprimorados, com vistas a garantir a competitividade de longo prazo ao setor.

O principal fator limitante do etanol de 2ª geração ainda é o maior grau de complexidade inerente ao tratamento da matéria-prima. Isto está relacionado com a natureza e composição da biomassa lignocelulósico. Dois dos polímeros principais da biomassa devem ser decompostos em açúcares fermentáveis, a fim de ser convertida em etanol ou outros produtos valiosos. Mas este processo de degradação é complicado, altamente consumidor de energia e não completamente desenvolvido.

O desafio de processamento principal na produção de etanol a partir de biomassa lenhocelulósico é o pré-tratamento da matéria-prima. Para a fermentação de materiais lenhocelulósicos, a celulose deve ser degradada em glucose (sacarificação), utilizando ácidos (química) ou enzimas (biológico). No primeiro caso, os ácidos concentradas ou diluídos podem ser utilizadas. No entanto, a hidrólise da celulose é realizada atualmente usando enzimas microbianas celulolíticas. A hidrólise enzimática demonstrou melhores resultados para a fermentação subsequente porque não há formação de componentes de degradação da glucose, embora o processo seja mais lento.

A seleção da matéria-prima mais apropriada para a produção de etanol depende fortemente das condições locais. Evidentemente, os países norte-americanos e europeus têm baseado sua indústria de etanol nos materiais ricos em amido, devido às suas condições agroecológicas. Estas condições não são apropriadas para a cultura de cana de açúcar. A competitividade do etanol de cana brasileiro tem sido amplamente demonstrada, principalmente se a sua relação de energia de saída/entrada é considerada.

Materiais lignocelulósicos representam uma opção promissora como matéria-prima para produção de etanol. Para o caso dos EUA, a palha de milho é

considerada uma das matérias-primas mais promissora, devido à sua grande disponibilidade.

Certamente, uma detalhada avaliação econômica e ambiental dos impactos das diferentes matérias-primas diferentes é necessária, a fim de tomar decisões sobre as mais adequadas matérias-primas para produção de etanol em cada caso. Uma abordagem útil para a realização de tais avaliações é empregar ferramentas de simulação com base em dados realistas, obtidos a partir de instalações existentes, produção de etanol de plantas-piloto ou modelos matemáticos. Além disso, esta abordagem permite a análise de como diferentes configurações tecnológicas têm influência sobre os indicadores do processo global.

Do ponto de vista institucional, como já mencionado, citam-se o pequeno aporte de recursos por parte de empresas nas pesquisas e os entraves burocráticos que impedem maior participação de pesquisadores universitários no desenvolvimento de projetos industriais.

2.5.2. Síntese das restrições ao comércio e ao consumo e impactos sobre o setor

As dificuldades relacionadas ao comércio internacional permanecem como um dos maiores desafios da cadeia do etanol. Como já discutido ao longo do texto, para que o etanol se consolide surja como uma *commodity* global é necessário que sejam tomadas medidas no sentido de ampliar confiança no uso deste combustível. Em parte, essas medidas se relacionam ao i) desenvolvimento e fortalecimento de novos países produtores, possibilitando a diversificação da origem do etanol por países. Essa medida garantirá, pelo lado da oferta, fontes de suprimentos diversificadas à eventual demanda nascente. Tem ainda o benefício de diversificar os riscos ao longo do globo, reduzindo os efeitos de ciclos agropecuários de uma região específica sobre os preços; a redução de barreiras protecionistas; a criação de canais de distribuição mundiais; a padronização do produto.

Além das questões comerciais, restrições relacionadas à oferta também limitam o atendimento à potencial demanda internacional de etanol, necessária a implementação de ambiciosos programas de adição do combustível à gasolina. Nos Estados Unidos, como mencionado, o maior obstáculo à expansão da produção é a

necessidade de novas matérias-primas, sobretudo derivada de material celulósico, o que é algo ainda possível apenas no médio prazo.

No caso brasileiro, as restrições concentram-se na capacidade ou não do setor em atender a demanda potencial pelo combustível. A queda da produtividade em razão do aumento da idade média dos canaviais, que não foram renovados a contento, fez com que a produção andasse de lado nos dois últimos anos, e acendeu uma luz no setor sobre as fontes de sua competitividade.

2.5.3. Objetivos de médio e longo prazo desejáveis para o setor

Para que o Brasil mantenha a vanguarda tecnológica é imprescindível o aumento da produtividade e rentabilidade na produção de primeira geração; do desenvolvimento de processos rentáveis na segunda geração; do aprimoramento do motor flex; e do desenvolvimento de novos produtos, ligados ao setor do etanol.

Em se tratando do etanol de primeira geração, alguns ganhos de produtividade ainda podem ser obtidos, com o melhoramento genético dos cultivares, reduzindo custos de produção. A complexidade do material genético da cana é alegada como um entrave a esse caminho. Mas muito das pesquisas realizadas nos últimos anos, para o sequenciamento genético da cana, por exemplo, precisa ser aprofundado em termos de geração de produtos. Os centros de pesquisas brasileiros estão relativamente preparados para essa tarefa, tendo em vista todo o conhecimento acumulado ao longo do tempo nessa rota tecnológica.

A mecanização da colheita e transporte tende a gerar reduções de custos. O carregamento e o transporte podem ser considerados completamente mecanizados. A colheita passa por um ritmo acelerado de substituição do modo manual para o sistema mecanizado. No segmento industrial percebem-se sinais de transformação organizacional, estrutural e de adoção de inovações tecnológicas, com objetivos de redução de custos, o que se pode constatar pelas fusões e incorporações de usinas/destilarias, pelo investimento de capital estrangeiro, e mesmo nacional, na aquisição e instalação de unidades industriais no centro-sul do país, e pela diversificação da produção e lançamento de novos produtos. As recentes fusões e aquisições do setor concentram esforços na melhoria do canal de distribuição de produtos.

O maior potencial de redução nos custos de produção na tecnologia atual vem da melhoria do transporte de insumos, matéria-prima e produto final. As dificuldades logísticas generalizadas do país também atingem o setor. As características da matéria-prima limita o tamanho das usinas e o aproveitamento de ganhos de escala em plantas maiores. A mecanização da cana e o desenvolvimento de novos equipamentos, que eventualmente, permitam o tratamento da matéria prima antes de sua chegada à usina podem contribuir para a redução dos custos nessa etapa do processo produtivo.

Quanto ao escoamento da produção, a necessidade de transporte por estrada e caminhões reduz em muito os ganhos de produtividade da cana e seu impacto ambiental positivo. O escoamento em grandes distâncias requer a construção de dutos de distribuição que integrem os vários mercados, em diferentes regiões do país, e também os portos, para eventual escoamento da produção ao exterior. É paradigmática a iniciativa de constituição da Logum Logística S.A., responsável por consolidar, em uma única rede, três projetos individuais de etanoldutos, que envolvia, além de dutos, complexos sistemas de transporte por hidrovias, rodovias, cabotagem, além de operações em terminais aquaviários, portos e armazéns. O projeto da Logum está sendo financiado pelo BNDES, e faz parte do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento – promovido pelo Governo Federal.

Ainda com relação à tecnologia atual, um importante aspecto tecnológico do setor refere-se à cogeração de energia, feita a partir da queima do bagaço de cana. Em plantas maduras, a adaptação para a cogeração envolve a inversão de novos investimentos, nem sempre avaliados como rentáveis pelas empresas, seja pelo alto custo envolvido, seja por questões tributárias específicas (substituição tributária que impede o aproveitamento de créditos do ICMS). Questões tributárias não poderiam representar empecilho para esse aproveitamento, e, portanto, a sua rápida solução precisa ser equacionada. Já os custos de investimentos podem ser superados garantindo-se acesso às linhas de crédito disponíveis, sobretudo no BNDES. Institucionalmente, o governo pode contribuir com incentivos à mudança na estrutura organizacional de grupos com capacidade de financiamento insuficiente.

No que se refere ao etanol de segunda geração, os principais entraves ainda se referem aos elevados custos de produção na fase industrial. Nesse ponto, os americanos parecem apresentar vantagens sobre os brasileiros. Contribuem para

isso os pesados recursos direcionados à pesquisa e desenvolvimento nessa área, a implantação de plantas pilotos, em escala industrial, e mesmo o maior custo de produção de longo prazo associado ao etanol de milho. Se a adoção de uma nova tecnologia é viabilizada quando esta iguala o custo de produção da tecnologia atual, o fato de terem uma tecnologia atual mais cara, possibilitaria a eles vantagem na adoção de tecnologia substituta. Nesse caso, a manutenção da vanguarda tecnológica ao país teria que ser obtida com o subsídio a adoção da nova tecnologia nos estágios iniciais. Políticas específicas de incentivos fiscais poderiam ser desenhadas para patrocinar os investimentos de empresas privadas nesses projetos.

Um incentivo importante pode vir do aumento da competitividade do etanol frente à gasolina, o que poderia se dar pelo aprimoramento do motor flex. No atual estágio do desenvolvimento dos motores elétricos, a melhor opção tecnológica parece apontar para veículos híbridos – veículos com dois motores, operando complementarmente, um motor a combustível líquido e outro elétrico. Nessa situação, o etanol continua sendo uma opção importante, na medida em que é um combustível líquido competitivo, capaz de ser utilizado isoladamente, ou como aditivo à gasolina.

No que se refere ao desenvolvimento de novos produtos derivados do etanol, muitas são as perspectivas de desenvolvimento, assim como todas requerem investimentos na busca de viabilidade econômica dos novos produtos, bem como nas adaptações necessárias nas plantas atualmente existentes, para que tornem possível a fabricação. Existem perspectivas promissoras relacionadas ao querosene de aviação e ao diesel de cana. O mercado de cosméticos e artigos de higiene e cuidado pessoal, produtos de higiene doméstica e industrial e os mercados de polímeros e plásticos, sobretudo os biodegradáveis, são mercados potenciais para os produtos derivados de etanol no médio e longo prazos.

2.5.4. Políticas industriais, tecnológicas e ambientais para adaptação às mudanças climáticas

Entende-se que o aprofundamento da expansão do setor, em si, contribui beneficamente para a mitigação dos efeitos climáticos da matriz energética mundial,

tendo em vista a substituição no consumo (direta ou complementarmente) de combustíveis fósseis. Por essa razão, as iniciativas de proteção à produção do etanol são constantes nos países que optam pela sua produção. O grande valor estratégico representado pelo etanol nesses diversos mercados nacionais, e ao longo de toda sua cadeia de produção, envolto em interesses econômicos, energéticos e ambientais, contribuem para essa proteção. Aliado a isso, e na medida em que a cadência dos investimentos no setor e o comprometimento de autoridades governamentais se intensificam na direção de fortalecer a presença do etanol na matriz energética, amplia-se o número de estudos dedicados a avaliar a carga protecionista e seus desdobramentos nos diversos mercados, incrementando o arcabouço literário sobre o tema. No entanto, no Brasil, após um período de proteção, sob o argumento de indústria nascente, que garantiu o sucesso do Proalcool, foi a liberação associada à inovação tecnológica do carro flex quem contribuiu para o crescimento do setor.

Nos Estados Unidos, a indústria passou por um longo período de proteção, com pesados subsídios e barreiras tarifárias ao etanol de outros países. O fim dos subsídios ao etanol naquele país abre espaço para que outros produtores – e inclusive o Brasil – forneçam o combustível ao mercado norte-americano, o maior do mundo. Além da importância comercial dessas transações, elas ajudam na transformação do etanol em uma *commodity* internacional. Isso pode contribuir, em médio prazo, para que ocorra uma difusão global dos veículos flexíveis ou dos dedicados exclusivamente ao etanol.

Evidentemente, a queda da proteção no mercado americano ocorre em um momento muito peculiar, tendo em vista a queda na produtividade do produto no mercado brasileiro e a redução na produção de etanol. A situação ressuscitou nos Estados Unidos o debate sobre o conflito entre a produção de biocombustível e de comida.

No Brasil, o governo e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estão estudando aumentar a regulação do setor de etanol, passando a regular a produção e estabelecer metas. A intenção do governo é estender ao etanol o mesmo tratamento dado ao setor de petróleo, o qual a ANP acompanha desde a produção até a distribuição. A ANP estabelece metas de produção com os concessionários dos blocos de petróleo adquiridos nos leilões da

agência. A principal motivação para essa intervenção seria o alto nível de preço do etanol, devido à baixa disponibilidade do produto. Contratos de fornecimento de prazo compatíveis com a maturação dos investimentos podem ser desenhados pelo órgão regulador.

No que se refere ao marco regulatório da produção de cana, o governo brasileiro concluiu em 2009 o Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar (ZAE-Cana). Esse zoneamento é parte da política agrícola do governo, para a contratação de crédito de custeio e seguro agrícola. Ele fornece o potencial de terras aptas ao plantio da cultura, que se conjugado com as áreas atualmente sob plantio, fornece o potencial de expansão da cultura por regiões de interesse. O Zoneamento Agroecológico da cana limita o cultivo de cana-de-açúcar na Amazônia, Pantanal e Bacia do Alto Paraguai e mapeou o cultivo potencial em 64,7 milhões de hectares, ou 7,5% do território nacional. Tal medida deve ser valorizada pelo setor, pois demonstrará o compromisso ambiental do mesmo, na preservação de áreas consideradas estratégicas para a manutenção de florestas, rios e fauna.

No que se refere ao etanol de segunda geração, o *Biomass Program* nos EUA tem se mostrado mais eficaz no sentido de promover a formação de redes entre universidades, empresas e instituições que compartilham equipamentos e conhecimento, a fim de atender aos objetivos do programa estabelecidos nas chamadas. Esse desempenho deve-se, principalmente, à flexibilidade do programa com relação à origem dos integrantes da rede, o que permite ao país um maior conhecimento dos processos utilizados em outras nações, fundamental nesse momento, pois a descoberta e a aceleração do(s) processo(s) que permita(m) a fabricação do etanol celulósico em escala comercial podem significar o domínio tecnológico daquele país.

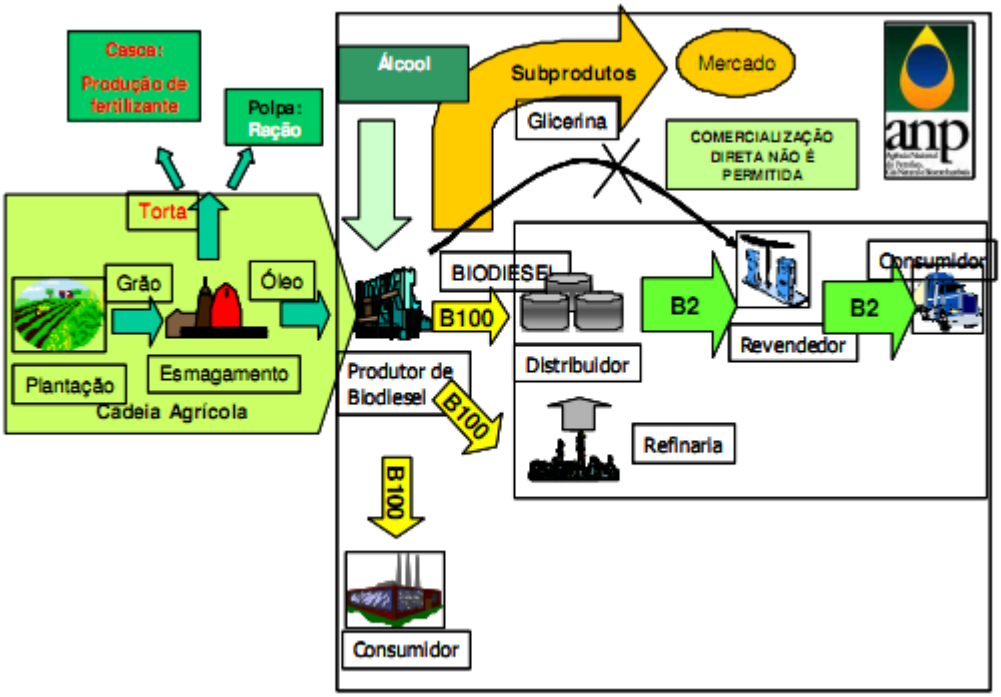
No Brasil, o Plano PAISS é uma tentativa de mitigar, em parte o atraso do Brasil em inovações no setor. Estimam-se recursos iniciais de R$ 1 bilhão, podendo alcançar R$ 2 bilhões. Além disso, os recursos somente serão comprometidos, independente do instrumento financeiro indicado, na medida em que houver a aprovação e posterior contratação dos projetos nos respectivos instrumentos de apoio. Foram selecionados 31 planos de negócios, sendo 13 para a linha 1, 17 para a linha 2 e apenas 1 na linha 3.

3. Biodiesel

3.1. Caracterização Setorial

O biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis e pode ser produzido a partir de gorduras animais, óleos e gorduras residuais ou de óleos vegetais (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, 2005). A Figura 10 mostra os principais elos desta cadeia, quais são: a produção do grão, a extração do óleo, a produção do biodiesel a partir do grão, a distribuição e a revenda ao consumidor.

O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal bruto, ou seja, sem grandes refinações. De uma maneira geral, faz-se a extração do óleo, seguida de procedimentos de separação por centrifugação e filtragem, resultando nos óleos vegetais brutos. Portanto, uma planta industrial de extração de óleo vegetal com os necessários controles de qualidade para purificação inicial do produto é suficiente para a produção do óleo (LEIRAS, 2006).



Fonte: Souza (2005) apud Leiras (2006)

Figura 10: Cadeia produtiva do Biodiesel

A extração do óleo vegetal pode ser feita por processo físico (prensagem) ou químico (por solvente). A extração por solvente produz resultados melhores, no entanto a maneira mais tradicional de extração é a física, que utiliza prensas mecânicas e hidráulicas para esmagar os grãos (LEIRAS, 2006).

Pode-se ainda optar por uma extração mista (mecânica/ solvente). A seleção do tipo de extração depende de dois fatores determinantes: a capacidade produtiva e o teor de óleo. O Quadro 1 abaixo mostra os cenários e os tipos de usinas de extração recomendáveis.

Quadro 1: Tipos de usinas recomendadas para extração de óleo.

Tipo de Usinas	Situações Recomendadas	Matérias-Primas Típicas
Usinas de extração Mecânica	- Pequenas e médias capacidades, normalmente abaixo de 200 ton de grãos/ dia. - Oleaginosas de alto teor de óleo, acima de 35%.	Mamona Amendoim Babaçu
Usinas de extração por solvente	-Grandes capacidades, normalmente acima de 300 ton/ dia de matéria-prima. - Oleaginosas com baixo teor de óleo, abaixo de 25%.	Soja
Usinas mistas	Médias e grandes capacidades, acima de 200 ton/dia. - Oleaginosas de médio e grande teor de óleo, acima de 25%.	Algodão Mamona Amendoim Babaçu Girassol

Fonte: Parente (2003) apud Leiras (2006).

Em 1898, Rudolph Diesel apresentou pela primeira vez o seu motor de ignição por compressão usando óleo de amendoim, que seria o biodiesel original. Diesel acreditava que o combustível feito de biomassa seria a alternativa viável para os motores que utilizavam vapor. No entanto, o uso direto de óleos vegetais como combustível foi rapidamente superado por fatores tanto econômicos quanto técnicos. Dessa forma, os motores diesel foram projetados e são fabricados de acordo com rígidas especificações para uso do óleo diesel de petróleo. Esses motores são sensíveis às gomas que se formam durante a combustão do óleo vegetal e que se depositam nas paredes do motor. Para superar este problema, processos de

esterificação são utilizados para que se produzam ésteres de óleo vegetal que têm propriedades físicas similares ao diesel de petróleo, mas que apresentam maior lubricidade.

Vários países começaram a incentivar o uso de biodiesel, por meio de programas mandatórios de adição do biodiesel ao diesel, para reduzir o potencial impacto ambiental do derivado de petróleo. Com isso tem-se verificado uma grande expansão da produção em nível mundial. As fontes de matérias-primas dependem do país e das características regionais. Pela possibilidade de ser produzido a partir de diversas fontes a sua produção pode se dar em praticamente todas as partes do planeta.

3.2. Quadro Internacional

3.2.1. Produção, consumo e comércio internacional

O mercado do biodiesel, juntamente com o do etanol, vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, em função das preocupações de vários países com o meio ambiente e a intenção de reduzir a dependência do petróleo importado. Ao longo dos últimos anos, vários países lançaram programas de incentivo à produção e consumo do biocombustível. Como nos principais países produtores de biodiesel a produção é suficiente apenas para cobrir a demanda interna, o comércio mundial do biocombustível é insignificante.

O principal mercado produtor e consumidor de biodiesel é a União Europeia, que vem fabricando o produto em larga escala desde 1992. Apesar da implementação do Programa do etanol, o biodiesel continua dominando a cena dos combustíveis alternativos na Europa. Em resposta aos incentivos por parte das instituições europeias (subsídios às plantações de produtos alimentícios em áreas até então não utilizadas e isenção de 90% dos impostos), muitos países europeus montaram suas usinas, com destaque para Alemanha, Espanha, França e Itália entre outros, o que vem contribuindo para a expansão da capacidade produtiva do biocombustível na região.

3.2.1.1. União Europeia

Na Europa, a maior capacidade produtora e consumidora de biodiesel está na Alemanha. Esse país é o maior produtor mundial do biocombustível, utilizando como principal matéria-prima a canola. Em 2010 foram produzidos 2,83 bilhões de litros, um aumento de 13% em relação a 2009 e de 242% em relação a 2003 quando foram produzidos 827 milhões. Para 2012, a perspectiva é de que a produção alemã fique em 2,6 bilhões de litros. A redução se deve à concorrência com biodiesel importado e a adoção do E10 (Flach, Lieberz, Bendz, e Bettina. 2011). O governo alemão concede subsídios de 47 euros para cada 100 litros de biodiesel (F. O. LICHT, 2005). A França, que até 2003 era o maior produtor mundial do biodiesel (lá chamado de diester) hoje ocupa a terceira colocação no mundo (segunda na Europa).

3.2.1.2. Estados Unidos

Os Estados Unidos ocupavam o quarto lugar na produção de biodiesel em 2004, com 113 milhões de litros, seguidos pela Dinamarca (80 milhões de litros), Áustria (65 milhões de litros) e Espanha (15 milhões de litros). Nos Estados Unidos, o interesse pela produção do biodiesel vem crescendo em decorrência de vários aspectos: das leis federais e estaduais que autorizam o uso do biodiesel como combustível ou aditivo na proporção de 20%, dos incentivos tarifários e creditícios concedidos pelo governo aos fabricantes do produto e da necessidade de dar vazão aos estoques extras de óleo de soja e milho em vários estados americanos.

3.2.2. Fatores críticos para a competitividade internacional

3.2.2.1. Fatores críticos relacionados à demanda

Do ponto de vista internacional, o grande problema enfrentado pelo biodiesel decorre de sua falta de competitividade frente ao óleo diesel de petróleo, tendo em vista os elevados custos de produção do biocombustível. Desconsiderando-se eventuais subsídios públicos, as atuais tecnologias de fabricação da bioenergia são

ainda imaturas, e dependem de preços elevados do petróleo para compensar os custos de produção.

3.2.2.2. Fatores críticos relacionados à oferta

Apesar da baixa produtividade, registram-se vários projetos de construção de usinas de processamento, o que tende a elevar sua produção nos próximos anos. Além disso, a diversidade de alternativas de matérias-primas, os elevados custos de produção do biocombustível, o ambiente de incertezas, sugerem dificuldades para a ocupação da capacidade instalada desses projetos, o que pode prejudicar o suprimento da demanda prevista para os próximos anos.

Nesse contexto, dentre os principais desafios a serem enfrentados está a necessidade de elevados investimentos em P&D, voltados para o desenvolvimento de tecnologias de produção agrícola, com a definição de plantas mais aptas, sistemas de produção eficientes e definição de regiões com potencial para a produção. Há, também, necessidade de investimentos em novas tecnologias industriais, que transformem os produtos agrícolas em biodiesel. Se essa questão tecnológica não for solucionada, a margem de lucro reduzida dos produtores, em função dos custos elevados de produção, pode desestimular a produção do biodiesel.

O custo maior de produção do biodiesel em relação aos derivados do petróleo exige, também, incentivo tributário. Na Alemanha, maior produtor mundial do biocombustível, a competitividade do produto em relação ao diesel de petróleo é baseada em incentivos fiscais. A introdução do E10 na Alemanha também servirá para reduzir a demanda por biodiesel nesse país (Flach, Lieberz, Bendz, e Dahlbacka, 2011).

3.2.2.3. Fatores críticos relacionados ao comércio

O comércio internacional de biodiesel deve continuar muito reduzido, tendo em vista os atuais níveis de produção dos países e as exigências locais, que acabam consumindo toda a produção doméstica, não gerando excedentes exportáveis.

3.2.3. Dinâmica tecnológica

Embora existam iniciativas baseadas em rotas distintas da transesterificação para a produção de combustíveis automotivos a partir de óleos vegetais, e considerável esforço tenha sido aplicado ao uso direto de misturas óleo vegetal e diesel mineral, tecnicamente não há dúvidas de que esse procedimento ainda é o que melhor combina eficiência de conversões, favoráveis a produções em larga escala e minimização de formação de subprodutos, desde que as matérias-primas empregadas mantenham um nível mínimo de qualidade.

A transesterificação ocorre em uma sequência de três sub-reações consecutivas e reversíveis, com di e monoglicerídeos como intermediários, e as proporções estequiométricas são três moles de álcool por mol de triglicerídeo, óleo vegetal. Entretanto, algum excesso de álcool é necessário para aumentar o rendimento da conversão e permitir a posterior separação dos ésteres do glicerol (Schuchardt, Sercheli, Vargas, 1998).

Após a obtenção e purificação do óleo vegetal a partir das sementes ou amêndoas, geralmente mediante operações de trituração, laminação, cozimento e extração do óleo bruto, pode ser efetuada sua conversão em biodiesel. De uma forma simplificada, as etapas típicas em um processo de transesterificação no presente estado de desenvolvimento, são:

i) Álcool e o catalisador são misturados em um tanque com um agitador;

ii) Óleo vegetal é colocado em um reator fechado contendo a mistura álcool/catalisador. O reator é usualmente aquecido à aproximadamente 70°C para aumentar a velocidade da reação, que leva entre 1 a 8 horas;

iii) Ao final da reação, quando se considera convertido um nível suficiente de óleo vegetal, os ésteres (biodiesel) e a glicerina são separados por gravidade, podendo ser adotadas centrífugas para agilizar o processo.

iv) O álcool em excesso é separado do biodiesel e da glicerina por evaporação sob baixa pressão (evaporação flash) ou por destilação. O álcool recuperado volta ao processo.

v) O biodiesel deve ser purificado e em alguns casos, lavado com água morna para remover resíduos de catalisador e sabões.

A transesterificação etílica é significativamente mais complexa que a metílica. O aumento do tamanho da cadeia do álcool acarreta uma maior sofisticação ao processo e parte dos parâmetros do processo deve ser revista. Entretanto, trabalhando-se as quantidades estequiométricas relativas entre catalisador, álcool e óleo não transesterificado, bem como com outras variáveis de processo como temperatura, agitação, tempo de reação, acredita-se ser possível atingir qualidade similar do produto obtido via rota metílica. Apesar de que maiores quantidades de reagentes e utilidades devam ser usadas e, portanto, com maiores quantidades de produtos a serem recuperados e efluentes a serem tratados. Devido ao caráter azeotrópico do etanol, o processo de recuperação de álcool é também mais complexo e dispendioso. A possibilidade de utilização de álcool etílico na produção de biodiesel é de alto interesse, não apenas por ser menos agressivo ambientalmente que o álcool metílico, como também considerando as condições particulares do Brasil, onde são produzidos volumes expressivos de etanol de um modo sustentável e a preços competitivos.

A transesterificação pode ser conduzida na presença de catalisadores ácidos, básicos e enzimáticos, simples ou complexos. O emprego de catalisadores ácidos, dentre os quais o ácido sulfúrico é o mais empregado, leva a cinética muita lenta de reação quando comparada ao uso de catalisadores básicos. Outro inconveniente do uso de catalisadores ácidos encontra-se na necessidade de sua remoção visando a prevenir possíveis danos às partes integrantes dos motores. A catálise básica por sua vez é muita rápida, geralmente em 15 minutos o estado assintótico é alcançado e leva a excelentes rendimentos, muitas vezes superior a 90%. Contudo, o emprego de catalisadores básicos apresenta como inconvenientes a grande sensibilidade à presença de água e ácidos graxos livres, que mesmo em teores bastante reduzidos afetam o rendimento da reação, consomem o catalisador e levam à formação de géis e sabões. Tais exigências dificultam a utilização de óleos usados de frituras, cujo teor de ácidos graxos normalmente ultrapassam o índice dois de acidez. Além disso, a separação do biodiesel do restante reacional é uma tarefa complexa e exige várias etapas de separação e neutralização, para atingir a especificação correta. Os separadores centrífugos para a separação da glicerina parecem ser os mais

recomendados. Um dos parâmetros mais importantes na especificação do biodiesel é exatamente o teor máximo de glicerina, de 0,5% na proposta brasileira, e de 0,25% nas normas americanas e europeias, que deve ser baixo para evitar a formação de depósitos na câmara de combustão, e a produção de teores elevados de acroleína nos gases de escapamento.

O emprego de enzimas como catalisadores oferece vantagens frente aos catalisadores ácidos e básicos, como a menor sensibilidade à presença de água, recuperação do catalisador e separação do biodiesel. No entanto, apresenta altos custos. Esta tecnologia vem sendo estudada no Brasil desde os anos 80.

Em 1984, obteve-se uma patente relativa ao uso de guanidinas suportadas por polímeros orgânicos. Contudo, encontra-se ainda em fase de desenvolvimento e é um objeto de intenso esforço de pesquisa, podendo em médio prazo constituir-se em uma alternativa interessante.

O Centro de Pesquisas da Petrobras dedica-se ao desenvolvimento de rota etílica para a produção de éster de óleo de mamona, diretamente, a partir de sementes trituradas. Os resultados ainda não estão disponíveis, embora uma patente já tenha sido obtida.

A matéria-prima utilizada afeta os requerimentos de processo, os rendimentos e a qualidade do biodiesel produzido. No estágio atual dos processos, o biodiesel originário de palmáceas apresenta uma qualidade superior àquelas das demais oleaginosas, devido à presença de maior teor de ácidos graxos de menor peso molecular e com alto nível de saturação, como o ácido palmítico.

3.3. Quadro nacional

3.3.1. Estrutura de mercado e concorrência

Os primeiros estudos para a implantação de política de incentivo à produção de biodiesel no Brasil iniciam-se por volta de 2003. No final de 2004 o lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com a definição de um arcabouço legal e regulatório, a edição de duas Leis e diversos atos normativos

infra-legais. O PNPB institucionalizou a base normativa para a produção e comercialização do biodiesel no País, envolvendo a definição do modelo tributário para este novo combustível e o desenvolvimento de mecanismos para inclusão da agricultura familiar, consubstanciado no Selo Combustível Social.

A gestão do PNPB é realizada pela Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB), coordenada pela Casa Civil da Presidência da República e também pelo Grupo Gestor, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Compete à Comissão Executiva Interministerial (CEIB) implementar e monitorar o programa, propor atos normativos, bem como analisar, avaliar e propor outras recomendações e ações, diretrizes e políticas públicas. Ao Grupo Gestor, compete a execução das ações relativas à gestão operacional e administrativa voltadas para o cumprimento das estratégias e diretrizes estabelecidas pela CEIB.

A mistura de biodiesel ao diesel fóssil teve início em dezembro de 2004, em caráter autorizativo. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Esse porcentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) sucessivamente até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.

Atualmente existem 65 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 17.862,95 m^3/dia. Destas 65 plantas, 60 possuem Autorização para Comercialização do biodiesel produzido, correspondendo a 17.105,25 m^3/dia de capacidade autorizada para comercialização. Há ainda 10 novas plantas de biodiesel autorizadas para construção e nove plantas de biodiesel autorizadas para ampliação de capacidade. Com a finalização das obras e posterior Autorização para Operação, a capacidade total autorizada poderá ser aumentada em 4.727,79 m^3/dia (ANP, Boletim Mensal de Biodiesel, setembro/2011).

Ainda há, atualmente, 15 solicitações de Autorização para Construção de novas plantas produtoras de biodiesel e nove solicitações de Autorização para Construção referentes à ampliações de capacidade de plantas já existentes. Tais solicitações se encontram em processo de análise na ANP.

No mês de setembro de 2011, foi outorgada uma Autorização para Operação referente à ampliação da planta da AMAZONBIO, possibilitando um aumento de 70 m3/d na capacidade total autorizada para operação. Neste mês foram canceladas as Autorizações para Operação e Comercialização das empresas BIOLIX – Indústria e Comércio de Combustíveis Vegetais Ltda. e B-100 Indústria e Comércio de Biodiesel Ltda.

Tabela 15: Capacidade nominal de biodiesel (B100), total e 10 maiores unidades – 2010

Unidade Produtora	Capacidade Nominal[3]	Participação
	m^3/ano	%
Total	5.837.929	100,0
Granol	556.678,80	9,5
Brasil Ecodiesel	518.400,00	8,9
Caramuru	450.000,00	7,7
Petrobras	434.462,40	7,4
Oleoplan	378.000,00	6,5
ADM	343.800,00	5,9
Biocapital	296.640,00	5,1
Bsbios	286.920,00	4,9
Agrenco	237.600,00	4,1
Olfar	216.000,00	3,7

Fonte: ANP, Boletim Anual, 2011.

O mercado de biodiesel no Brasil é pulverizado, existem diversos produtores e nenhum deles conseguiu, ao longo dos anos, obter um *market share* acima de 16%, com tendência decrescente ao longo dos anos. Todos devem produzir segundo as especificações da ANP, tornando, portanto, o biodiesel uma commodity no território nacional. O grande número de empresas e plantas fabricando o mesmo produto num regime de leilão faz com que esse mercado seja competitivo, impedindo que algum produtor consiga parcela significativa do mercado. Na tabela a seguir pode-se observar o *market share* das principais empresas do setor.

Tabela 16: *Market share* de biodiesel (B100), 10 maiores – 2009 e 2010

Unidade Produtora	Market Share (% produção)	
	2009	2010
Brasil Ecodiesel	9,7	9,9
Granol	15,4	8,2
Bsbios	6,8	7,4
Caramuru	7,4	6,6
Biocapital	5,1	6,4
Fiagril	5,5	5,4
JBS	5,2	5,0
Petrobras	7,5	5,0
Camera	0,0	4,6
Biopar	1,5	3,4

Fonte: ANP, Boletim Anual, 2010 e 2011.

A comercialização do biodiesel, no Brasil, é realizada por meio de leilões públicos, promovidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a partir de diretrizes específicas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Os Leilões de Biodiesel têm por objetivo conferir suporte econômico à cadeia produtiva do biodiesel e contribuir para o atendimento das diretrizes do PNPB, além de criar condições para a gradativa consolidação do setor até este que possa inserir-se em mercados mais livres, competitivos e com menor risco de comprometer os objetivos estabelecidos.

Nos Leilões de Biodiesel são conhecidos os volumes transacionados e seus respectivos fornecedores, assim como a condição de preço. Os leilões são organizados com vistas a facilitar o acesso de informações entre fornecedores, e não discriminam o porte do produtor de biodiesel. Eles também asseguram a participação da agricultura familiar. Pelo menos 80% do volume negociado nos leilões devem ser oriundos de produtores detentores do Selo Combustível Social. O Selo Combustível Social é um certificado concedido aos produtores de biodiesel que adquirem percentuais mínimos de matéria-prima de agricultores familiares; celebrem contratos com os agricultores familiares, estabelecendo prazos e condições de entrega da matéria-prima; e prestem assistência técnica aos agricultores. As empresas detentoras do Selo Combustível Social podem ter redução parcial ou total de tributos federais, conforme definido no modelo tributário aplicável ao biodiesel.

Essas empresas possuem acesso a melhores condições de financiamento, além de poderem concorrer a 80% do volume total negociado nos leilões de biodiesel.

3.3.2. Mercado interno

O biodiesel começou a ser produzido no Brasil em meados da década passada, a partir da promulgação da Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005, que estabelecia a adição do biodiesel ao diesel mineral consumido no país. O entendimento, por parte do governo federal, é que seria estratégico para o Brasil ingressar no mercado de biodiesel e reduzir a necessidade de divisas para importação de diesel. Ademais, também houve preocupação governamental de promover um combustível renovável fomentando o desenvolvimento regional, preferencialmente na agricultura familiar, com vista a reduzir as desigualdades sociais e gerar emprego e renda no campo.

Entre os anos de 2005 e 2007, a mistura de 2% (B2) no diesel comercializado foi autorizada de forma não compulsória (período voluntário). O período de obrigatoriedade começou em janeiro de 2008 com a mistura 2% (B2), tendo de passar a 5% até 2013. No segundo semestre de 2008, o governo elevou a mistura para 3% (B3), e no segundo semestre de 2009 para 4% (B4). Embora inicialmente a mistura a 5% (B5) estivesse prevista para vigorar somente em 2013, durante o ano de 2009 esse prazo foi revisto, antecipando a meta de B5 a partir de janeiro de 2010.

Para organizar esse novo mercado obrigatório e fiscalizar a qualidade do biodiesel produzido, o governo atribuiu essa responsabilidade à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Uma das principais incumbências da ANP é realizar periodicamente os leilões de compra e venda de biodiesel. Esses leilões foram formatados para o período não obrigatório entre 2005 e 2007, mas, para preservar a participação da agricultura familiar no fornecimento de matérias-primas, o governo preferiu manter a sistemática de compra por meio de leilões no período obrigatório, em detrimento de negociação direta entre produtores e distribuidores ou refinarias, tal como ocorre no mercado de etanol.

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversos tipos de óleos vegetais (soja, canola, girassol, mamona, pinhão-manso, algodão, dendê, etc.) ou de gordura

animal. Por exemplo, em setembro de 2009, no Brasil, o óleo de soja representava cerca de 75% da matéria-prima utilizada para produzir biodiesel, seguido por 16% de gordura bovina e 6% de algodão.

Tabela 17: Participação das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil, em porcentagem

Mês	Óleo de soja	Gordura bovina	Óleo de algodão	Óleo de fritura usado	Gordura de frango	Gordura de porco	Óleo de palma	Óleo de amendoim	Óleo de girassol	Óleo de mamona	Óleo de sésamo	Outros materiais graxos
out/08	78,5	16,1	2,54									2,86
nov/08	82,17	10,7	3,54									3,49
dez/08	78,4	16,44	2,44									2,68
jan/09	71,16	24,54	3,25									1,05
fev/09	73,68	19,25	4,96									2,11
mar/09	85,37	10,94	1,59									2,1
abr/09	76,37	19,36	2,04									2,33
mai/09	81,33	16,11	2,56									0
jun/09	81,1	14,03	2,97									1,9
jul/09	78,7	14,62	4,11									2,57
ago/09	83,29	10,33	2,6									3,78
set/09	74,88	16,27	6,16									2,69
out/09	77,35	15,48	4,29									2,88
nov/09	75,04	17,79	5,1									2,07
dez/09	71,9	19,44	5,64	0,08	0		0,33	0,32	0,04	0,05	0	2,19
jan/10	77,13	17,07	4,62	0,16	0,01		0,6		0,02	0	0,11	0,28
fev/10	82,94	12,12	2,39	0,12			0,28					2,15
mar/10	85,58	11,17	1,51	0,24	0,03	0,03						1,43
abr/10	83,87	13,51	0,49	0,17	0,05	0,09	0,42	0,09				1,31
mai/10	83,84	14,35	0,32	0,19	0,11		0,23	0,11				0,85

Fonte: ANP; Elaboração: MAPA/SPAE.

O óleo de soja é consequência da demanda por farelo protéico, a matéria-prima da ração animal que alimenta o frango, o porco e o gado confinado, cuja demanda é crescente em decorrência do aumento da população e da renda, principalmente dos países emergentes. A razão por que a soja responde pela maior parcela do óleo vegetal brasileiro tem outras causas, além das indicadas acima:

- A soja tem uma cadeia produtiva bem estruturada, tanto antes quanto depois da porteira;

- Dentro da porteira, a soja conta com tecnologias de produção bem definidas e modernas;

-Existe uma ampla rede de pesquisa que assegura pronta solução de qualquer novo problema que possa aparecer na cultura;

- É um cultivo tradicional e adaptado para produzir com igual eficiência em todo o território nacional;

-Oferece rápido retorno do investimento: ciclo de 4 a 5 meses;

- É dos produtos mais fáceis para vender, porque são poucos os produtores mundiais (EUA, Brasil, Argentina, China, Índia e Paraguai), pouquíssimos os exportadores (EUA, Brasil, Argentina e Paraguai), mas muitíssimos os compradores (todos os países), resultando em garantia de comercialização a preços sempre compensadores;

- A soja pode ser armazenada por longos períodos, aguardando a melhor oportunidade para comercialização;

- O biodiesel feito com óleo de soja não apresenta qualquer restrição para consumo em climas quentes ou frios, embora sua instabilidade oxidativa e seu alto índice de iodo inibam sua comercialização na Europa;

- É um dos óleos mais baratos: só é mais caro do que o óleo de algodão e da gordura animal;

- Seu óleo pode ser utilizado tanto para o consumo humano, quanto para produzir biodiesel ou para usos na indústria química e;

- A soja produz o farelo protéico mais utilizado na formulação de rações para animais produtores de carne: responde por 69% e 94% do farelo consumido em nível mundial e em nível nacional, respectivamente.

a) Dendê

O dendê, apesar de constituir-se na oleaginosa com o maior potencial de produção de óleo/ha (até 10 vezes mais do que a soja), de usufruir de incentivos fiscais para estimular a sua produção e de contar com uma área potencial de cultivo de, aproximadamente, 70 milhões de hectares, sua área plantada não deslancha. Está estabilizada em cerca de 60 mil hectares e não deverá mover-se significativamente, a menos que parte dos entraves indicados seguidamente, sejam removidos:

i) Alto custo de implantação da lavoura;

ii) Longa maturação do investimento: 4 a 6 anos de espera;

iii) A usina precisa estar próxima da produção, pois a matéria-prima bruta tem pouco valor comercial, acarretando altos custos de transporte para percorrer longas distâncias. Portanto, só é racional estabelecer uma plantação de dendê próximo a uma indústria já estabelecida ou a estabelecer-se;

iv) O processamento precisa ser efetuado logo após a colheita (até 48 horas), caso contrário o óleo se rancifica;

v) O local mais apropriado para produzir dendê é no ecossistema amazônico, onde o sistema fundiário é caótico, a infraestrutura é deficiente, a legislação ambiental é restritiva e o mercado consumidor está distante;

vi) O biodiesel feito com óleo de dendê solidifica no frio do Sul, restringindo sua utilização a regiões de clima tropical;

vii) A colheita é manual e a mão de obra amazônica é escassa e sem qualificação;

viii) A pesquisa é escassa e os problemas agronômicos são abundantes e;

ix) O resíduo tem baixo valor comercial.

b) Mamona

Com a mamona não é diferente. Sua vantagem de possuir um teor de óleo elevado - quase três vezes maior que o da soja - desaparece ante as seguintes desvantagens:

i) A cadeia produtiva é deficiente (está ainda em formação);

ii) A produtividade na sua principal região produtora (NE) é baixa (300 a 500 kg/ha);

iii) O custo de produção é alto, considerando a necessidade de uso intensivo de mão de obra na colheita;

iv) A mão de obra é escassa, mesmo em estabelecimentos familiares;

v) O óleo de mamona não é comestível, é mais caro que o de soja e tem limitações para produzir biodiesel, dadas as suas características de elevada densidade e viscosidade, embora esta característica seja uma importante qualidade na indústria química, por seu alto poder lubrificante;

vi) A cultura da mamona promove a erosão, estando sujeito à competição com plantas daninhas , por não propiciar adequada cobertura do solo;

vii) O fruto da mamona tem baixa densidade, incrementando seu custo de transporte, quando a indústria processadora não estiver próxima;

viii) Conta com pouca pesquisa, resultando na inexistência de variedades produtivas;

ix) Falta uma estrutura de produção de sementes, obrigando o produtor a utilizar-se de grãos sem qualidade;

x) A torta resultante da extração do óleo de mamona é tóxica, não sendo aproveitada para alimentação animal, assim como não pode ser aproveitada a sua parte aérea para o mesmo fim;

xi) Seu ciclo produtivo é relativamente longo, resultando em retorno tardio do investimento e

xii) Embora seja considerada planta rústica por sua capacidade de produzir (pouco) em condições de pouca chuva, ela não tolera solo compactado e prefere solos férteis.

Mesmo que seja racional acreditar na redução da dependência da soja como principal matéria-prima do biodiesel brasileiro, a soja continuará sendo o carro chefe do biodiesel por muitos anos ainda, se é que algum dia ela será superada por outra planta produtora de óleo vegetal.

3.3.3. Competitividade internacional

O biodiesel ganha impulso na esteira da consciência ambiental da sociedade global, alertada para os efeitos deletérios das mudanças climáticas globais. Este movimento é amplificado pela iminência do esgotamento das reservas ainda neste século e pelos conflitos derivados da disputa pela posse das últimas reservas.

Para alguns, os maiores problemas relacionados à produção de biodiesel no Brasil reside na opção do governo de estimular a participação da agricultura familiar no programa. Os mesmos têm dificuldade em cumprir compromissos de produção, por estarem dispersos e desorganizados. A exigência do selo social seria, então, um

dos causadores de distorções do mercado de biodiesel (Mattei, 2010). O selo prevê acordos de comercialização entre agricultores familiares que garantam uma renda justa e sustentável a esses produtores, capacitação e assistência técnica (Cesar e Batalha, 2011).

O selo tem duração de cinco anos contados a partir de 1º de janeiro do ano subsequente à sua concessão. Para obtê-lo, a empresa deve adquirir um percentual mínimo de matéria-prima de agricultores familiares. Essa parcela é estipulada pelo MDA e pode ser diferenciada de acordo a região do país onde a empresa está instalada. O selo traz vantagens de ordem tributária, permite o acesso da empresa aos leilões da Agência Nacional do Petróleo (ANP), favorece a obtenção de melhores condições de financiamento junto a bancos públicos e serve como instrumento de marketing positivo para as empresas.

Já os leilões, que operam sob responsabilidade da ANP, foram criados para estimular o mercado de biodiesel antes do início da obrigatoriedade do B2 (Cesar e Batalha, 2011). Outra prioridade das compras públicas via leilões é fomentar a integração entre o produtor de biodiesel e os produtores familiares, tendo em vista que o acesso à maioria desses leilões é facultado somente a empresas que possuem o selo social. Entretanto, sua principal função atual é garantir a compra do biodiesel necessário para que as metas do PNPB sejam atendidas.

O conjunto de medidas adotado pelo governo objetivava fazer o programa ganhar credibilidade e capilaridade em todo o país. No entanto, a realidade atual evidencia alguns descompassos cruciais.

O grande desafio para o setor de biodiesel brasileiro é o de se desassociar da cadeia produtiva da soja. O setor, no curto e médio prazo, deveria buscar uma matéria-prima que fosse mais produtiva em termos de litro de biodiesel equivalente por hectare, e que não fosse utilizada diretamente como alimento. No entanto, os possíveis insumos alternativos não se mostraram economicamente viáveis e as razões concentram-se na ausência de cadeias estruturadas, tecnologias de produção disponíveis e definidas, rede de pesquisa em variedades e implementos, custos competitivos na implantação da lavoura, logística de transporte e distribuição, estrutura fundiária adequada, mão de obra adequada e capacidade.

Mesmo que seja racional acreditar na redução da dependência da soja como principal matéria-prima do biodiesel brasileiro, a soja continuará sendo o carro chefe do biodiesel por muitos anos ainda, se é que algum dia ela será superada por outra planta produtora de óleo vegetal.

O mercado internacional de biodiesel não é um mercado concorrencial puro, com formação de preços livre e transparente. Ao contrário, é um mercado derivado de políticas públicas mandatórias, que criam uma reserva de mercado para as misturas com óleo diesel. Neste caso, o preço de venda do biodiesel deixa de seguir os preços do petróleo. Porém, mesmo com uma concorrência parcial, existem as disputas de preço entre os produtores de biodiesel. Por exemplo, para exportar biodiesel para a Europa, o Brasil precisa mirar no preço do biodiesel de canola, produzido naquele continente, e não no preço do petróleo em Roterdã.

A viabilidade do biodiesel hoje em dia só se sustenta com as políticas mandatórias e diferenciação tributárias em relação ao diesel. A continuidade de tais políticas por algum tempo ainda é condição necessária para o amadurecimento dessa indústria. A necessidade de especificações padronizações internacionais também introduz dificuldades adicionais ao comércio internacional do produto brasileiro. Eventuais mecanismos que favoreçam créditos no mercado de carbono poderiam contribuir para a viabilidade econômica do produto. Existe disposição na sociedade em conferir suporte quase integral às políticas de incentivo ao uso de biocombustíveis. Entretanto, a expansão da área de agricultura de energia em regiões de pouca disponibilidade de área (Europa, EUA, Sudeste Asiático) pode levar à redução da área de alimentos e, em consequência, ao aumento de seu preço, dilemas que a sociedade terá que tratar nos próximos anos.

3.3.4. Perfil tecnológico

A Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP é a entidade que abrigou o Pólo Nacional de Biocombustíveis no Brasil, que tinha a função de analisar os sistemas de produção de variedades que podem ser usadas na fabricação de combustíveis renováveis, como o biodiesel. (Paulillo et al., 2007). O Polo teve vida curta e em 2009 foi descontinuado.

Atualmente, a Embrapa coordena a Rede Biodiesel, que tem por objetivos o desenvolvimento de tecnologias para a produção de mamona, girassol, canola e dendê; aproveitamento de coprodutos da produção de biodiesel; otimização de processos para a obtenção de biocombustíveis; desenvolvimento de protótipo comercial para produção de biocombustível; competitividade das cadeias produtivas de oleaginosas para a produção de biodiesel.

Entre os estudos agronômicos do projeto, ressalta-se o desenvolvimento de novas variedades de oleaginosas, de novas formas de plantio, de adubação e de controle de pragas. Entre os aspectos industriais, está a eliminação de substâncias tóxicas da torta da mamona para uso na ração animal e a purificação e uso da glicerina, que é resultante do processo de fabricação do biodiesel. Novos equipamentos, rotas e catalisadores para a produção de biodiesel também estão sendo estudados. A rede de pesquisa é nacional, constituída por 15 Centros de Pesquisa da Embrapa, nove Universidades, cinco institutos e uma empresa privada, envolvendo 155 pesquisadores.

Os resultados contribuirão para que o Brasil se torne um importante produtor mundial de biodiesel e para produtores de diversas oleaginosas, como o girassol, a soja, a canola, a mamona e o dendê, possam participar desse mercado. Busca-se também desenvolver tecnologias para aproveitar os resíduos da produção de biodiesel, de forma a agregar mais ganhos, e desenvolver novas rotas industriais de produção de biodiesel.

3.4. Mudanças Climáticas, Institucionais e Tecnológicas

3.4.1. Impactos ambientais

As principais preocupações ambientais levantadas com relação à expansão da produção de biodiesel, semelhante a aspectos do etanol, referem-se aos riscos de deslocamento de culturas para regiões de florestas, uso de áreas de proteção ambiental (nascentes, margens de rios, topos de montanha etc.), entre outros aspectos.

Também no caso do biodiesel, sua expansão tem se dado como uma resposta a uma preocupação ambiental decorrente do aquecimento global. O uso de

biodiesel gera um volume de emissões de gases efeito estufa inferior aos derivados de petróleo. Mas, pode-se alegar que para sua produção utilizam-se derivados de petróleo e energia fóssil.

Existem poucos trabalhos que tenham se ocupado do balanço energético em culturas oleaginosas de fins energéticos. As discussões têm se baseado entre correntes que defendem haver um balanço favorável, balanço neutro e mesmo aquelas que apregoam um balanço desfavorável.

De outro lado é importante destacar vantagem do ponto de vista da produção agrícola, pois é um processo carbono neutro, ou seja, sua obtenção e queima não contribui para o aumento de CO2 na atmosfera, zerando assim o balanço de massa entre emissão de gases dos veículos e sua absorção pelas plantas. Além disso, para os sistemas produtivos agrícolas e particularmente aqueles específicos da agricultura familiar, a internalização desse insumo energético, em substituição ao diesel mineral de custo elevado, pode melhorar o balanço energético agrícola.

Cumpre destacar que são escassos os estudos de balanço energético e de carbono de toda a cadeia de biodiesel para as diversas matérias primas, contemplando as fases de processamento e distribuição, fazendo-se necessárias mais pesquisas não apenas para avaliação dos impactos ambientais da inserção de oleaginosas na matriz energética brasileira, mas também para fins de reivindicação de créditos de carbono, se for o caso.

Mendonça (2007) realiza um estudo de ciclo de vida e balanço energético do diesel produzido a partir do óleo de soja, em condições brasileiras. Para a autora, o balanço para o biocombustível conta fortemente com a oscilação de três variáveis críticas, que tem impacto decisivo sobre os resultados, em diferentes estudos, para diferentes culturas e em condições distintas: i) a energia utilizada na produção da matéria orgânica (energia solar e energia química de conversão) da planta propriamente dita, que depende de insumos químicos (fertilizantes, pesticidas e herbicidas) e de energia para o maquinário de transporte e cultivo; ii) a conversão do óleo vegetal em biodiesel é um processo de alto consumo energético no ciclo e que envolve o uso de diferentes tipos de produtos contendo energia equivalente acumulada, como, por exemplo, o etanol utilizado na transesterificação; finalmente, iii) os resíduos agrícolas, que também influenciam o balanço energético.

A tabela 18 resume os resultados obtidos. No ciclo de produção do biodiesel a partir de soja, em qualquer porcentagem de mistura com o diesel, resulta em um processo de absorção de carbono pelo meio, como ocorre nos ciclos de vida de vegetais em geral. O ciclo de carbono na produção de combustíveis à partir de óleos vegetais consiste no retorno e absorção do dióxido de carbono (CO2), pois os processos de combustão e respiração balanceiam o dióxido de carbono na plantação com a absorção na fotossíntese, o que foi tratado, no estudo de Mendonça (2007) como material eliminado pelo ciclo retornando ao meio como carbono equivalente à composição celulósica dos resíduos vegetais e à participação na fórmula molecular dos materiais consumidos. O acúmulo na atmosfera é reduzido e o tempo de ciclo do carbono, para fixação de CO2 e substituição posterior na combustão de biodiesel, é pequeno (poucos anos) quando comparado ao carbono para óleos oriundos do petróleo (alguns milhões de anos). Nesse caso, o clico do biodiesel de soja absorveu mais carbono que toda a produção: para cada 1 tonelada de biodiesel produzido e utilizado, o meio absorve 1,124 toneladas de CO2 equivalente. Não há saldo positivo na utilização de óleo diesel puro, 1 tonelada de óleo diesel produzido e queimado libera 3,55 kg de CO2 equivalente.

Tabela 18: Balanço energético da queima de biodiesel de óleo de soja

	Entrada de energia (MJ)	Saída de energia (MJ)	Balanço (MJ)	Entrada de CO_2 (kg eq.)	Saída de CO_2 (kg eq.)	Balanço de CO_2 (kg eq.)
Produção de insumos agrícola	0,0	3356,8	**3356,8**	12,3	0,0	**-12,3**
Produção de Herbicida	0,0	2978,6	2978,6	11,3	0,0	**-11,3**
Produção de Pesticida	0,0	370,8	370,8	0,9	0,0	**-0,9**
Produção de Fertilizante	0,0	7,4	7,4	0,0	0,0	**0,0**
Produção de energia elétrica	0,0	44455,0	**44455,0**	112,7	0,0	**-112,7**
Etapa agrícola	595471,2	834376,8	**238905,6**	21670,0	44,1	**-21625,9**
Pulverização	380,2	0,0	-380,2	0,0	6,5	**6,5**
Preparo do solo	2665,4	266,5	-2398,8	0,0	0,0	**0,0**
Plantio da soja	1209,4	245301,5	244092,0	21670,0	6,7	**-21663,3**
Trato cultural	245936,9	245359,7	-577,2	0,0	0,0	**0,0**
Colheita da soja	245537,6	245296,0	-241,6	0,0	4,1	**4,1**
Transporte de grãos	50652,6	49076,6	-1576,1	0,0	26,8	**26,8**
Armazenagem	49089,1	49076,6	-12,6	0,0	0,0	**0,0**
Resíduos	235359,2	0,0	**-235359**	0,0	21652,7	**21652,7**
Resíduos vegetais	235023,6	0,0	-235024	0,0	21533,8	**21533,8**
Resíduos químicos	335,7	0,0	-335,7	0,0	118,9	**118,9**
Extração do óleo vegetal	51385,5	76297,3	**24911,9**	0,0	0,0	**0,0**
Transesterificação	84808,7	45751,7	**-39057,0**	1881,7	222,7	**-1659,0**
Produção de etanol	0,5	4081,0	4080,5	1881,7	71,1	-1810,6
Conversão do óleo em biodiesel	82937,5	41670,7	-41266,9	0,0	0,0	0,0
Destino da Glicerina	1707,6	0,0	-1707,6	0,0	139,4	139,4
Etanol recuperado	163,1	0,0	-163,1	0,0	12,1	12,1
Queima do B100	34289,7	0,0	**-34289,7**	0,0	584,0	**584,0**
Transportes	2918,7	0,0	**-2918,7**	0,0	49,7	**49,7**
Transporte de etanol	833,9	0,0	-833,9	0,0	14,2	14,2
Transporte de biodiesel	833,9	0,0	-833,9	0,0	14,2	14,2
Transporte de Bxx	833,9	0,0	-833,9	0,0	14,2	14,2
Transporte de combustível para a fazenda	417,0	0,0	-417,0	0,0	7,1	7,1
TOTAL	**1004233,0**	**1004237,6**	**4,6**	**23676,7**	**22553,2**	**-1123,4**

Extraído de: Mendonça (2007)

Outra questão ambiental importante é o grande volume de glicerina previsto como subproduto, equivalente a entre 5 e 10% do produto bruto, que poderá não ter colocação, mesmo se negociado a preço irrisório, além de ter efeito poluente significativo. O receio existente é que a glicerina, com alto potencial poluidor, seja descartada no meio ambiente. Em contato com rios e lagos ela se comporta como sabão, mas por ser insolúvel se precipita na água e dificulta a oxigenação.

Outro problema relacionado à glicerina é a qualidade do óleo. O processo de transesterificação, que separa o óleo da glicerina, deve obedecer a parâmetros de qualidade, pois a queima de biodiesel com a presença de glicerina tem importantes impactos ambientais. Por exemplo, quando óleos vegetais, gorduras animais e óleos com baixo índice de transesterificação são aquecidos acima de 280 °C, a queima da glicerina provoca a produção da acroleína, um composto altamente tóxico e cancerígeno.

Estudos visando ao uso racional da glicerina, do ponto de vista econômico e ambiental, vêm sendo desenvolvidos em todo o mundo, podendo-se citar pesquisas que visam seu aproveitamento como suplemento para ração animal, produção de compostos químicos (plásticos, etanol, anticongelantes, éter) e até mesmo energia, pela queima direta ou pela produção de biogás.

3.4.2. Mudanças climáticas e regulação

O papel do Estado regulador, no caso do biodiesel, tem se mostrado muito mais importante que no caso do etanol. Em certa medida, é inevitável a comparação entre o estágio atual do biodiesel e os primórdios do programa Proálcool, na década de setenta. No entanto, o papel do estado regulador é mais forte. O Programa Nacional de Produção de Biodiesel - PNPB, ao propor a introdução deste biocombustível na matriz energética brasileira como substituto parcial do óleo diesel, embasou-se em três vertentes indissociáveis: econômica, ambiental e social.

Na esfera econômica, o biodiesel deveria diminuir a dependência brasileira nas importações de óleo diesel, criar mercado nacional para a indústria da agroenergia, gerar renda, propiciar investimentos e remunerar o empreendedor. No âmbito social, a renda gerada precisava ser redistribuída, fortalecendo-se a agricultura familiar e incentivando-se a produção (agrícola e industrial) nas regiões

brasileiras de baixo índice de desenvolvimento econômico-social. Na questão ambiental, a aposta versava sobre as perspectivas de redução das externalidades negativas oriundas das emissões veiculares (poluentes e CO2) da combustão nos motores de veículos ciclo diesel de transporte de cargas e coletivo de pessoas.

Na prática, contudo, o programa do biodiesel, face à complexidade relacionada à diversidade de alternativas de matérias primas para sua produção, a questões de uso de solo, à competição com a indústria de alimentos, aos elevados custos produtivos, à frágil logística de suprimento e ao risco de restringir a agricultura familiar a regiões marginais, está requerendo atuação firme do Estado para que os benefícios originais do PNPB, revertidos em externalidades positivas para o consumidor e a sociedade como um todo, não sejam debitados por externalidades negativas geradas pela falta de planejamento estratégico e por ações desordenadas do poder público.

O Estado regulador do biodiesel, com competências constitucionais e atribuições legais para a regulação do mercado onde se insere este biocombustível, tem como papel estrito a proteção do consumidor quanto à qualidade, ao preço e à garantia de suprimento das misturas diesel/biodiesel.

Contudo, a abrangência do biodiesel, como fomentador econômico, social e ambiental, obriga o Estado a ir além de seu importante papel regulatório, remetendo-o à missão mais ampla de formulador de políticas públicas, não se limitando à proteção do consumidor de misturas quanto à qualidade, preço e oferta, mas aumentando o bem-estar geral da sociedade, haja vista o potencial do biodiesel como gerador de riquezas, distribuidor de rendas e protetor do meio ambiente.

O biodiesel, sob a abordagem da sustentabilidade (convergência do foco econômico, social e ambiental) é estratégico para o País. Nesta perspectiva, o papel do Estado apenas regulador, que por determinação legal se restringe às especificações de produto e fiscalização do abastecimento nacional em relação a preços e oferta, mostra-se insuficiente para a consolidação do biodiesel na matriz energética brasileira. Faz-se necessário, também, que o Estado desempenhe seu papel de formulador de políticas públicas de amparo ao biocombustível.

As características do território brasileiro oferecem potenciais vantagens competitivas para tornar o País líder mundial em agroenergia. A experiência

adquirida ao longo de décadas com o etanol da cana-de-açúcar precisa ser aproveitada na formulação de políticas públicas para o biodiesel, não apenas para transpor os obstáculos econômicos e ambientais, mas também para efetivamente materializar as promessas de conquistas sociais inseridas no PNPB.

O biodiesel, como programa nacional, se sujeita às diretrizes do CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), órgão consultivo governamental responsável pela sustentabilidade (econômica, social e ambiental) do biocombustível na matriz energética brasileira. A complexidade que permeia o ciclo de vida do biodiesel coloca desafios maiores a este biocombustível se comparado ao etanol, pois envolve múltiplas opções de matérias-primas, custos produtivos ainda elevados, tecnologia produtiva pouco avançada, logística de suprimento deficiente, suspeitas de conflito com a indústria alimentícia, possibilidades de uso indevido de solos e carência de apoio concreto à agricultura familiar.

O Estado, na formulação de políticas públicas para o biodiesel, deve se aprofundar na análise de seu ciclo de vida - da fase agrícola, passando pela industrial, até alcançar o consumidor final -, visando estratégias de médio e longo prazo, com ações factíveis de curto prazo, voltadas para temas como planejamento agrícola, zoneamento agrário, desenvolvimento tecnológico, incentivos tributários, concessão de crédito e planejamento logístico para todas as etapas do ciclo de vida do biocombustível.

As externalidades (positivas) do biodiesel também se propõem a combater algumas externalidades (negativas) típicas do setor de transportes, como as emissões poluentes e de dióxido de carbono (CO2) geradas pelos motores de combustão interna da frota de veículos ciclo diesel de transporte de cargas e coletivo de pessoas.

O biodiesel tem a capacidade de reduzir as emissões poluentes veiculares, principalmente aquelas provenientes de material particulado e compostos de enxofre, com benefícios concretos na qualidade do ar nos grandes centros urbanos. Em médio e longo prazo, o biodiesel, como biocombustível de fonte renovável em substituição parcial de combustível fóssil não renovável, pode contribuir na mitigação do aquecimento global, pois tem a capacidade de absorver parte substancial das emissões de CO2 geradas pelo setor de transportes.

3.4.3. Mudanças climáticas e mudança tecnológica

O desenvolvimento da produção de biodiesel e sua utilização como complemento e substituto marginal aos derivados de petróleo, também têm impacto positivo sobre a mudança climática. Os aspectos tecnológicos relacionados à produção do biodiesel passam pela busca de novos métodos e produtos que aumentem a eficiência econômica do produto.

No Brasil, o governo vem incentivando a pesquisa em novas matérias-primas, substitutas ao óleo de soja. Em especial, a Petrobras Combustível vem trabalhando no desenvolvimento de produtos subprodutos do processo produtivo de biodiesel dessas matérias-primas alternativas, com vistas a aumentar a possibilidade de receitas na produção. São exemplos de subprodutos pesquisados:

- torta de mamona: a torta de mamona é um dos produtos resultantes da extração do óleo de mamona. É utilizada como importante fertilizante orgânico em culturas como café, pimenta, cana-de-açúcar, hortaliças, entre outras. Além de ser uma excelente fonte de Nitrogênio, possui importante atividade nematicida, podendo ser usado no controle de nematóides fito parasitas. A Petrobras Biocombustível é hoje a maior produtora de Torta de Mamona do Brasil.

- farelo de girassol: o farelo de girassol é um dos produtos resultantes da extração do óleo de girassol. Excelente fonte de proteínas e de micronutrientes, o farelo de girassol é muito utilizado na formulação de rações para bovinos, ovinos, caprinos e suínos. Também é utilizado na avicultura.

- óleo de girassol: extraído das sementes do girassol, o óleo de girassol tem grande valor nutricional e larga utilização na alimentação humana.

- óleo de mamona n° 1: extraído dos grãos da mamona, o óleo de mamona tem grande importância para a indústria, devido às suas características únicas, onde é aplicado em diversos segmentos, tais como: alimentício, farmacêutico, tintas e vernizes, borrachas entre outros. A Petrobras Biocombustível é hoje a maior produtora de Óleo de Mamona do Brasil.

- ácido graxo: o ácido graxo é matéria-prima básica para vários processos industriais: indústria de alimentos, tintas, plásticos, fertilizantes, agroquímicos e cosméticos.

O desenvolvimento de produtos complementares ao biodiesel, como aditivos e óleos industriais, também pode contribuir para viabilizar economicamente determinados segmentos nesse mercado. Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de desenvolver tais produtos (INPI, 2008).

3.5. Análise do impacto das mudanças institucionais e tecnológicas sobre o setor no Brasil

3.5.1. Síntese das perspectivas tecnológicas e impactos sobre o setor

A Rede Biodiesel, coordenada pela Embrapa, tem por objetivo é o desenvolvimento de tecnologias para a produção de mamona, girassol, canola e dendê; aproveitamento de coprodutos da produção de biodiesel; otimização de processos para a obtenção de biodiesel; desenvolvimento de protótipo comercial para produção do biocombustível; competitividade das cadeias produtivas de oleaginosas para a produção de biodiesel.

Nesse contexto, busca-se o desenvolvimento de novas variedades de oleaginosas, de novas formas de plantio, de adubação e de controle de pragas, condição necessária para viabilizar o biodiesel no longo prazo. Entre os aspectos industriais, busca-se eliminação de substâncias tóxicas da torta da mamona para viabilizar seu uso como ração animal e a purificação e uso da glicerina, que é resultante do processo de fabricação do biodiesel. Novos equipamentos, rotas e catalisadores para a produção de biodiesel também estão sendo estudados. Os resultados podem contribuir para que o Brasil se torne um importante produtor mundial de biodiesel e para que produtores de diversas oleaginosas, como o girassol, a soja, a canola, a mamona e o dendê, possam participar desse mercado. Busca-se também desenvolver tecnologias para aproveitar os resíduos da produção de biodiesel, de forma a agregar mais ganhos, e desenvolver novas rotas industriais de produção de biodiesel.

3.5.2. Síntese das restrições ao comércio e ao consumo e impactos sobre o setor

No plano internacional, o biodiesel ainda não se consolidou como um combustível alternativo, como ocorre com o etanol, por conta, principalmente de sua falta de competitividade frente ao óleo diesel de petróleo, tendo em vista os elevados custos de produção do biocombustível. Nesse sentido, apenas com mandatos obrigatórios e alguma forma de subsídio, a produção do combustível se mantém. No caso brasileiro, as economias de escopo do complexo soja viabilizam subsídios marginais ao biodiesel, inviabilizando, por outro lado, culturas alternativas de maior produtividade de óleo por hectare, como a mamona ou a palma (dendê), mas com custos de produção proibitivos, atualmente.

Desconsiderando-se eventuais subsídios públicos, as atuais tecnologias de fabricação da bioenergia são ainda imaturas, e dependem de preços elevados do petróleo para compensar os custos de produção. Apesar da baixa produtividade, registram-se vários projetos de construção de usinas de processamento, o que tende a elevar sua produção nos próximos anos.

Os principais desafios a serem enfrentados para a expansão do biodiesel incluem a necessidade de elevados investimentos em P&D, voltados para o desenvolvimento de tecnologias de produção agrícola, com a definição de plantas mais aptas, sistemas de produção eficientes e definição de regiões com potencial para a produção. Há, também, necessidade de investimentos em novas tecnologias industriais, que transformem os produtos agrícolas em biodiesel. Se essa questão tecnológica não for solucionada, a margem de lucro reduzida dos produtores, em função dos custos elevados de produção, pode desestimular a produção do biodiesel, no longo prazo.

O custo maior de produção do biodiesel em relação aos derivados do petróleo exige, também, incentivo tributário. Na Alemanha, maior produtor mundial do biocombustível, a competitividade do produto em relação ao diesel de petróleo é baseada em incentivos fiscais. A introdução do E10 na Alemanha também servirá para reduzir a demanda por biodiesel nesse país.

O comércio internacional de biodiesel deve continuar muito reduzido, tendo em vista os atuais níveis de produção dos países e as exigências locais, que

acabam consumindo toda a produção doméstica, não gerando excedentes exportáveis.

3.5.3. Objetivos de médio e longo prazo desejáveis para o setor

O programa de biodiesel brasileiro foi, desde o início, concebido como um programa de inclusão social, destinado a fomentar a agricultura familiar. A criação do selo social teve por objetivo garantir que os projetos de grande porte se associassem a projetos de pequeno portes, para atender aos objetivos sociais do programa. Por esse motivo, algumas vezes a manutenção do selo social é apontada como entrave ao desenvolvimento da indústria do biodiesel no Brasil, pois os ganhos de produtividade necessários para o pleno desenvolvimento dessa indústria podem ser limitados por essa opção institucional.

No entanto, entende-se que o mecanismo do selo social pode ser aprimorado com aumento nos requisitos de participação de produtos de pequenos produtores. Com isso, a produção de biodiesel não se aterá ao escoamento da produção dos excedentes de óleo da indústria de soja.

Por outro lado, os ganhos de eficiência desejados para essa indústria, no longo prazo, virão, necessariamente, de pesquisa e desenvolvimento em novas matérias-primas para a produção do biodiesel.

Os leilões promovidos pela ANP garantem o biodiesel necessário para que as metas do PNPB sejam atendidas. Mas limitam sua expansão para além da cadeia produtiva da soja. Uma parcela, a princípio marginal, nos leilões poderia ser destinada a biodiesel de outras fontes, assegurando algum mercado inicial para essas matérias-primas alternativas.

No plano internacional, como já mencionado, o mercado internacional de biodiesel não é um mercado concorrencial puro, com formação de preços livre e transparente. Ao contrário, é um mercado derivado de políticas públicas mandatórias, que criam uma reserva de mercado para as misturas com óleo diesel. Neste caso, o preço de venda do biodiesel deixa de seguir os preços do petróleo. Porém, mesmo com uma concorrência parcial, existem as disputas de preço entre os produtores de biodiesel. Por exemplo, para exportar biodiesel para a Europa, o

Brasil precisa mirar no preço do biodiesel de canola, produzido naquele continente, e não no preço do petróleo em Roterdã.

A viabilidade do biodiesel hoje em dia só se sustenta com as políticas mandatórias e diferenciação tributárias em relação ao diesel. A continuidade de tais políticas por algum tempo ainda é condição necessária para o amadurecimento dessa indústria. A necessidade de especificações padronizações internacionais também introduz dificuldades adicionais ao comércio internacional do produto brasileiro. Eventuais mecanismos que favoreçam créditos no mercado de carbono poderiam contribuir para a viabilidade econômica do produto. Existe disposição na sociedade em conferir suporte quase integral às políticas de incentivo ao uso de biocombustíveis. Entretanto, a expansão da área de agricultura de energia em regiões de pouca disponibilidade de área (Europa, EUA, Sudeste Asiático) pode levar à redução da área de alimentos e, em consequência, ao aumento de seu preço, dilemas que a sociedade terá que tratar nos próximos anos.

Finalmente, no que se refere à logística, a viabilização de alternativas econômicas e ambientalmente melhores para o escoamento da produção precisa ser planejada. A construção de rede de dutos, por exemplo, para escoamento do óleo precisa ser viabilizada. Possivelmente, a demanda atual não comporte dutos exclusivos, assim o planejamento de polidutos, que combinem o escoamento de etanol, ou mesmo grãos, poderia ser uma alternativa logística ao biodiesel.

O biodiesel é estratégico para o País, caso este deseje fixar uma imagem de economia que produz soluções ambientalmente sustentáveis. O Estado tem o papel de ser o agente articulador dos agentes, na medida em que sinalize claramente a opção pelo biodiesel. Ações no sentido de apoiar a pesquisa e o desenvolvimento é fundamental. O Estado, na formulação de políticas públicas para o biodiesel, deve se aprofundar na análise de seu ciclo de vida visando estratégias de médio e longo prazo, com ações factíveis de curto prazo, voltadas para temas como planejamento agrícola, zoneamento agrário, desenvolvimento tecnológico, incentivos tributários, concessão de crédito e planejamento logístico para todas as etapas do ciclo de vida do biocombustível.

4. Considerações Finais

Em termos gerais, as mudanças decorrentes da adoção de políticas e regulações em direção a uma economia de baixo a carbono tendem mais a beneficiar que a prejudicar o setor produtor de biocombustíveis. Isso porque, seja como substituto, ou, o que é mais provável, como complementares aos combustíveis fósseis, que devem continuar predominantes no médio prazo, os biocombustíveis ainda são a alternativa menos custosa de combustível renovável.

O Brasil se destaca no contexto da produção de biocombustíveis em razão do seu bem sucedido programa de produção de etanol a partir de cana de açúcar. Esse programa, em mais de quarenta anos, possibilitou a criação de um grande número de centros de pesquisa, produtores rurais, empresas processadora e rede de distribuição, com vista a gerar e distribuir combustíveis e aditivos à gasolina, a partir do etanol. Os sucessivos ganhos de produtividade, ao longo dos anos, na indústria produtora de etanol, atesta o sucesso de longo prazo na estratégia adotada pelo país.

A alternativa de produção escolhida foi favorecida em grande parte pelas condições ambientais e geográficas do país, bem como pelo domínio da cultura da matéria prima. Com mais de quatrocentos anos de manejo da cana, terra em condições e clima adequados, foi possível o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de espécies adaptadas a diferentes condições de clima e solo. Evidentemente que tais aprimoramentos não seriam possíveis sem a existência de redes de pesquisa ligadas a centros de pesquisa e usinas, que conseguiram, ao longo do tempo, realizar o melhoramento genético da cana e, consequentemente, aumentar sua produtividade.

Por tudo isso, o biocombustível obtido a partir da cana representa, e continuará representando, uma grande oportunidade para o país.

No entanto, algumas ponderações devem ser feitas com relação à manutenção da vanguarda tecnológica do país na área. Como bem mostrou a recente estratégia de produção de etanol americana, a suposta supremacia

brasileira na área foi rapidamente cedida a eles[23]. A favor deles, deve-se reconhecer o emprego de matéria prima com muito maior teor de açúcar por tonelada produzida, o que, consequentemente, implica em maior teor de etanol por tonelada de matéria prima. A favor da cana ainda conta a maior produção de tonelada por hectare plantado. Mas, um possível aumento na produtividade do milho (aumento no número de grãos por espiga, ou ainda, no número de espigas por pés de milho) poderá minimizar as vantagens da cana, ainda no curto prazo.

Também pesa a favor da produção da matéria prima americana a possibilidade de produção de etanol em plantas de maior porte, em razão da possibilidade de armazenamento de transporte do milho em mais longas distâncias que a cana. Isso possibilita que uma usina americana de porte médio produza o dobro ou mais de álcool que uma indústria nacional. Se o futuro dos biocombustíveis, sobretudo do etanol, for baseado em uma indústria multi-produto – uma biorrefinaria, por exemplo – o maior porte das usinas americanas conferirão vantagens àquele país, em razão dos potenciais ganhos de escala.

Os desafios para a produção do etanol de primeira geração no Brasil concentram-se na necessidade de ganhos de produtividade, que podem vir do melhoramento genético dos cultivares; da mecanização da colheita e transporte; da melhoria organizacional das empresas do setor; da adoção de inovações de processo de gestão; da melhoria do transporte de insumos, matéria-prima e produto final.

No que se refere às inovações tecnológicas no setor, as perspectivas de desenvolvimento tecnológicos do setor são promissoras. O país dispõe de infraestrutura de pesquisa em universidades e centros de pesquisa, muitos deles ligados ao setor e suas empresas. A produção de bens de capital para o setor é relativamente desenvolvida. Existem recursos naturais, clima e solo adequados ao desenvolvimento do etanol de 2ª geração.

O maior risco reside no fato de que o resto do mundo e, mais uma vez, os Estados Unidos, estão investindo pesadamente no desenvolvimento tecnológico do

---

[23] Não se discute que essa ultrapassagem foi conseguida também por conta de pesados subsídios que deixaram de existir recentemente. Mas, não se deve deixar de reconhecer o esforço internacional, e particularmente dos Estados Unidos, em buscar a liderança tecnológica na área.

etanol de 2ª geração, o que aumentará de maneira significativa a produtividade da bioindústria daquele país. Em termos econômicos puros, os americanos têm a vantagem na adoção da tecnologia de 2ª geração atualmente disponível[24]. Nesse caso, para que o Brasil mantenha-se n fronteira tecnológica, é preciso compensar as desvantagens econômicas puras com políticas específicas de incentivos, no sentido de patrocinar os investimentos de empresas privadas nesses projetos.

Nesse sentido, entende-se que é necessário o aprofundamento das relações entre os agentes existentes (centros de pesquisa, produtores e distribuidores), com vista a adoção do etanol de 2 geração a partir de biomassa da cana do etanol produzido pela 1ª geração. O papel do governo seria o de sinalizar adequadamente nessa direção, eventualmente criando linhas de financiamento específicas atreladas a resultados de médio e longo prazo para empresas e centros de pesquisa. Eventualmente, alguns instrumentos jurídicos que permitam a execução dessa estratégia terão que ser redefinidos ou mesmo criados.

No que se refere ao comercio internacional, entende-se que o país deve manter sua postura de defesa dos biocombustíveis como produtos a serem produzidos e adotados por todos os países. As estratégias que vêm sendo seguidas, pelos vários países, é a de adotar políticas de adição de etanol à gasolina, atrelada à produção de etanol local. Entende-se que esse é o primeiro passo para o desenvolvimento de um mercado internacional da *commodity* etanol[25]. Nesse quesito, as questões logísticas e de distribuição do produto, limitarão a capacidade de atuação do país, no caso desse mercado se viabilizar rapidamente.

Com relação ao biodiesel, entende-se que o país perdeu a oportunidade de estar na vanguarda tecnológica da produção desse biocombustível, por não ter apostado, no passado, em sua produção. Tal defasagem tecnológica, no entanto,

---

[24] Como já destacado, aliado aos pesados recursos direcionados à pesquisa e desenvolvimento do etanol de 2ª geração, o maior custo de produção de longo prazo associado ao etanol de primeira geração, partir do milho, também contribui para a adoção mais rápida da tecnologia de 2ª geração. Se a adoção de uma nova tecnologia é viabilizada quando esta iguala o custo de produção da tecnologia atual, o fato de terem uma tecnologia atual mais cara, possibilitaria a eles vantagem na adoção de tecnologia substituta.

[25] Os aspectos de padronização do produto, como já foram discutidos ao longo do texto, serão essenciais para a criação desse mercado. Entende-se que o país, representado pelos produtores de etanol e o governo têm papel importante no sentido de pautar as especificações de produto, em grande parte pela sua experiência nessa área.

não o distancia muito do que ocorre, atualmente, em outros países. Diferente do etanol, que é empregado como aditivo à gasolina e tem custo de produção menor que esta, o biodiesel é mais caro que o diesel, ao qual é empregado como aditivo. Por essa razão, nos vários países, apenas a existência de mandatos obrigatórios e alguma forma de subsídio à produção é que viabiliza o produto.

No caso da produção de biodiesel brasileiro, busca-se o desenvolvimento de novas variedades de oleaginosas, de novas formas de plantio, de adubação e de controle de pragas, o que é necessário para a viabilidade de sua produção no longo prazo. Em termos estratégicos, o biodiesel brasileiro precisa se desvincular da indústria da soja, obtendo uma matéria prima que gere maior quantidade de óleo por hectare e que possibilite a construção de plantas de maior porte. No exterior, a palma é o principal produto empregado na produção do biodiesel, mas sua adaptabilidade às condições de solo e clima do país ainda não são as adequadas. Também existem restrições ao emprego, em larga escala, de outras culturas como a mamona e o girassol. Novos equipamentos, rotas e catalisadores para a produção de biodiesel também precisam ser desenvolvidos.

Desconsiderando-se eventuais subsídios públicos, as atuais tecnologias de fabricação da bioenergia são ainda imaturas, e dependem de preços elevados do petróleo para compensar os custos de produção. Por essa razão, o comércio internacional de biodiesel deve continuar muito reduzido.

O programa de biodiesel brasileiro foi, desde o início, concebido como um programa de inclusão social, destinado a fomentar a agricultura familiar, e não se vê razão para que não continue a ser. Entende-se que o mecanismo do selo social pode ser aprimorado, aumentando os requisitos de participação de produtos de pequenos produtores. Os ganhos de eficiência desejados para essa indústria, no longo prazo, deverão vir, necessariamente, de pesquisa e desenvolvimento em novas matérias-primas para a produção do biodiesel.

Em linhas gerais, a vantagem brasileira na produção de biocombustíveis, sobretudo o etanol, não está assegurada para o futuro próximo, mesmo no contexto de adoções de políticas de baixo carbono pelos vários países e desenvolvimento do produto como *commodity* internacional. Ainda que o setor possa ser considerado limpo, no sentido do seu balanço de emissões energéticas, isso por si só, não é argumento para assegurar o crescimento e desenvolvimento dessa indústria.

Governo e representantes do setor produtor de biocombustíveis têm o desafio de articular as ações necessárias, em quesitos como tecnologia, logística, processos de gestão, tributação e, principalmente, questões institucionais, com vista de assegurar o país na fronteira tecnológica do setor.

5. Referências

Acevedo, A., Godoy, R., Bolaños, G., **Increase in ethanol production during fermentation of molasses using the enzymatic complex Rhyzozyme**. In: XXII Congreso Colombiano de Ingeniería Química, Bucaramanga, Colombia (in Spanish). 2003.

Andreoli, C.; Souza, S. P. Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol: texto para discussão. **Economia & Energia**, ano X, n. 59, p. 27-33, 2006.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Boletim Mensal de Biodiesel, setembro/2011.

Bai F.W.; Chen L.J.; Anderson, W.A.; M. Moo-Young. Parameter oscillations in a very high gravity medium continuous ethanol fermentation and their attenuation on a multistage packed column bioreactor system. **Biotechnology and Bioengineering**, 88 (5), 2004, pp. 558–566.

Bastos, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007.

Berndes, G; Azar, C.; Kåberger,T.;Abrahamson, D. The feasibility of large-scale lignocellulose-based bioenergy production. **Biomass and Bioenergy**, 20, 2001, pp. 371–383.

BNDES; CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento. Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

Bothast, R.J.; Schlicher, M.A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 67, 2005, pp. 19–25.

Buainain, A.M.; Batalha, M.O. (org.) Cadeia produtiva da agroenergia, vol. 3, Ministério da Agricultura, Pecuária e Pesca. Brasília, jan. 2007.

Cardona, C.A.; Sánchz, Ó.J. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. **Bioresource Technology**, 98, 2007, pp. 2415–2457.

Castro, Nivaldo J. de; Dantas, Guilherme de A. Fusões e aquisições no setor suco energético e a importância da escala de geração. Texto de Discussão do Setor Elétrico. Rio de Janeiro. 2009.

Cesar, A. S.; Batalha, M. O. Análise Dos Direcionadores De Competitividade Sobre A Cadeia Produtiva De Biodiesel: O Caso Da Mamona. **Produção**, 21 (03), 2011, pp. 484-497.

CGEE. "Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo". Relatório final, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos CGEE-Naipe/Unicamp, dezembro de 2005.

CGEE. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.

CGEE. Química verde no Brasil: 2010-2030. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

Chagas, A. L. S.; Tonto-Jr., R.;Azzoni, C. R. Teremos que trocar energia por comida? Análise do impacto da expansão da produção de cana-de-açúcar sobre o preço da terra e dos alimentos. **Economia** (Brasília), 9, 2008, p. 39-61.

Chandrakant , P; Bisaria, V.S. Simultaneous bioconversion of cellulose and hemicellulose to ethanol. **Critical Reviews in Biotechnology**, 18 (4),1998, pp. 295–331

CTC, Centro de Tecnologia Canavieira. Site oficial: http://www.ctcanavieira.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=81

Elnashaie, S.S.E.H, Garhyan, P., 2005. **Chaotic fermentation of ethanol**. Patent US2005170483.

Elobeid, A.; Tokgoz, S.. Removing Distortions in the U. S. Ethanol Market: What Does It Imply for the United States and Brazil? **American Journal of Agricultural Economics**, v.90, n.4, pp. 918-932, Nov. 2008.

EMBRAPA. Rede Biodiesel. Site Oficial: http://www.cnpf.embrapa.br/agroenergia/pages/dynamicpages.php?pageno=1&geral_id=88.

Ergun, M., Mutlu, S.F.; Gürel, Ö. Improved ethanol production by Saccharomyces cerevisiae with EDTA, ferrocyanide and zeolite X addition to sugar beet molasses. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, 68, 1997, pp. 147–150.

F.O. LICHT. World Ethanol & Biofuels Report. Várias edições. 2005.

Fallon, J. K. **Global biofuels will struggle to match ambitious objectives**. Disponível em http://www.ogj.com/articles/print/vol-110/issue-4/processing/global-biofuels-will.html. Acessado em abril/2012.

FAO. **Global cassava market study**. Business opportunities for the use of cassava. Proceedings of the Validation Forum on the Global Cassava Development Strategy, vol. 6. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2004.

FIESP/CIESP. Ampliação da oferta de energia através da biomassa. <Disponível em: http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/relatorio_dma.pdf>. Acessado em 16/01/2012.

Flach, Bob; Lieberz, Sabine; Bendz, Karin e Dahlbacka, Bettina. **GAIN Report EU Annual 2011.** USDA Foreign Agricultural Services, June 2011.

Furtado, A. T. ; Cortez, L. A. B.; Scandiffio, M. I. G. **O sistema de inovação da agroindústria canavieira brasileira**. VII ESOCITE, 2008.

Hoffmann, R. Segurança alimentar e produção de etanol no Brasil. Segurança Alimentar e Nutricional, n. 13, 2006, p. 1-5.

Hojo, O.; Hokka, C.O.; Souto Maior, A.M. Ethanol production by a flocculant yeast strain in a CSTR type fermentor with cell recycling. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 77–79, 1999, pp. 535–545.

IAC – Instituto Agronômico. Site oficial: http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/cana/centrocana.php?pg=historicocana.

INPI. Mapeamento tecnológico do biodiesel e tecnologias correlatas sob o enfoque dos pedidos de patentes. Volume I – Mundo. Maio de 2008.

João, I. S.; Porto, G. S., Galina, S. V. R. A posição do Brasil na corrida pelo etanol celulósico: mensuração por indicadores C&T e programas de P&D. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas (SP), 11 (1), pp.105-136, janeiro/junho 2012

Kosaric, N.; Velikonja J. Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities. **FEMS Microbiology Reviews**, 16, 1995, pp. 111–142.

Kosaric, N.; Velikonja, J. Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities. FEMS Microbiology Reviews, 16, 1995, pp. 111–142.

Laluce C.; Souza, C.S.; Abud, C.L.; Gattas, E.A.L.; Walker, G.M. Continuous ethanol production in a nonconventional five-stage system operating with yeast cell recycling at elevated temperatures. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, 29, 2002, pp. 140–144.

Lee, J. Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol**. Journal of Biotechnology**, 56, 1997, pp. 1–24

Leiras, A. **A Cadeia Produtiva do Biodiesel**: uma avaliação econômica para o caso da Bahia. Dissertação de Mestrado. PUC-RJ, 2006.

Lin , Y.;Tanaka, S. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 69, 2006, pp. 627–642.

Lynd, L.R. Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, Economics, the Environment, and Policy. **Annual Review of Energy and the Environment**, 21, 1996, pp. 403–465.

Macedo, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil. **Biomass and Bionergy**, Oxford, v. 14, pp. 77-81, 1998.

Macedo, I. C.; Seabra, J. E. A.; Silva, E. A. R. Greenhouse gas emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and prediction for 2020.**Biomass and Bionergy**, Oxford, v. 32, pp. 582-595, 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Agroecológico da Cana-

de-açúcar. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009. Disponível em : <http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_cana_de_acucar /ZonCana.pdf>.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; SAPCANA - Sistema de Acompanhamento de Produção Canavieira, 2011. Disponível em: < http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/SAPCANA.html>.

Mattei, L. F. Programa Nacional para produção e uso do biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. **BNB. Documentos Técnicos Científicos**. 41 (04), 2010.

Maye, J.P., 2006. Use of hop acids in fuel ethanol production. Patent US2006263484

Mello, F. O. T. **As metamorfoses da rede de poder agroindustrial sucroalcooleira paulista: da regulação estatal para a desregulamentação**. São Carlos: UFSCar, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. 175 p.

Mendes e Costa, Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras. BNDES Setorial 31, p. 253-280, mar. 2010.

Mendonça, R. M. L. Avaliação de ciclo de vida do carbono na queima de biodiesel à base de óleo de soja. Universidade de Brasília (Dissertação de Mestrado). 2007.

Milaré, È. Direito do Ambiente: doutrina, jurisprudência e glossário. 3.ed. atual. e ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004. p. 1032.

Narendranath, N.V., Thomas, K.C., Ingledew, W.M., 2000. Use of urea hydrogen peroxide in fuel alcohol production. Patent CA2300807.

Nassar, A. M (coord). Benchmark of cane-derived renewable jet fuel against major sustainability standards. ICONE. Jul/2012.

Neves, M.F.; Conejero, M. A. Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica. **Economia Aplicada** , 11 (4), 2007, pp. 587-604.

Nyko, D. et al. Determinantes do baixo aproveitamento do potencial elétrico do setor sucroenergético: uma pesquisa de campo. BNDES Setorial, 33, pp. 421-476, 2011.

Oliveira, M. D. Sugarcane and ethanol production and carbondioxide balances. In; Pimentel, D. (Ed.) **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems**. New York: Springer, 2008.

Oliveira, M. D.; Vaughan, B. E.; Rykiel-Jr., E. J. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances and ecological footprint. **BioScience**, Washington, v. 55, pp. 593-602, 2005.

Patzek, T.W.; Anti, S.-M.; Campos R.; Ha, K.W.: Lee, J.;Li, B.; Padnick, J.; Yee, S.-A. YeeEthanol from corn: Clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets? **Environment, Development and Sustainability**, 7, 2005, pp. 319–336.

Paulillo, L. F.; Mello, F. O. T.; Vian, C. E. F. **Análise da competitividade das cadeias de agroenergia no Brasil**. In: Buainain, A. M.; Batalha, M. O. (Coord.). Análise da competitividade das cadeias agroindustriais brasileiras. São Carlos: DEP-UFSCAR/IE-UNICAMP, fev. 2006. 119 p. (Projeto MAPA/IICA).

Paulillo, L. F.; Vian, C. E. F.; Shikida, P. F. A; Mello, F. T. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis?. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 45 (3), 2007, pp. 531-565.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil**: fechamento da safra 2010/2011. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2011. 141 p. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

Pimentel D.; Patzek, T. Ethanol production: energy and economic issues related to U.S. and Brazilian sugarcane. In; Pimentel, D. (Ed.) **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems**. New York: Springer, 2008.

Pimentel D.Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are negative. **Natural Resources Research**, 12 (2), 2003, pp. 127–134.

RENEWABLE FUELS AGENCY. The gallagher review of the indirect effects of biofuels production. London: Renewable Fuels Agency, 2008.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Accelerating industry innovation – 2012 industry outlook**. 2012. Disponível em < http://www.ethanolrfa.org>.

RIDESA, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Site oficial: http://www.ridesa.com.br/?pagina=historico

Sabbag, B. K.. O protocolo de Quioto e seus créditos de carbono: manual jurídico brasileiro de mecanismo de desenvolvimento limpo. São Paulo: LTr, 2008. p.30.

Sánchez, O.J.; Cardona, C.A. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. **Bioresource Technology**, 99(13), 2008, pp. 5270-5295.

Scaramuzzo, M. Estrangeiros avançam nos canaviais. **Valor Econômico**. São Paulo, Ano 10, n. 2290, p. B12, 30/06/200.

Scarlat, N. and Dallemand, J.-F. Recent developments of biofuels/bioenergy sustainability certification: A global overview. **Energy Policy**. Vol. 39 (3), 2011, pp. 1630-1646.

Schuchardt, U.; Sercheli, R.; Vargas,R. M. Transesterification of Vegetable Oils: a Review**, Journal of Brazilian Chemistry Society**,.9 (1), 1998.

Scott, R. R. e Junyang, Jiang. **GAIN Report India Biofuels Annual 2011**. USDA Foreign Agricultural Services, July 2011.

Shapouri, H.; Duffield, J.A.; Wang, M. The energy balance of corn ethanol revisited. **Transactions of the ASAE**, 46 (4), 2003, pp. 959–968.

Soares, L. H. B; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. **Embrapa**, Circular Técnica 27. Seopédica, RJ, 2009.

Staduto, J. A.; Shikida, P. F. A. ; Bacha, C. J. C. Alteração na Composição da Mão-de-obra Assalariada na Agropecuária Brasileira. **Agricultura em São Paulo**, v. 51, n. 2, 2004, p. 57-70.

Thomas, V.M.; Kwong A. Ethanol as a Lead Replacement:Phasing Out Leaded Gasoline in Africa. **Energy Policy,** 29, 2001, pp. 1133-1143.

Toneto-Jr., R.; Liboni, L.B. **Mercado de Trabalho da cana-de-açúcar**. Anais do I Workshop do Observatório do Setor Sucroalcooleiro. Ribeirão Preto, 2008.

Toneto-Jr., R.; Palomino, J. M.; Liboni, L.B. Estudo da competitividade da indústria paulista: setor sucroalcooleiro. Nota Técnica 2. Mimeo, 2008.

Urquiaga, A; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. Produção de biocombustíveis – a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**. Brasília, v. 14, pp. 42-46, 2005.

Vian, C. E. de F. **Agroindústria canavieira**: estratégias competitivas e modernização. Campinas: Átomo, 2003. 216p.

Vian, C. E. F. Expansão e diversificação do complexo agroindustrial sucroalcooleiro no Centro-sul do Brasil – 1980/96. São Carlos, 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos.

Waack, R. S.; Neves, M. F. Competitividade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar. In Farina, E. M. M. Q; Zylbersztajn, D. (Coord). **Competitividade no agribusiness brasileiro**. Volume V. IPEA, PENSA, USP. 1998.

Zhang, Y.-H.P.; Lynd, L.R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulose systems. **Biotechnology and Bioengineering**, 8 (7), 2004, pp. 797–824.