UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA

BENTO ANTUNES DE ANDRADE MAIA

POLÍTICA DE INOVAÇÃO DO ETANOL CELULÓSICO

Rio de Janeiro
2010

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

BENTO ANTUNES DE ANDRADE MAIA

POLÍTICA DE INOVAÇÃO DO ETANOL CELULÓSICO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Adilson De Oliveira

Rio de Janeiro

2009

BENTO ANTUNES DE ANDRADE MAIA

POLÍTICA DE INOVAÇÃO DO ETANOL CELULÓSICO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adilson de Oliveira
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dr. Ricardo Abramovay
Universidade de São Paulo

Agradecimentos

A minha família, por tudo.

Ao professor Adilson de Oliveira pela excelente orientação. Sou muito grato.

A Isaías de Carvalho Macedo, Marcos Silveira Buckeridge, Ricardo Abramovay, Edmar Luiz Fagundes de Almeida, Adriano Duarte Filho e Fabrício Brollo Dunham pelas conversas e contribuições.

A todos do Grupo de Energia, professor Getúlio, Deborah, Wilson, Lucélia, Diego, Diana e Pedro.

Ao Marcelo e ao Nyko pelos comentários. Ao Raul, Gregório e Thales pelas discussões.

Resumo

A promoção da inovação dos biocombustíveis é um tema dominante da agenda política internacional. Atualmente, o Brasil e os Estados Unidos são líderes da produção de etanol. No entanto, as limitações existentes para a difusão do biocombustível de primeira geração – que possui matérias-primas utilizadas na produção de alimentos – e os avanços tecnológicos na conversão de materiais celulósicos em etanol, sugerem que o futuro do álcool está na segunda geração (produzido a partir de insumos não utilizados na produção de alimentos). Dessa forma, torna-se importante analisar se o Sistema Nacional de Inovação que conduziu o Brasil a ser líder mundial na produção de etanol de primeira geração está estruturado para suportar o desenvolvimento tecnológico da segunda geração do biocombustível.

Abstract

The support of biofuels innovation has become a dominant topic on the political agenda of many countries. Nowadays, Brazil and United States are leaders in ethanol production. Although, the obstacles that strangle the diffusion of the biofuel from first generation (using feedstock that also can be use as food) and the technological development of cellulosic materials in ethanol, suggest that the future of ethanol are in second generation (produced by feedstock not used as food). Therefore, it is important to analyze if the National Innovation System that push Brazil to became a world leader in the production of first generation ethanol are prepare to support the ethanol innovations towards the second generation of biofuels.

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1: Características físicas (álcool x gasolina) 5

Tabela 2: Mandatos de utilização de etanol 13

Tabela 3: Produção de etanol por país em 2007 17

Tabela 4 – Lista de especificações similares 20

Tabela 5 – Lista de especificações contornáveis 21

Tabela 6 - Consumo esperado de etanol 24

Tabela 7: Preço do etanol em 2006 e em 2030 25

Tabela 8: Utilização das terras aráveis no Brasil em 2007 27

Tabela 9: Produção de álcool por tipo de destilaria 39

Tabela 10: Alíquota de IPI incidente sobre os automóveis 42

Tabela 11: Recursos anuais em P&D no setor sucroalcooleiro por centro de pesquisa privado 49

Tabela 12: Recursos anuais em P&D no setor sucroalcooleiro por órgão público 54

Tabela 13: Recursos anuais em P&D no setor sucroalcooleiro por instituição ou centro de pesquisa 54

Tabela 14: Desenvolvimento tecnológico 55

Tabela 15: Processos de pré-tratamento 62

Tabela 16: Incentivos estabelecidos no *CRS Report for Congress* de 2008 ao etanol ... 70

Tabela 17 - Projetos em desenvolvimento e em construção de etanol celulósico nos Estados Unidos 71

Tabela 18: Consumo mundial de gasolina em 2005 72

Tabela 19: Tipos de planta de etanol celulósico 74

Tabela 20: Plantas Piloto e de demonstração de etanol celulósico na Europa 74

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1: Matriz energética mundial em 2006 3

Gráfico 2: Origem dos gases do efeito estufa 3

Gráfico 3: Evolução do preço internacional do açúcar - (¢/lb.)..... 34

Gráfico 4: Evolução do preço do barril de petróleo e o valor das importações de petróleo e derivados 35

Gráfico 5: Participação do petróleo e derivados na pauta de importações brasileiras.... 36

Gráfico 6: Preço internacional do açúcar – US$..... 41

Gráfico 7: Produção nacional de etanol (bilhões de litros)..... 43

Gráfico 8: Produção nacional de automóveis por combustível – Mil veículos 44

Gráfico 9: Produção e importação anual de petróleo nos Estados Unidos (bilhões de barris) 66

Gráfico 10: Mandato de utilização por tipo de biocombustível (bilhões de litros) 68

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 – Subsídios promovidos na cadeia de valor da produção de etanol 16

Figura 2: Interação do setor sucroalcooleiro..... 52

Figura 3: Conversão bioquímica do etanol de segunda geração..... 61

Figura 4: Conversão termoquímica.....64

Siglas e Nomenclaturas

APL Arranjos Produtivos Locais

BM&F Bolsa de Mercadorias e Futuros do Brasil

BNDES Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BP *Beyond Petroleum*

BTL *Biomass to liquidids*

CEMPES Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello

CENAL Comissão Executiva Nacional do Álcool

CEPEA Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CETENE Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

CGEE Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CIDE Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico

CNA Comissão Nacional do álcool

CNAL Conselho Nacional do Álcool

CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO_2 Gás carbônico

COPERSUCAR Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e álcool do Estado de São Paulo

CTC Centro de Tecnologia Canavieira

CTBE Laboratório de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

DOE *Department of Energy*

EIA *Energy Information Administration*

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA *Environmental Protection Agency*

ESALQ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

EU União Européia

FAPEMIG Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais

FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FINEP Financiadora de Estudos e Projetos

FTI Fundação de Tecnologia Industrial

HS *Harmonized Commodity Description and Coding System*

IAA Instituto do Açúcar e do Álcool

IAC Instituto Agronômico de Campinas

IAPAR Instituto Agronômico do Paraná

ICTs Instituições Científicas e Tecnológicas

IEA *International Energy Agency*

IPA Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária

IPI Imposto sobre o Produto Industrializado

LFT líquido Fischer Tropsch

OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

P&D Pesquisa e Desenvolvimento

PLANALSUCAR Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar

Proálcool Programa Nacional do Álcool

RIDESA Rede Universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroálcooleiro

SIN Sistema Integrado Nacional

UNCTAD Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento

UNICAMP Universidade de Campinas

USDA *U.S. Department of Agriculture*

INTRODUÇÃO 2

CAPÍTULO 1

O MERCADO DE ETANOL 10

INTRODUÇÃO 10
1.1. A CONSTRUÇÃO DO MERCADO 11
1.1.1. Mandatos de utilização do etanol 12
1.2. Os veículos bicombustíveis 14
1.3. Os subsídios 14
1.2. O MERCADO INTERNACIONAL DE ETANOL 17
1.2.1. Barreiras Tarifárias 18
1.2.2. Barreiras não tarifárias 19
1.3. TENDÊNCIA MUNDIAL DA PRODUÇÃO DE ETANOL 22
1.4. PROBLEMAS DO ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO 26
1.4.1. "Alimento x biocombustíveis" 26
4.2. As questões ambientais 27
4.3. As questões trabalhistas 29
CONCLUSÃO 30

CAPÍTULO 2

POLÍTICA DE INOVAÇÃO DO ÁLCOOL DE CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRO 31

INTRODUÇÃO 31
2.1. A HISTÓRIA DA PROMOÇÃO AO ETANOL NO BRASIL 32
2.1.1. O álcool como resposta à crise do açúcar 32
2.2. O PROÁLCOOL 36
2.2.1. Primeira fase (Implantação): 1975-1979 37
2.2.2. Segunda fase (Expansão): 1979-1986 38
2.2.3. Terceira fase (Crise): 1986-2002 41
2.2.4. Quarta fase (retomada): 2003– presente 42
2.3. RESULTADOS DO PROÁLCOOL 43
2.4. SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO DO ÁLCOOL E DA CANA-DE-AÇÚCAR 45
2.4.1. Clusters de pesquisa no estado de São Paulo 46
2.5. O FINANCIAMENTO À INOVAÇÃO 53
2.6. RESULTADOS DA INOVAÇÃO DO ETANOL 55
CONCLUSÃO 57

CAPÍTULO 3

O ÁLCOOL DE SEGUNDA GERAÇÃO 59

INTRODUÇÃO 59
3.1. A SEGUNDA GERAÇÃO DO ETANOL 60
3.1.1 A rota bioquímica 60
3.1.2. A via termoquímica 63
3.2. A POLÍTICA AMERICANA DE INCENTIVO AO ETANOL 65
3.3. A POLÍTICA DA UNIÃO EUROPÉIA 72
3.4. A POLÍTICA BRASILEIRA DE SEGUNDA GERAÇÃO 75
3.4.1. Historia do biocombustível de segunda geração no Brasil 77
3.4.2. Estado da arte do etanol celulósico 78
CONCLUSÃO 82
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES DE POLÍTICAS 84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

The Brazilian's experience with bioethanol from sugarcane has shown the world the importance of government policy and support towards renewable energy. Second-generation bioethanol from lignocellulose is no exception (Tan *et al*, 2009, p. 3364)

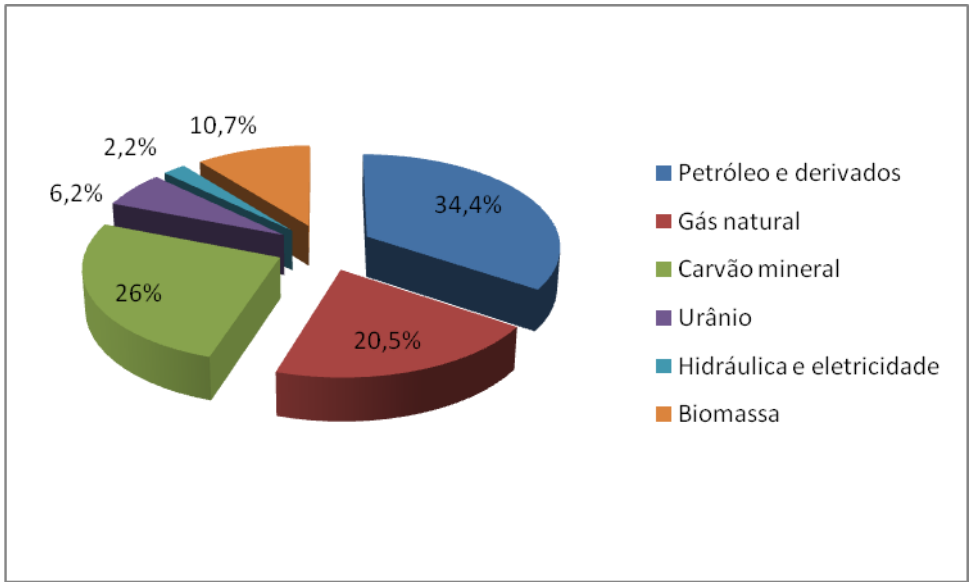
Introdução

O uso do etanol como combustível possui longa data; no final do século XIX, Henry Ford, Nicholas Otto, entre outros, desenvolveram automóveis capazes de rodar com o álcool. O "Ford-T", de 1908, era um carro flex, ajustado para utilizar etanol, gasolina ou ambos. Contudo, após a I Guerra Mundial a gasolina passou a ser o combustível escolhido (Solomon *et al*, 2007).

Atualmente, muitos países têm incentivado o consumo e a produção de etanol, principalmente pela elevação das preocupações com o aquecimento global e como alternativa para a diversificação da matriz energética.

A matriz energética mundial é baseada nos combustíveis fósseis. O carvão foi a primeira fonte a despontar, sendo largamente utilizado a partir da revolução industrial. Posteriormente, durante o século XX, o petróleo passou a ser a principal fonte de energia (gráfico 1) por suas vantagens de armazenamento e transporte em comparação com os demais combustíveis fósseis (Clô, 2000).

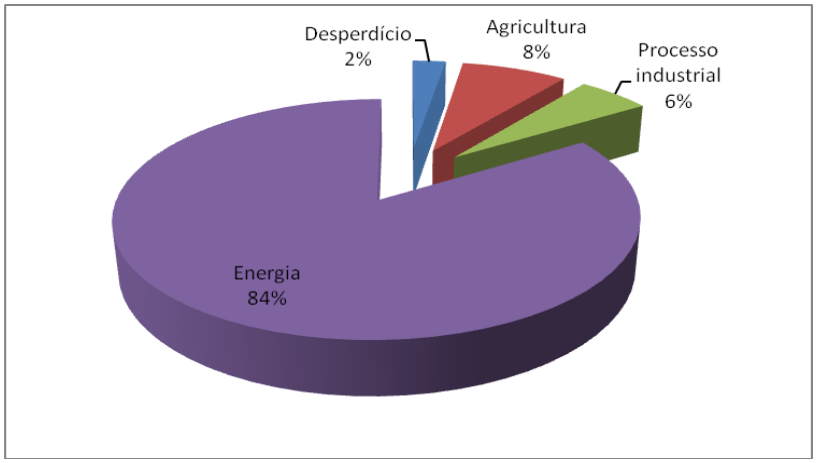
Gráfico 1: Matriz energética mundial em 2006



Fonte: elaboração própria a partir de BEN (2008)

O consumo dos combustíveis fósseis, no entanto, é responsável por 84%[1] das emissões dos gases do efeito estufa – *greenhouse gases* (GHGs) – provenientes pela ação humana. O setor de transportes emite 24% desse total, o que corresponde a 60% das emissões geradas pela combustão do petróleo (gráfico 2).

Gráfico 2: Origem dos gases do efeito estufa



Fonte: elaboração própria a partir de Quadrelli e Peterson (2007)

[1] Não considerando o uso da terra.

Segundo Mathews (2007a), atualmente as emissões de dióxido de carbono (CO_2) representam 29,36 Gt, dos quais apenas 14,68 Gt são absorvidos pela fotossíntese. Para o autor, estima-se que em 2025 a quantidade de gás carbônico emitido deve ser de 36,70 Gt e o valor de 52 Gt seria alcançado em 2050.

Essas estimativas, como demonstradas por Stern (2006), trazem externalidades negativas para o meio ambiente e para a sociedade, fazendo necessária uma forte redução em suas emissões. Por isso, o autor defende a criação de metas globais para a estabilização do nível das emissões de CO_2 e atribui à inovação no setor de energia um papel central dentro desse processo.

Desse modo, pelas questões ambientais apresentadas, é importante que os países adotem medidas para estimular a substituição dos combustíveis fósseis como fontes de energia. Segundo Tan *et al* (2008), os veículos são responsáveis por 19% das emissões de CO_2 e esse valor pode ser bastante reduzido a partir da substituição da gasolina por fontes renováveis.

O etanol é produzido a partir de insumos agrícolas que absorvem carbono da atmosfera e, por isso, todo CO_2 emitido pela combustão do álcool foi antes absorvido pela planta. No entanto, essa conta é imprecisa, uma vez que para a produção do etanol foram despendidos outros combustíveis fósseis no transporte da matéria-prima até a destilaria, no transporte do álcool até a bomba de distribuição, na utilização de fertilizantes etc. Essa razão entre a energia gerada pelo etanol e a energia fóssil consumida na sua produção representam o balanço energético do biocombustível. Assim, quanto maior o valor do balanço energético do etanol, maior será o benefício do álcool como redutor das emissões de CO_2 quando comparado ao consumo da gasolina.

Outro ponto fundamental para a promoção dos biocombustíveis é a expectativa do pico da produção de petróleo (Bardi, 2008; Bentley, 2002; CERA, 2005), o que gera

especulações sobre a escassez desse recurso e no seu encarecimento[2]. Não obstante a proximidade do pico do petróleo ser um tema polêmico devido às incertezas quanto aos níveis reais das reservas do Oriente Médio e da Rússia, ao potencial do desenvolvimento tecnológico e ao comportamento futuro da demanda do produto; a expectativa é que a era do petróleo barato já acabou. Isso porque as importações de petróleo estão aumentando, assim como a exploração de reservas de custos elevados e de óleos não convencionais (Greene *et al*, 2006). Desse modo, com o encarecimento e possível escassez do petróleo no médio-longo prazo, a diversificação das fontes de energia com a inclusão de recursos renováveis é estratégica para a segurança energética dos países.

O etanol é o principal biocombustível para veículos que possuem motor do ciclo Otto[3] – com ignição por centelha –, sendo um importante substituto para a gasolina, mas não um substituto perfeito, uma vez que possui diferentes características que influenciam o rendimento do motor (tabela 1).

Tabela 1: Características físicas (álcool x gasolina)

Parâmetro	Unidade	Gasolina	Etanol
Poder calorífico inferior	kj/litro	32.180	22.350
Densidade	kg/litro	0,72-0,78	0,792
Octanagem RON	-	90-100	102-130
Octanagem MON	-	80-92	89-96
Calor latente de vaporização	kj/kg	330-400	842-930
Relação ar/combustível estequiométrica		14,5	9,0
Pressão de vapor	kpa	40-65	15-17
Temperatura de ignição	grau C	220	420
Solubilidade em água	% em volume	~0	100

Fonte: elaboração própria a partir de CGEE; BNDES (2008)

[2] Outro fator notório para a recente elevação do preço do petróleo se deve ao reduzido investimento – relativamente as necessidades mundiais – em ampliação da capacidade produtiva. Isso ocorre em virtude das incertezas quanto ao preço futuro do petróleo, instabilidades geopolíticas etc. Ademais, pode-se destacar também o mercado futuro e a OPEP como agentes indutores da elevação dos preços.

[3] O biodiesel é um combustível recomendado para motores do ciclo Diesel, cuja ignição é por compressão.

Como se pode observar, o poder calorífico do etanol (22.350 por Kj/litro) é inferior ao da gasolina (32.180 por Kj/litro), o que o torna cerca de 30% menos eficiente (geração de energia por litro de combustível). Contudo, o álcool possui maior octanagem, podendo ser utilizado como aditivo à gasolina[4]. Devido às diferenças entre os dois combustíveis, o motor tem que ser adaptado ao consumo específico de cada um, ou possuir alterações que possibilite o consumo de ambos[5].

Outro benefício gerado pelo uso do etanol é a redução das emissões de óxidos de sulfa e particulados, que são as principais causas de poluição nas grandes cidades (Goldemberg; Guardabassi, 2008; Szklo *et al*, 2007).

Não obstante esses benefícios, a participação do etanol nos veículos com motores do ciclo Otto – cerca de 4% – é ainda muito pequena *vis-à-vis* a participação da gasolina (Walter *et al*, 2008).

Entretanto, como o seu consumo cresce a taxas significativas e diversos investimentos estão sendo realizados para o desenvolvimento da inovação do biocombustível, a expectativa é que o etanol possua uma participação mais expressiva no futuro (ver capítulo 1, seção 3: "Tendência mundial da produção de etanol").

Segundo Demirbas (2009), observa-se na década de 1990 uma ligeira elevação do consumo; a produção que em 1991 era de 16 bilhões de litros, passou para 18,5 bilhões em 2000. No entanto, em 2007 esse valor foi cerca de 250% superior (46 bilhões de litros). Em 2005 e em 2006, a taxa de crescimento da produção de etanol foi superior a 30%, alcançando significativos 33% e 39%, respectivamente (Walter *et al*, 2008).

[4] No caso, considerando uma mistura não muito elevada de álcool anidro.
[5] Os carros flex, não obstante possibilitarem a escolha de combustível, possuem menor eficiência, uma vez que não conseguem otimizar as características de nenhum dos dois combustíveis.

A pesquisa e o desenvolvimento[6] (P&D) no álcool são essenciais para reduzir os custos e aumentar a sustentabilidade do biocombustível. Por isso, o Brasil, os Estados Unidos e os principais países produtores de etanol realizam esforços para desenvolver e aperfeiçoar o Sistema de Inovação[7] do produto, com o objetivo de elevar a produtividade agrícola (toneladas/hectare), a produtividade industrial (litros/tonelada), diminuir os impactos ambientais e de melhorar a infra-estrutura e a logística da cadeia de produção (Bake *et al*, 2008; Hettinga *et al*, 2008).

No momento o etanol é produzido por insumos agrícolas – açúcar e amido – que são também utilizados como alimento. Por causa da competição com o preço dos alimentos, a matéria-prima para a produção do álcool é cara e representa o principal fator de custos. Porém, a transformação industrial desses insumos em biocombustível é um processo bastante desenvolvido e barato (Bake *et al*, 2008).

Para eliminar o conflito da produção de etanol com a produção de alimentos, reduzir o custo da matéria-prima e produzir um biocombustível que seja melhor em termos ambientais, tem-se pesquisado a transformação de materiais celulósicos em etanol. A tecnologia para essa produção já existe e embora os insumos para essa conversão sejam baratos, o processo industrial, ainda incipiente, possui um custo elevado.

Como a transformação industrial de materiais celulósicos em álcool é uma tecnologia nova, são esperados ganhos importantes de aprendizado, entre os quais, podemos destacar: o *learning-by-searching*, que é o conhecimento advindo com a

---

[6] O desenvolvimento envolve o trabalho sistemático em direção à produção de novos materiais, produtos e serviços e os seus custos costumam ser mais elevados do que com a pesquisa (Hall, 1994).

[7] O Sistema de Inovação seria a cadeia social formada por atores e instituições em torno de uma tecnologia. Os determinantes da mudança tecnológica não se restringem às firmas e aos esforços em P&D, mas em uma estrutura social ampla, em que as firmas e a pesquisa e o desenvolvimento estão inseridos (Suurs; Hekkert, 2009). Segundo Lundvall (1992) o Sistema de Inovação são os elementos que se interagem na produção e difusão do conhecimento. Para aprofundamento da pesquisa sobre essa corrente teórica, ver Nelson (1993), OCDE (1990), Lundvall (1992) e Freeman (1995).

pesquisa; o *learning-by-doing* – forma de aprendizado tácita e de difícil transmissão[8] –; e o *learning-by-interacting*[9], que é o conhecimento adquirido através da cooperação e troca de informações entre diferentes agentes do setor (Nelson; Winter, 1982; Johnson; Lundvall, 2001). Para Lundvall (1992, p. 1), "*the most fundamental resource in the modern economy is knowledge and, accordingly, the most important process is learning*".

Existem diferentes processos para a produção do etanol de segunda geração e não há, até o momento, uma rota tecnológica vencedora, que demonstre ter o menor custo de produção. Além disso, não foi encontrada a matéria-prima de melhor desempenho em termos de produtividade agrícola, industrial e de custos. Por isso, a produção do etanol celulósico possui espaços significativos de aprendizado e de desenvolvimento tecnológico.

Quando o Brasil iniciou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), não se sabia qual seria a matéria-prima de melhor resultado. Com a pesquisa e desenvolvimento no setor, a cana-de-açúcar demonstrou ser a melhor solução. O país, então, articulou um relevante Sistema de Inovação da cana-de-açúcar que resultou na diminuição dos custos de produção, na elevação da produtividade agrícola e no melhor aproveitamento dos resíduos, como a geração de energia térmica e elétrica a partir do bagaço e da palha (co-geração[10]) e da utilização da vinhaça como fertilizante.

---

[8] O conhecimento tácito possui relevância, pois a transmissão de conhecimento é imprecisa, envolve custos e há assimetria de informação (Nelson, Winter, 1982). Segundo Hall (1994), quanto mais tácito for determinado conhecimento, maior será o aprendizado por *learning-by-doing*.

[9] O *learning-by-using* (aprendizado gerado pela interação entre o fornecedor e o usuário de determinado produto), por ser uma forma de aprendizado por interação, será incorporado ao significado do *learning-by-interaction*.

[10] Atualmente praticamente toda a energia consumida pelas usinas é gerada pela co-geração. Com a utilização de turbinas a vapor de alta pressão, as usinas podem, inclusive, gerar energia elétrica excedente para exportar para o Sistema Interligado Nacional (SIN).

A análise histórica da política brasileira de inovação do etanol de primeira geração é crucial para a pesquisa, pois o Proálcool é o maior exemplo de planejamento no setor (Tan *et al*, 2008; Goldemberg *et al*, 2004).

Para o etanol celulósico se desenvolver e competir com a primeira geração é necessário articular um Sistema de Inovação, a exemplo do álcool de cana-de-açúcar do Brasil, e que incorpore as especificidades necessárias. A competição[11] da segunda geração de biocombustíveis com a primeira não se restringe ao produto, ela ocorre entre Sistemas de Inovação, ou seja, a concorrência pelo biocombustível do futuro é a disputa entre estruturas sociais capazes de gerar tecnologia. Assim, torna-se relevante pesquisar como promover políticas de construção do Sistema de Inovação do etanol celulósico, de modo que o novo Sistema possa competir e superar o da primeira geração (Hekkert *et al*, 2007; Suurs; Hekkert, 2009).

A investigação central do trabalho parte de uma pergunta teórica: quais são as políticas públicas necessárias para se implantar o etanol celulósico e estimular o seu Sistema de Inovação no Brasil?

A estrutura adotada para responder a essa questão está calcada em três capítulos. O primeiro consiste em analisar como está estruturado o mercado mundial de etanol. No capítulo 2 é demonstrado como o Brasil criou mercado para o álcool e articulou o seu Sistema de Inovação. Por fim, no capítulo 3, são mapeadas as políticas adotadas pelos Estados Unidos, União Européia (UE) e o Brasil para desenvolver o etanol de segunda geração. A partir dessa investigação serão discutidas as políticas adequadas para o Brasil desenvolver a segunda geração e promover o Sistema de Inovação do etanol celulósico.

[11] Para Schumpeter (1942), o desenvolvimento econômico é conduzido pela dinâmica de inovações geradas a partir da concorrência por lucros monopolistas. Por isso, as firmas competem por introduzir inovações, em uma busca permanente pela diferenciação do produto e por lucros extraordinários.

Capítulo 1

O Mercado de Etanol

Introdução

O capítulo 1 tem o objetivo de descrever o mercado de etanol – que até o momento é calcado na primeira geração –, com o foco em analisar as políticas adotadas para fomentar o setor. Demonstra-se, inicialmente, as medidas de construção de mercado para o produto, como a adoção de mandatos de utilização e os subsídios a sua produção e consumo.

Na seqüência, são evidenciadas as barreiras tarifárias e não tarifárias que restringem o comércio mundial, uma vez que são importantes ferramentas de proteção ao mercado, influenciando não apenas a produção local, como o desenvolvimento endógeno de tecnologia no biocombustível.

Posteriormente, analisa-se a tendência de consumo esperado de etanol. Esse tópico é relevante por demonstrar que a perspectiva da demanda pelo produto é de crescimento acelerado e que, pelo menos no médio prazo, o etanol deverá substituir parcelas cada vez maiores de gasolina.

Por fim, são elencados os principais obstáculos para a expansão da primeira geração de etanol: o conflito com a produção de alimentos, as questões ambientais e as questões trabalhistas. Esses problemas representam uma forte limitação ao crescimento da produção e incitam o desenvolvimento da segunda geração do biocombustível.

1.1. A construção do mercado

A dependência do petróleo como fonte de energia na matriz de transportes – representa cerca de 94% do consumo de energia do setor – e a larga emissão de gases do efeito estufa são externalidades negativas que justificam a promoção dos biocombustíveis (Quadrelli; Peterson, 2007; Kerr; Loppacher, 2005).

Uma forma tradicional de promover a inovação é estimular os investimentos em P&D e, portanto, incentivar o processo de aprendizado conhecido como *learning-by-searching*. Contudo, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento isoladamente não são suficientes para desenvolver uma trajetória tecnológica do setor de energia. Esforços para a construção de mercado para as novas tecnologias possuem um papel central ao incentivarem o *learning-by-doing* (Suurs; Hekkert, 2009).

De acordo com Hall (1994), o caminho para as firmas alcançarem redução de custos ocorre por meio da realização de atividades de P&D, pela difusão das informações e das capacidades tecnológicas – via publicações, conferências, palestras etc. – e através do *learning-by-doing*.

Há de se destacar que a criação de mercado para o etanol constitui uma política necessária para o desenvolvimento tecnológico do biocombustível, porque além de incentivar o aprendizado, estimula os produtores a desenvolverem tecnologia. Os economistas evolucionários defendem que a interação entre as atividades de ciência básica, desenvolvimento tecnológico e a construção do mercado na mudança tecnológica são importantes para o processo de inovação.

O modelo de Kline-Rosemberg[12] – *chain-linked model* – ilustra isso ao evidenciar que a mudança tecnológica inclui P&D e formação de mercado simultaneamente, um reforçando o outro através de mecanismos de feedbacks. O modelo reconhece explicitamente que todo o processo inovativo resulta tanto das oportunidades tecnológicas advindas com a invenção, a partir das atividades de P&D, como pelas necessidades do mercado (Suurs; Hekkert, 2009).

As novas tecnologias possuem dificuldade para competir com aquelas já desenvolvidas e a construção de mercado para as tecnologias emergentes possui o caráter de estimular a inovação, influenciando na velocidade e na direção da mudança tecnológica (Hekkert *et al*, 2007).

Com esse objetivo – criação e expansão do mercado de etanol[13] –, diversos países têm implantado mandatos de utilização do álcool anidro[14] misturado à gasolina, promovido os veículos bicombustíveis (flex) e fornecido diversos subsídios ao longo da cadeia de produção do álcool.

1.1.1. Mandatos de utilização do etanol

De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA)[15], existem, além do Brasil, vinte e sete nações com mandatos de utilização de etanol anidro misturado à gasolina, sendo que alguns desses países possuem metas restritas a determinadas regiões – não são para a totalidade do território –, como é o caso da Colômbia, da China, do México e do Equador (tabela 2).

---

[12] Esse modelo é uma crítica ao modelo linear de inovação que compreende o processo inovativo como resultado da seqüência de eventos: invenção, inovação e difusão (Hall, 1994).
[13] Outra forma de expansão do mercado de etanol que vem sendo estudada e implementada é a utilização do biocombustível em aeronaves, ônibus e outros veículos (CCGE; BNDES, 2008).
[14] O álcool anidro é utilizado na mistura com a gasolina e o álcool hidratado é usado no carro à álcool, ou flex.
[15] www.agricultura.gov.br

Tabela 2: Mandatos de utilização de etanol

Região/País	Mandatos
América Central	El Savador, Honduras, Costa Rica, Guatemala e Nicarágua: E10 em 2010
Colômbia	E10 nas principais cidades
Equador	E5
México	Incipiente
Paraguay	E24
Peru	E8
Uruguai	E5 em 2015
Venezuela	Planeja usar a mistura E10
Argentina	E5
Estados Unidos	Reneable Fuels Standard*
Canadá	E10 e estímulo aos carros E85
China	E10 em seis regiões
Tailândia	E10
Austrália	E1
Indonésia	E10 em 2010 e E20 em 2020
Malásia	Incipiente
União Européia	E5,75 em 2010 e E10 em 2020*
França	E7
Alemanha	E2,8
Espanha	E7 em 2011
Suécia	E5 e estímulos aos carros E85
África do Sul	E8 em 2013
Zimbábue	E12
Sudão	Incipiente

*Ver capítulo 3

E(n): porcentagem de etanol misturado à gasolina

Fonte: elaboração própria a partir de MAPA[16]

A adoção de mandatos de utilização de etanol anidro misturado à gasolina é fundamental para a criação de mercado para o produto, uma vez que reserva uma fatia de mercado e sinaliza aos produtores metas de consumo. Como já assinalado, para misturas não elevadas, o etanol pode ser adicionado à gasolina sem nenhuma alteração do automóvel e com simples ajustes na distribuição do combustível, já que sua cadeia de distribuição é basicamente a mesma da gasolina, se aproveitando, assim, do *path dependence*.

[16] www.agricultura.gov.br.

1.2. Os veículos bicombustíveis

O mercado de etanol anidro possui tamanho limitado. Para diversos países – incluindo os Estados Unidos –, permite-se apenas a mistura de até 10% do etanol (E10)[17]. Outras nações, como o Brasil e o Paraguai utilizam volume do álcool superior a 20%. Porém, para misturas mais elevadas, é considerada necessária a adaptação dos veículos. Torna-se, pois, importante o estímulo à disseminação dos carros flex, tanto para a aquisição de automóveis bicombustíveis, como na criação da infra-estrutura necessária à distribuição do etanol hidratado[18].

Os principais mecanismos de promoção aos carros flex são a redução dos impostos para a compra do veículo e dos tributos incidentes sobre a sua utilização. A aquisição de carros oficiais bicombustíveis também impulsiona o mercado, assim como a adoção de subsídios ao consumo de etanol hidratado[19].

No Brasil, os carros flex podem ser abastecidos 100% com etanol (E100). Contudo, outros países como o Canadá, a Suécia e os Estados Unidos, o álcool hidratado possui uma mistura de 15% de gasolina (E85) para facilitar a partida do motor.

1.3. Os subsídios

Os subsídios para a produção dos biocombustíveis são práticas comuns, utilizadas pelos principais países produtores – Brasil, Estados Unidos, União Européia

[17] O Departamento de Energia dos Estados Unidos está estudando a possibilidade de elevar a proporção de álcool anidro para 12% ou 15% (RFA, 2010).
[18] Apesar de se aproveitar da mesma estrutura de distribuição que a gasolina (postos de distribuição), o etanol hidratado necessitada de bombas de distribuição diferentes e outra logística de transporte e armazenamento.
[19] O governo sueco possui formas alternativas de estimular os carros Flex, como o não pagamento de estacionamento na cidade de Estocolmo (Wiesenthal *et al*, 2008).

etc. – e que têm como justificativa o objetivo dos governos de corrigir falhas de mercado provenientes das externalidades negativas associadas ao uso de combustíveis fósseis (Kerr; Loppacher, 2005).

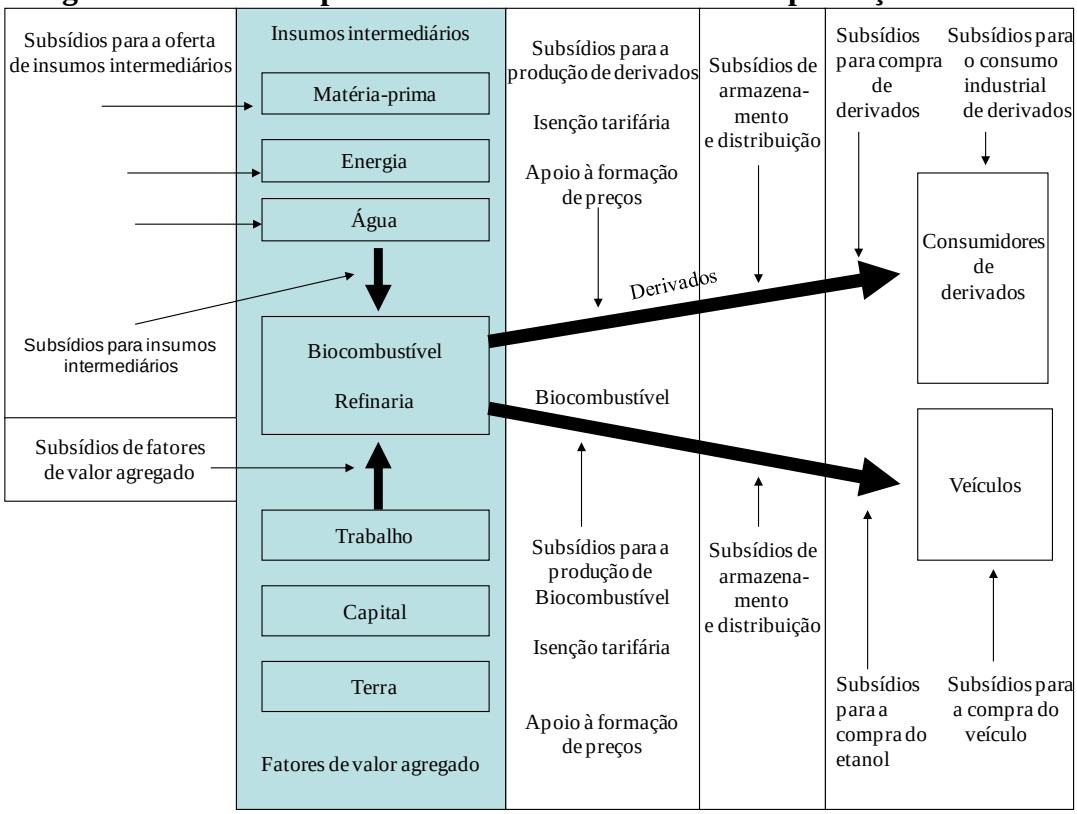
Segundo a publicação da *International Energy Agency* (IEA), "Experience Curves For Energy Technology Policy" (2000), as tecnologias que não conseguem entrar no mercado porque são caras demais serão restringidas da curva de aprendizado necessária para superar a barreira de custos e se tornarem competitivas. Por isso, é importante viabilizar que a tecnologia emergente adquira investimentos iniciais subsidiados para desenvolver conhecimento e reduzir os seus custos de produção.

A promoção do etanol é bastante estimulada por meio de subsídios ao longo da cadeia de valor do produto. Steenblik (2007) descreve que no início da cadeia os subsídios são oferecidos para os insumos intermediários, sendo a maior parte destes utilizada na produção da matéria-prima (principal custo da produção de etanol).

Outros subsídios são empregados na produção do biocombustível, como, por exemplo, isenções tarifárias e subvenções relacionadas com o volume produzido ou vendido. Por fim, há os subsídios que ocorrem no *dowstream*[20] da cadeia: créditos para reduzir os custos de armazenamento do etanol na entressafra; subvenções para o desenvolvimento de infra-estrutura; subvenções para a demonstração do combustível; e subsídios ao consumidor final (Steenblik, 2007). Os diferentes pontos de utilização desses subsídios no decorrer da cadeia de valor da produção de etanol são demonstrados a seguir pela figura 1.

[20] Comercialização e distribuição.

Figura 1 – Subsídios promovidos na cadeia de valor da produção de etanol



Fonte: elaboração própria a partir de Steenblik (2007).

De acordo com Steenblik (2007), os subsídios alocados na fase de produção do etanol são os que possuem as maiores distorções, seguidos pelos incidentes sobre os insumos intermediários e nos fatores de valor agregado. Já o apoio governamental em P&D, segundo o autor, representa uma distorção bastante inferior. Assim, o apoio governamental à pesquisa e ao desenvolvimento do Sistema de Inovação do etanol corresponde a uma das melhores formas de atuação para estimular a produção do biocombustível.

Outro mecanismo bastante utilizado pelos países consumidores de álcool para o desenvolvimento da produção da tecnologia do setor é o estabelecimento de barreiras tarifárias e não tarifárias a fim de restringir as importações do produto, como pode ser avaliado na seção seguinte.

1.2. O mercado internacional de etanol

Existem diferentes tipos de matéria-prima para a produção de etanol. Atualmente, os insumos mais utilizados são o milho e a cana-de-açúcar, com destaque para a produção dos Estados Unidos e do Brasil (tabela 3). A União Européia também possui relevância na produção do álcool e os seus principais insumos são o trigo e a beterraba.

Tabela 3: Produção de etanol por país em 2007

País	Milhões de litros	Participação
Estados Unidos	24695	49.6%
Brasil	19073	38.3%
União Européia	2167	4.4%
China	1847	3.7%
Canadá	803	1.6%
Tailândia	301	0.6%
Colômbia	285	0.6%
Índia	201	0.4%
América Central	150	0.3%
Austrália	100	0.2%
Turquia	60	0.1%
Paquistão	35	0.1%
Peru	30	0.1%
Argentina	20	0.0%
Paraguai	18	0.0%
Total	**49786**	**100%**

Fonte: elaboração própria a partir de RFA[21]

Essa produção mundial de aproximadamente cinqüenta bilhões de litros de etanol em 2007 representa cerca de 4% do consumo de gasolina e como será discutido na seção 1.3 (Tendência mundial da produção), é esperado que sua participação cresça significativamente. No entanto, o comércio internacional do produto é bastante restrito devido ao objetivo dos países produtores de gerar tecnologia própria, apoiar os seus produtores e de reduzir a dependência energética de fontes importadas[22]. Os

[21] www.ethanol rfa.org.

[22] A dependência energética se torna um fator de maior gravidade quando se analisa que o Brasil representa cerca de 50% das exportações mundiais do produto e que é o país mais capacitado – em termos

instrumentos utilizados para restringir as importações de etanol são a adoção de barreiras tarifárias e não tarifárias.

1.2.1. Barreiras Tarifárias

Um ponto relevante na discussão sobre as barreiras tarifárias e sobre os subsídios incidentes sobre o etanol é a taxonomia do biocombustível como um bem agrícola. A Organização Mundial do Comércio (OMC) utiliza o *Harmonized Commodity Description and Coding System*, popularmente conhecido como HS para classificar os produtos comercializados internacionalmente (Kerr; Loppacher, 2005). A importância do sistema HS para o comércio internacional deriva das regras de comércio que são diferenciadas de acordo com as especificidades de cada classificação.

A taxonomia do etanol dentro desse sistema é bastante polêmica, pois os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) defendem que o biocombustível deve ser enquadrado como um produto agrícola, uma vez que ele é derivado de insumos agrícolas. Contudo, os países com vantagens comparativas na produção do álcool, entre eles o Brasil, alegam que o etanol deve ser classificado como um produto industrial – como de fato é –, ou ainda, como um produto ambiental (CGEE; BNDES, 2008; Mathews, 2007b).

O etanol não é um produto agrícola, ele é apenas derivado de insumos vegetais que depois de processados se tornam praticamente indistinguíveis um do outro. Mesmo assim, o biocombustível acabou sendo classificado como um produto agrícola, dado o lobby dos países da OCDE. Maior justiça foi dada na classificação do biodiesel, que foi categorizado como um bem industrial (CGEE; BNDES, 2008; Kerr; Loppacher, 2005).

---

de custo de produção e de terras disponíveis – a ampliar a produção (Junginger *et al*, 2008; Smeets *et al*, 2008).

A desvantagem da classificação do etanol como um bem agrícola – para os países com baixo custo de produção – decorre do fato que os produtos assim especificados possuem menores restrições quanto à utilização de subsídios e barreiras tarifárias. Desse modo, a discussão acerca da taxonomia do etanol dentro do sistema HS se camufla de discussões técnicas a respeito da origem do produto, enquanto que na prática o que vigora é um debate de política comercial (Mathews, 2007b).

Uma discussão em paralelo refere-se à própria legitimidade do tratamento preferencial que os produtos agrícolas possuem no comércio internacional. Tem sido bastante debatido, principalmente na rodada de Doha, a redução dessa disparidade, i.e., a redução de barreiras tarifárias e subsídios incidentes nos produtos agrícolas. Mais uma vez, esse embate é travado, primordialmente, entre os países da OCDE e os países em desenvolvimento com vantagens comparativas na produção de bens agrícolas.

1.2.2. Barreiras não tarifárias

As barreiras não tarifárias (BNTs) possuem o caráter de restringir as importações dos países de forma alternativa à utilização de aduanas. De acordo com Steenblik (2007), as BNTs podem ser classificadas entre as seguintes categorias: i) participação governamental no comércio e as práticas restritivas toleradas pelos governos; ii) procedimentos aduaneiros e administrativos de entrada; iii) barreiras técnicas ao comércio; iv) barreiras sanitárias e fito-sanitárias; v) quotas; e vi) impostos sobre as importações diferentes das tarifas, como, por exemplo, a taxa sobre o uso dos portos.

A principal barreira não tarifária ao comércio de etanol são as técnicas devido à ausência de padronização do etanol produzido ao redor do mundo. Como as especificações e qualidades do produto alteram o rendimento do veículo, diferentes padrões do álcool podem restringir, ou até mesmo bloquear o comércio mundial.

Entretanto, as diferenças de especificações entre os biocombustíveis são pouco utilizadas para auferir qualidade ao produto e o seu uso se destina, basicamente, à proteção do mercado (Kerr; Loppacher, 2005, p.59).

> *As the biofuel industry develops and trade begins, the government will likely face strong calls for protection. As it is possible to produce biofuels in many different ways, the government could state that different inputs or different production methods create different end products – which governments would then argue are inferior to the products being produced using local inputs and local production methods and therefore do not comply with quality standards. Such speculation may represent an overly cynical view, but history suggests that the possibility for this type of protectionism could be very high*.

Dessa forma, para o desenvolvimento do comércio mundial, é necessário a padronização do etanol. Com esse intuito, realizou-se, em 2007, uma força tarefa com a participação do Brasil, dos Estados Unidos e da União Européia. Esse esforço, fez uma lista das especificações que seriam similares entre os países (blocos) e facilmente implementadas; e uma lista com as especificações que possuem diferenças, mas que são contornáveis. O único critério de difícil entendimento entre as partes seria a quantidade de água, pois suas concentrações são distintas em cada país (TRIPARTITE TASK FORCE, 2007). As listas com as especificações similares (tabela 4) e as contornáveis (tabela 5) são apresentadas a seguir.

Tabela 4 – Lista de especificações similares

Parâmetro	Valor recomendado
Cor	Corante é permitido. Não usar para exportação
Aparência	Limpo, claro e visivelmente livre de contaminantes suspensos ou particulados
Densidade	medida e reportada
Sulfato	4 mg/kg máximo
Conteúdo de sulfa	10 mg/kg máximo
Cobre	0,1 mg/kg máximo
Ferro	Não é necessário especificar a condutividade adotada
Sódio	Não é necessário especificar a condutividade adotada
Condutividade	500 uS/m máximo

Fonte: elaboração própria a partir de Tripartite Task Force (2007)

Tabela 5 – Lista de especificações contornáveis

Parâmetro	Valor recomendado
Conteúdo de etanol	Sem consenso (96,8 a 98 vol %) mínimo
Acidez	0,0038 a 0,007% máximo
Fósforo	0,5 mg/kg máximo
pHe	6,5 - 9,0
Goma	5 mg/100ml máximo
Clorido	1 mg/kg máximo

Fonte: elaboração própria a partir de Tripartite Task Force (2007)

Não obstante a realização dessa força tarefa, ainda permanece a dúvida: até que ponto os países desenvolvidos querem que o etanol seja especificado? Apesar das vantagens da padronização do produto, isso representaria a perda de uma importante ferramenta de proteção comercial. Por isso, o Brasil que é o maior exportador de etanol do mundo tem realizado maior intento nesse sentido (Junginger *et al*, 2008).

O desenvolvimento de contratos futuros do etanol faz parte desse esforço brasileiro. Segundo Mathews (2009), os contratos futuros representam o estágio mais avançado de um mercado de commodity, pois fornece liquidez ao produto. A Bolsa de Mercadorias e Futuros do Brasil (BM&F), em 2007, fez isso se tornar uma realidade para o etanol anidro ao emitir contratos futuros denominados em dólar e com normas técnicas bem especificadas. Para o autor, essa medida tem uma dupla significância. Primeiro porque evidencia o progresso na criação de uma padronização do mercado de etanol, o que gera confiança para o desenvolvimento do mercado mundial. E, em segundo lugar, porque todas as normas técnicas e especificações requeridas para a realização do contrato futuro funcionam como um modelo para a certificação do biocombustível.

Abramovay (2007) e Macedo (2010[23]) defendem que apesar das barreiras tarifárias serem utilizadas, acima de tudo, com o propósito de proteger o mercado, os agentes do setor alcooleiro devem procurar melhorar os seus critérios de

[23] Entrevista realizada em 24/03/2010.

sustentabilidade e provar junto aos órgãos internacionais que o etanol brasileiro possui externalidades positivas ao meio ambiente.

A *Royal Society* (2008) e Mathews (2009) recomendam que as políticas de promoção aos biocombustíveis sejam refinadas para incluir reduções das emissões de CO_2, sendo a certificação do etanol – analisando as formas de utilização da terra, as reduções nas emissões de CO_2 e as condições de trabalho – relevante para o desenvolvimento do comércio internacional do produto. Desse modo, a busca por certificados de qualidade do álcool pode ser um importante instrumento frente às ambições nacionais de ser um grande exportador.

Para a ampliação do comércio internacional e para investigar o papel que o etanol vai possuir no futuro (assim como a inovação do biocombustível) é importante analisar qual é a tendência de expansão do consumo do produto.

1.3. Tendência mundial da produção de etanol

Estimar a produção de etanol no longo prazo é uma tarefa complicada e que envolve uma significativa margem de erro. Em sua projeção, são avaliadas outras estimativas, como o crescimento da frota de veículos, o consumo esperado de gasolina, a tendência dos preços do barril de petróleo, a adoção de incentivos ao uso de biocombustíveis e a evolução da eficiência energética e das discussões acerca do meio ambiente.

Existem, atualmente, cerca de 700 milhões de veículos no mundo e estima-se que esse valor chegue a 1,3 bilhões em 2030 e a 2,0 bilhões em 2050 (Tan *et al*, 2008). Já o consumo de gasolina que em 2005 foi de 1,2 trilhões de litros é projetado para

alcançar o valor de 1,9 trilhões em 2030, com uma taxa de crescimento média de 1,8% ao ano (Walter *et al*, 2008).

Apesar da crise do *sub-prime*[24] e da queda brusca do preço internacional do petróleo, a tendência de elevação dos preços do óleo no médio-longo prazo continua forte em virtude da expectativa do pico da produção de petróleo, pela exploração de reservas de custos elevados e pelo crescente consumo do produto (Greene *et al*, 2006).

Caso ocorram importantes inovações tecnológicas que estimulem a eficiência energética[25] ou o uso de veículos alternativos movidos à eletricidade ou a hidrogênio, a demanda futura de etanol será reprimida. Por outro lado, se houver um aprofundamento das preocupações com as emissões de CO_2, o biocombustível será mais incentivado.

Embora seja difícil mensurar, a demanda mundial do etanol deve ser incrementada e a adoção de mandatos de utilização do produto é percebida como uma prática crescente. Ademais, segundo as previsões, os países que já adotaram mandatos de utilização do etanol tendem a ampliar as suas metas, aumentando a porcentagem do biocombustível misturado à gasolina (CGEE; BNDES, 2008; Walter *et al*, 2008).

Os Estados Unidos, maiores consumidores de gasolina do mundo, possuem grande destaque, pois o governo federal colocou como meta o consumo de 36 bilhões de galões (aproximadamente 136 bilhões de litros) de combustíveis renováveis em 2022 – *Energy Independence Security Act* (2007) –, sendo a maior parte suprida pelo etanol (CRS *Report for Congress*, 2007).

Em janeiro de 2007, no *Energy Policy Document*, a União Européia adotou a meta de consumir 10% de biocombustíveis em 2020. Entretanto, de acordo com as estimativas da *World Energy Outlook* (2008), a meta da UE será alcançada, porém com alguns anos de defasagem, e a dos Estados Unidos será cumprida em apenas 40%.

---

[24] Crise gerada pela explosão da bolha imobiliária americana.

[25] O carro híbrido (que aproveita parte da energia dispersada na frenagem para gerar energia motor) é uma tecnologia promissora para aumentar a eficiência energética (Ahman; Nilssom, 2007).

A tabela 6 evidencia a projeção de crescimento do consumo de etanol até 2030, levando em consideração dois cenários alternativos. O cenário 1 é o mais pessimista, dando pouca ênfase aos avanços tecnológicos e ao desenvolvimento do etanol de segunda geração. Esse cenário prevê também um comércio mundial reduzido e o conflito "alimentos x etanol"[26] como um grande entrave para o desenvolvimento da produção do biocombustível. De acordo com essa projeção, o consumo esperado do etanol em 2030 será de 272,4 bilhões de litros e a sua taxa de crescimento no período 2005-2030 de 8,8%.

Já o cenário 2 possui uma previsão bastante otimista, com taxas médias de crescimento de 26,1% e um consumo de 566 bilhões de litros em 2030. Nessa previsão, uma parte importante da produção seria coberta por etanol de segunda geração, principalmente nos Estados Unidos.

Tabela 6 - Consumo esperado de etanol

País/Região	Consumo (Gl) em 2005	Cenário 1			Cenário 2		
		Consumo (Gl) em 2030	Taxa de crescimento anual 2005-2010 (%)	Taxa de crescimento anual 2005-2030 (%)	Consumo (Gl) em	Taxa de crescimento anual 2005-2010 (%)	Taxa de crescimento anual 2005-2030 (%)
Estados Unidos	15,3 (46,4%)	55.3 (20,3%)	8,4	5,3	263 (46,6%)	26,7	12,1
UE-25	1,6 (4,9%)	36 (13,2%)	26	13,2	49,6 (8,8%)	59,9	14,7
Japão	0,5 (1,5%)	9,3 (3,4%)	34,3	12,5	14,3 (2,5%)	34,3	14,5
China	1,0 (3%)	21,6 (7,9%)	20,4	13,1	33,5 (5,9%)	20,4	15,1
Brasil	13,3 (40,3%)	50 (18,3%)	8,6	19	50 (8,8%)	8,6	5,4
Outros	1,3 (3,9%)	100,2 (36,8%)	60,8	5,4	155 (27,4%)	60,8	21,1
Mundo	33	272,4	15,1	8,8	566	26,1	12

Fonte: elaboração própria a partir de Walter *et al* (2008).

Segundo as projeções, pelo cenário 1, o consumo de etanol corresponderia a cerca de 10% do consumo de gasolina e pelo cenário 2, a aproximadamente 20%. Os autores defendem que pelo cenário mais pessimista, o comércio internacional do produto não deve possuir grande alteração, permanecendo próximo dos atuais 10% da produção mundial. Em compensação, no cenário 2, o comércio internacional seria consideravelmente mais incentivado. Contudo, a projeção do cenário 2 parece bastante

[26] Ver (Baka, Holst, 2008; Srinivasan, 2008).

irrealista, apesar das elevadas taxas de crescimento recente do produto (33% e 39% em 2006 e 2007). Isso porque as metas de consumo da maioria dos países são significativamente inferiores[27].

Não obstante a dificuldade de prever o valor exato da demanda futura do biocombustível, é patente que o seu consumo será ampliado dado os investimentos realizados na produção e na pesquisa do etanol de segunda geração (ver capítulo 3).

A Shell (2008) e a IEA (2008b) realizaram projeções de consumo de biocombustíveis até 2050. Em suas estimativas, a segunda geração ganha participação expressiva durante os anos de 2020 e em fins dos anos 2030 supera a produção da primeira geração. Sims *et al* (2010) aponta que o etanol celulósico vai ter grande desenvolvimento após 2030 e em 2050 o álcool substituirá 26% da demanda de gasolina.

A tabela 7 fundamenta as previsões anteriores, demonstrando que o etanol lignocelulósico vai ser competitivo com os custos do etanol de primeira geração, tendo o seu preço estimado entre 25 e 65 centavos de dólar por litro em 2030.

Tabela 7: Preço do etanol em 2006 e em 2030

Etanol	Centavos/litro (US$) atualmente	Centavos/litro (US$) 2030	Dólares por barril de gasolina equivalente (2030)
Cana-de-açúcar	25-50	25-35	52-72
Beterraba	60-80	35-55	72-114
Trigo	60-80	40-60	83-124
Milho	70-95	45-65	93-134
Lignocelulósico	80-110	25-65	52-134

Fonte: elaboração própria a partir de Royal Society (2008)

Além disso, a expansão da produção dos biocombustíveis de primeira geração possui certas limitações. O conflito alimentos versus biocombustíveis, as questões ambientais e as questões trabalhistas são os principais entraves.

[27] As principais exceções são o Brasil e os Estados Unidos.

1.4. Problemas do etanol de primeira geração

O etanol celulósico, além de ser uma tecnologia emergente com grande potencial de reduções de custos e de desenvolvimento tecnológico, deve ser estimulado também em virtude das limitações da produção da primeira geração.

1.4.1. "Alimento x biocombustíveis"

O conflito alimento ou biocombustível é o principal limitador para o desenvolvimento da indústria dos biocombustíveis. A questão central dentro dessa disputa é que a produção de insumos agrícolas com a finalidade de produzir biocombustíveis compete com a produção de alimentos, uma vez que há uma quantidade limitada de terras agricultáveis. Assim, a expansão da produção de etanol gera uma maior utilização de terras aráveis, elevando o preço da terra.

Por outro lado, e para aprofundar o problema, a expansão dos biocombustíveis pode deslocar a produção de outras culturas e do gado para regiões mais afastadas e de pior qualidade do solo – o que encareceria a produção e o seu transporte –, ou ainda, o que seria mais desastroso, para regiões de florestas nativas (Fargione *et al*, 2008).

Dado o conflito com os alimentos, segundo Walter *et al* (2008), a produção máxima de etanol de primeira geração nos Estados Unidos e na União Européia é de 68,2[28] e de 27,3 bilhões de litros, respectivamente.

O Brasil, por outro lado, possui grande espaço para a ampliação de sua produção, uma vez que possui 354 milhões de hectares de terras aráveis, sendo que em

[28] Os Estados Unidos limitaram a sua produção de etanol de primeira geração em57 bilhões de litros (ver item 3.2).

2007 apenas 7,8 milhões de hectares foram ocupados pela cana-de-açúcar[29] (tabela 8). No Brasil, cerca de 50% das terras agricultáveis são ocupadas com o gado (especialmente a produção extensiva) e aproximadamente 29% estão disponíveis para o cultivo e não estão ocupadas por nenhuma outra cultura. Desse modo, a disputa com a produção de alimento não se demonstra como uma questão relevante para o etanol brasileiro.

Tabela 8: Utilização das terras aráveis no Brasil em 2007

	M de hectares	% de terra arável
Terra arável	354	-
Soja	20.6	5.8
Milho	14	4.0
Cana-de-açúcar	7.8	2.2
Cana para etanol	3.4	1.0
Laranja	1	0.3
Total agrícola	76.7	21.7
Gado	172.3	48.7
Terras disponíveis	105	29.7

Fonte: elaboração própria a partir de Souza (2009)

4.2. As questões ambientais

O nível de redução das emissões de CO_2 varia de acordo com a matéria-prima e o processo empregado. Diversas publicações, entre elas, Sims (2009), CGEE; BNDES (2008), Larson (2006), *Royal Society* (2008), IEA (2008a) e de Oliveira *et al* (2005) realizam o esforço de mensurar o volume das emissões salvas para cada matéria-prima. Contudo, dada a disparidade entre as análises, as dificuldades de medida e os interesses políticos em enaltecer ou denegrir determinados processos e insumos, esta pesquisa apenas apontará os elementos mais consensuais.

[29] Desse total, cerca de 50% é destinado ao etanol.

Da primeira geração, o etanol de cana-de-açúcar é o que possui melhor balanço energético (razão entre a energia gerada pelo etanol e a energia fóssil consumida na sua produção) e, conseqüentemente, reduz com maior intensidade o nível de emissões de CO_2. Na seqüência, o etanol de beterraba e o de trigo que possuem uma redução estimada superior a 20%. E, por fim, o etanol de milho que possui um nível de redução das emissões menos significativo[30].

Já com relação ao etanol celulósico, é esperado que se alcance pelo menos 60% de emissões evitadas, como pode ser observado pelas metas do Departamento de Energia dos Estados Unidos – *Energy Independence Security Act* (2007) – e da União Européia (*EU-27 Annual Report*, 2009).

Além da questão das emissões de CO_2, os biocombustíveis de segunda geração apresentam outros benefícios ambientais. Eles representam menor poluição e utilização da água, assim como de agrotóxicos, porque possuem elevada produtividade agrícola. Além disso, o etanol celulósico degrada menos a fertilidade do solo e é menos prejudicial à biodiversidade (UNCTAD, 2008).

Outro problema freqüentemente associado à expansão da produção do etanol de primeira geração é o desmatamento, especialmente, o indireto (em que o cultivo da matéria-prima se expande por áreas ocupadas pelo gado, ou por outra cultura, que por sua vez, se expande em áreas florestais) (Fargione *et al*, 2009).

Segundo Abramovay (2008), não obstante a expansão da produção da cana-de-açúcar não ameaçar (diretamente) a Amazônia[31], a ampliação dos canaviais pode exercer uma alteração do bioma do cerrado, especialmente pela pouca atenção internacional a esse ecossistema e pela própria dificuldade em fiscalizar as terras da região.

---

[30] Inclusive para alguns autores, como Pimentel e Patzek (2005), o etanol de milho teria balanço energético negativo e, ao invés de reduzir, contribuiria para o acirramento do aquecimento global.
[31] O bioma amazônico não é favorável ao cultivo da planta.

Ademais, o álcool de cana-de-açúcar brasileiro possui um agravante: a queima da palha que é bastante nociva aos moradores dos arredores do canavial e, principalmente, para os cortadores de cana devido à larga emissão de poluição, fumaça e particulados (Almeida *et al*, 2007).

4.3. As questões trabalhistas

Esse ponto é particularmente problemático no Brasil, no qual grande parte da colheita da cana-de-açúcar (63 % da área colhida em 2004[32]) ocorre através da queima da palha e do corte manual. O trabalho manual nos canaviais é bastante extenuante, pois a jornada de trabalho varia, em média, entre dez a doze horas diárias e os trabalhadores realizam um grande esforço físico, desferindo cerca de trinta golpes de foice por minuto e as condições de trabalho são inóspitas: o trabalho é a céu aberto sob forte calor e fumaça (Alves, 2006; Abramovay, 2008). Além disso, segundo Balsadi (2007), 12,9% dos trabalhadores fixos e 32% dos empregados temporários não possuem carteira assinada.

Por isso, a mecanização da lavoura é essencial para a modernização do setor e para a sustentabilidade da produção. Entretanto, como aponta o CGEE (2009), a mecanização da colheita, além de esbarrar na ausência de incentivos financeiros para a sua implementação, possui limitações geográficas, uma vez que as colheitadeiras – com o nível tecnológico atual – só conseguem operar em declives inferiores a 11%[33].

[32] Em 1997 esse valor era de 82%, o que indica uma melhora significativa (Smeets *et al*, 2008)
[33] O desenvolvimento tecnológico da segunda geração estimularia a incorporação da palha à cadeia de produção do etanol, gerando incentivos financeiros para a mecanização da colheita.

Conclusão

Ao longo deste capítulo procurou-se demonstrar, de forma geral, as políticas de promoção ao etanol de primeira geração ao redor do mundo. Nota-se que a adoção de mandatos de utilização do álcool tem-se disseminado, assim como as políticas industriais de estímulo aos carros bicombustíveis. Nesse processo de construção de mercado para o etanol, os subsídios são essenciais para fomentar a produção, o desenvolvimento tecnológico e o consumo do produto.

As barreiras tarifárias e não tarifárias representam um importante mecanismo de proteção, estimulando os investimentos em P&D e na ampliação da capacidade produtiva, especialmente dos países da OCDE.

Segundo as projeções, a produção do biocombustível é esperada que se desenvolva consideravelmente, substituindo, gradativamente, a gasolina por etanol. Além disso, segundo as estimativas, o preço do petróleo deve-se manter elevado e o preço do álcool deve se reduzir, elevando a sua competitividade.

Contudo, a expansão da produção de etanol de primeira geração possui barreiras relevantes, como a competição com os alimentos, as questões relacionadas com o meio ambiente e as questões trabalhistas. Desse modo torna-se precípuo o desenvolvimento tecnológico do etanol celulósico como forma de superar as limitações da primeira geração.

Capítulo 2

Política de Inovação do Álcool de Cana-de-açúcar Brasileiro

Introdução

O presente capítulo possui o objetivo de analisar como a política do etanol conduzida pelo governo brasileiro estimulou o seu desenvolvimento tecnológico. Marca da promoção ao etanol no Brasil foi o Programa Nacional do Álcool que visou estimular o biocombustível no contexto de elevação do preço internacional do petróleo e de queda no preço do açúcar. As políticas adotadas pelo Proálcool foram relevantes para a expansão e desenvolvimento do mercado nacional e capacitaram o país a se tornar líder mundial da produção do álcool.

Este capítulo descreve os elementos centrais do processo de inovação que conduziu à redução de custos e à elevação da produtividade do etanol brasileiro. Além da criação de institutos de pesquisa com o objetivo de desenvolver tecnologia na área, destaca-se a relevância da cooperação entre os produtores, fornecedores, universidades, centros de pesquisa e o governo.

Para relatar a política de criação de mercado e os principais aspectos do processo de inovação do álcool brasileiro, o capítulo foi dividido em seis partes. Na primeira, será evidenciado como se engendrou e se desenvolveu a utilização do etanol no Brasil. Nesse ponto o foco são os antecedentes do Proálcool. Na seqüência, demonstra-se as políticas adotadas e suas diferentes fases de implementação (criação, expansão, crise e retomada).

Ulteriormente, faz-se uma análise crítica do Proálcool elucidando os seus principais resultados: a expansão da produção do álcool, a economia de divisas por meio da substituição da gasolina e a transformação na evolução da frota de automóveis brasileiros por tipo de combustível. O desenvolvimento do Sistema Nacional de Inovação do etanol foi outro resultado relevante do Programa e será aprofundado em seguida.

Por fim, será demonstrado o financiamento público à inovação do etanol no Brasil e serão analisados os resultados do desenvolvimento tecnológico do Sistema Nacional de Inovação do etanol e da cana-de-açúcar, de modo a elencar os principais avanços tecnológicos obtidos desde a criação do Proálcool em 1975.

2.1. A história da promoção ao etanol no Brasil

A utilização do álcool no Brasil foi marcada por diferentes fases e políticas de incentivo. Inicialmente, na década de 1930, o etanol foi empregado como política setorial a fim de socorrer a indústria de açúcar, abalada com as flutuações do preço e da demanda internacional do produto. Nos anos 1970, passou a ser estimulado com o objetivo de reduzir as importações de petróleo e a dependência energética. Atualmente, com o acirramento da preocupação com o efeito estufa, o etanol tem sido promovido como combustível menos poluente.

2.1.1. O álcool como resposta à crise do açúcar

A utilização de etanol no Brasil não é recente; em 1931 o governo de Getúlio Vargas decretou que o álcool deveria ser misturado com a gasolina na proporção

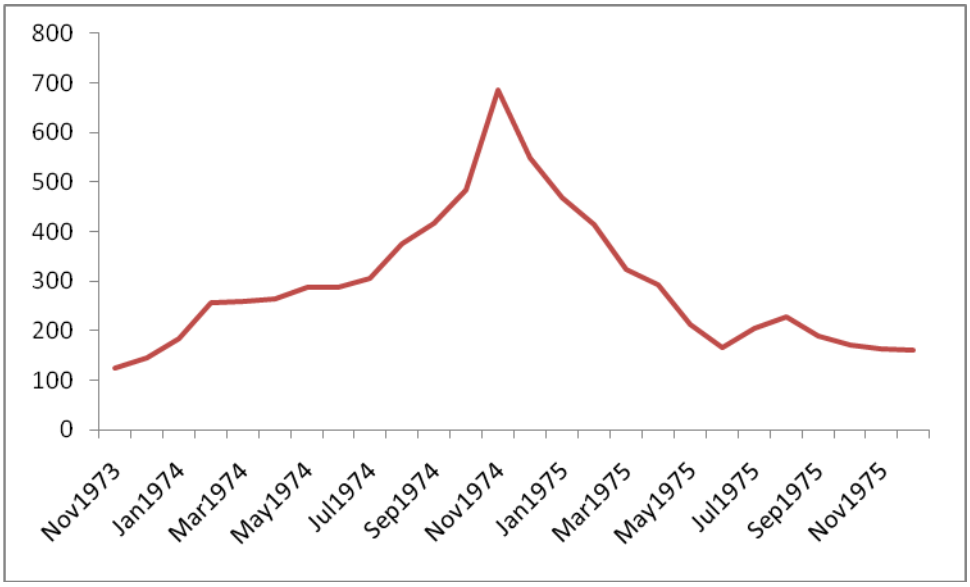
mínima de 5%. Essa decisão de misturar etanol à gasolina foi promovida pelo governo Getúlio Vargas com o intuito de proteger o setor açucareiro em meio ao colapso do mercado internacional do açúcar após a Crise de 1929[34]. Para estimular o setor, Vargas criou o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), em 1933, com o objetivo de modernizar as usinas, aumentar a produção e desenvolver pesquisa com a cana-de-açúcar (Hira; de Oliveira, 2009; CGEE; BNDES, 2008; Ueki, 2007).

Nos anos 1960, com o estabelecimento do embargo comercial a Cuba promovido pelos Estados Unidos, o IAA intensificou os estímulos à expansão da oferta para aproveitar o novo mercado criado e, como resultado, as exportações brasileiras de açúcar cresceram 250% entre 1965 e 1974 (Hira; de Oliveira, 2009).

Segundo os dados da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD)[35], o preço internacional do açúcar se elevou durante o início da década de 1970. No ano de 1974 houve uma rápida elevação dos preços e no final do mesmo ano – em novembro – teve início uma trajetória brusca de queda dos preços (gráfico 3).

[34] O teor de álcool anidro na gasolina não oscilou muito até o lançamento do Proálcool (CGEE, BNDES, 2008).
[35] stats.unctad.org/Handbook/.

Gráfico 3: Evolução do preço internacional do açúcar - (¢/lb.)



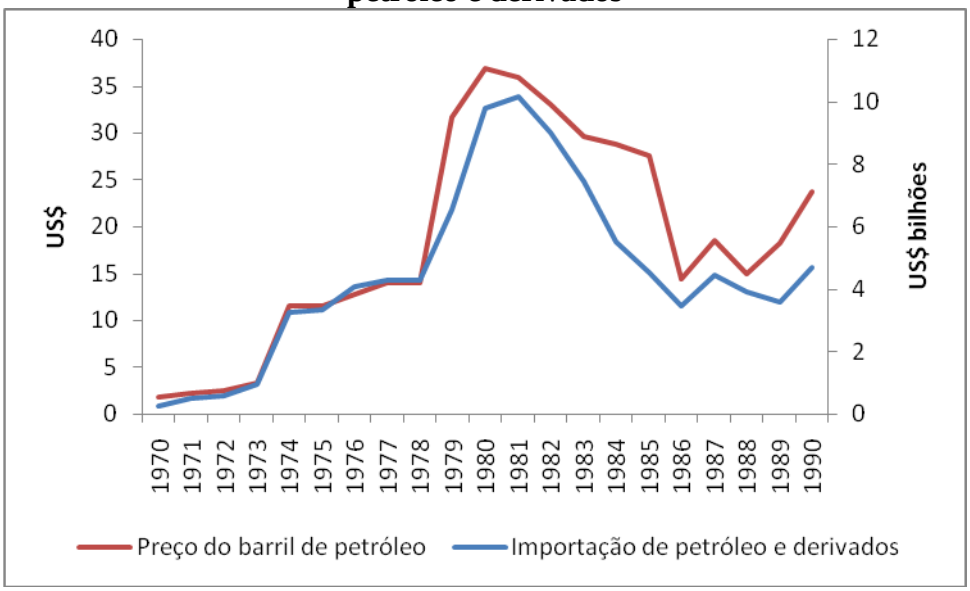
Fonte: elaboração própria a partir de UNCTAD[36]

Contudo, a elevação dos preços do açúcar até novembro de 1974 induziu os produtores a investirem em ampliação da capacidade produtiva e na modernização de suas fábricas (principalmente em São Paulo). Assim, com a reversão do preço internacional do produto, os usineiros passaram, então, a pressionar o governo para socorrer o setor (Hira; de Oliveira, 2009).

Dois anos antes do declínio do preço internacional do açúcar (1973), os países árabes, em reação ao apoio americano e holandês a Israel na guerra do Yom Kippur, decidiram cortar suas exportações de petróleo para esses países (Clô, 2000). Isso alterou significativamente a oferta e o preço do petróleo que se elevou de US$ 2,48 por barril para US$ 11,58 (gráfico 4). Como decorrência do aumento do preço do petróleo, os gastos, no Brasil, com a importação do produto e seus derivados se elevaram de US$ 0,65 bilhões, em 1973, para US$ 3,37 bilhões em 1974 (gráfico 4) e chegaram a alcançar US$ 10,2 bilhões em 1981.

[36] stats.unctad.org/Handbook/.

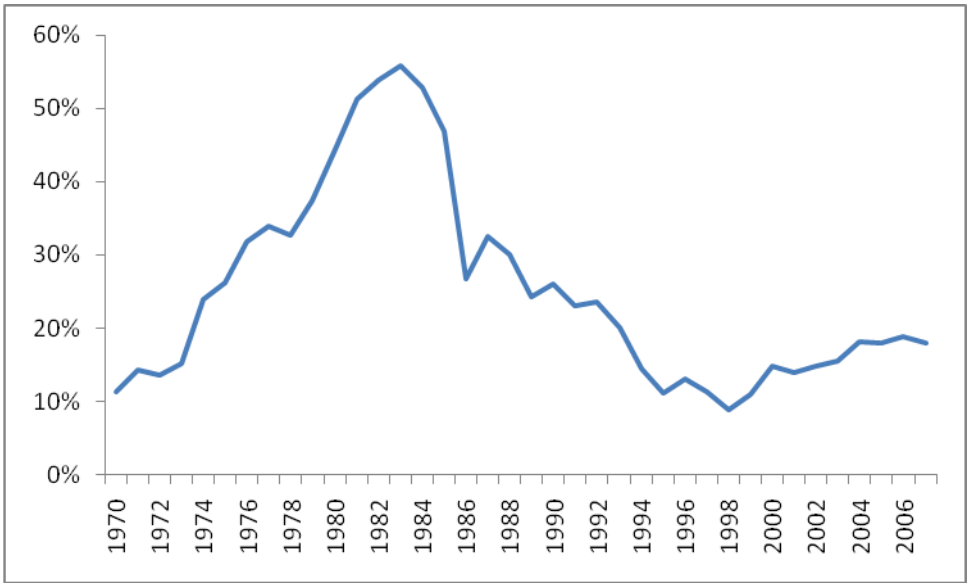
Gráfico 4: Evolução do preço do barril de petróleo e o valor das importações de petróleo e derivados



Fonte: elaboração própria a partir de MDIC e BP

Em 1972, o Brasil importava cerca de 80% de sua necessidade de petróleo (de Oliveira, 1991) e a participação do produto e seus derivados correspondiam a 14% da pauta de importações (gráfico 5). Já em 1974 esse valor passou a ser de 24% e, em 1983, 56%. Isso gerou uma enorme pressão cambial e com o objetivo de reduzir essa dependência, o governo brasileiro passa a estimular a produção doméstica de petróleo *offshore*.

Gráfico 5: Participação do petróleo e derivados na pauta de importações brasileiras



Fonte: elaboração própria a partir de MDIC

O declínio do preço do açúcar e o aumento do preço do petróleo no mercado internacional geraram uma condição propícia para o desenvolvimento do álcool no Brasil. Assim, em decorrência do lobby dos usineiros e da vontade do governo de diminuir sua dependência do petróleo, o país enceta um relevante projeto de promoção ao etanol – o Programa Nacional do Álcool (Proálcool).

2.2. O Proálcool

Com o Proálcool o governo adotou um conjunto de medidas para promover o setor alcooleiro e desenvolver mercado para o etanol no Brasil. Os instrumentos utilizados para desenvolver o setor se modificaram ao longo do tempo e para descrever as políticas realizadas, torna-se interessante dividir o Programa em quatro fases: i)

Implantação (1975-1979), ii) Expansão (1979-1985), iii) Crise (1986-2003) e iv) Retomada (2003- presente)[37].

2.2.1. Primeira fase (Implantação): 1975-1979

No início do Programa o objetivo central consistia em utilizar a estrutura produtiva existente do setor açucareiro instalando destilarias anexas às usinas de açúcar para produzirem álcool anidro[38]. Nesse momento o etanol era misturado com a gasolina nas refinarias numa proporção de 20%.

Assim, a implantação do Proálcool se aproveitou de uma estrutura pré-existente, em que, do lado da oferta não foram necessárias grandes modificações – a maioria das destilarias era anexa as usinas pré-existentes – e, do lado da demanda, os automóveis não precisaram ser adaptados para o novo combustível (gasohol). Nesse período, para gerir o Proálcool, foi criada a Comissão Nacional do álcool (CNA) (de Oliveira, 1991; CGEE, BNDES, 2008).

Além do fato do preço do açúcar no mercado internacional estar baixo e as destilarias serem facilmente adaptadas para produzirem etanol, o governo realizou, segundo de Oliveira (1991), duas importantes políticas para incentivar os usineiros a diversificarem a sua produção:

- O governo vinculou o preço do álcool ao preço do açúcar (44 litros de álcool para 60 kg de açúcar, valor esse que diminuiu com o tempo).
- Os investimentos na produção de álcool possuíam financiamentos públicos subsidiados com taxas de juros de 15%, enquanto que a inflação era de 30%.

[37] Essa divisão foi escolhida por facilitar a análise do Proálcool. Ela foi sugerida por Hira e de Oliveira (2009).

[38] Em 1979, oitenta e seis por cento das destilarias de etanol eram anexas a pré-existentes usinas de açúcar (Hira; de Oliveira, 2009).

Desse modo, os produtores de álcool tinham um mercado cativo, sem os riscos da competição com o mercado de petróleo e possuíam acesso a financiamentos extremamente favoráveis. Com esses incentivos, investir na produção de etanol representava uma excelente oportunidade financeira.

De acordo com Demétrius (*apud* Hira; de Oliveira, 2009) o objetivo inicial do Próalcool era substituir 20% do consumo da gasolina em 1980, ou 3,5 bilhões de litros. No início do Programa diversas matérias-primas foram testadas para a produção do álcool – a mandioca, o eucalipto, o babaçu etc. –, mas foi a cana-de-açúcar que apresentou os maiores retornos e já em 1980, mais de 90% da produção nacional de etanol provinha desse insumo[39].

2.2.2. Segunda fase (Expansão): 1979-1986

O ano de 1979 é marcado por dois importantes acontecimentos da história do século XX: o choque de juros norte americano e o segundo choque do petróleo[40] que elevou o preço do barril de US$ 14,02 (1978) para US$ 31,61 em 1979[41](gráfico 4, página 35).

O segundo choque do petróleo deteriorou a balança comercial brasileira e, conseqüentemente, induziu a políticas mais agressivas de substituição dos derivados. A principal política adotada foi a promoção do álcool hidratado[42]. Isso gerou a necessidade de uma nova infra-estrutura, na qual os carros precisaram ser ajustados ao novo combustível, assim como a logística de distribuição aos consumidores finais.

---

[39] A mandioca também possuía uma participação relevante (8%).
[40] O segundo choque do petróleo foi desencadeado pela ascensão ao poder do Aiatolá Khomeini e a eclosão da Revolução Iraniana (Clô, 2000).
[41] www.bp.com.
[42] Etanol utilizado nos carros à álcool.

Para reforçar o suporte à produção do biocombustível, o governo federal criou o Conselho Nacional do Álcool (CNAL) – responsável pela condução geral do Proálcool – e a Comissão Executiva Nacional do Álcool (CENAL) encarregada de implementar o Programa (CGEE, BNDES, 2008). Nesse momento, a meta do governo era produzir 10,7 bilhões de litros de etanol em 1985, o que significava aumentar a produção da cana-de-açúcar em dois milhões de hectares. Isso alterou a dimensão do Proálcool, que antes se destinava à diversificação da produção dos usineiros a partir da construção de destilarias anexas. Porém, com as novas metas foi incentivada a criação de destilarias independentes focadas na produção de etanol (de Oliveira, 1991). A tabela a seguir demonstra como evoluiu a produção de etanol por tipo de destilaria.

Tabela 9: Produção de álcool por tipo de destilaria

Ano	Anexas %	Independentes	Total (bilhões de litros)
1977-78	90	10	1,47
1979-80	90	10	3,4
1981-82	80	20	4,24
1983-84	67	33	7,86
1985-86	62	38	11,9

Fonte: elaboração própria a partir de Oliveira (1991)

A opção do governo de promover o álcool hidratado necessitava que a indústria automotiva desenvolvesse carros adaptados ao novo combustível[43]. Algumas companhias já haviam iniciado a pesquisa em seus países de origem e transferiram tecnologia para as subsidiárias no Brasil. Em 1976 a General Motors, a Ford e a Volkswagen anunciaram que não havia grandes barreiras tecnológicas para a produção do carro movido à álcool. Contudo, as montadoras viam-se desestimuladas a produzir e investir sem uma garantia da oferta futura do combustível e de políticas governamentais de incentivo (Hira; de Oliveira, 2009).

[43] A grande questão para as montadoras não é fabricar automóveis que consigam rodar com etanol, ou mesmo flex. A tecnologia para isso existe desde o início do século XX. O ponto central reside na eficiência do motor, ou seja, gerar automóveis à álcool que possam competir com os à gasolina em termos de eficiência energética.

Os incentivos necessários surgiram com a segunda fase do Proálcool. Nesse momento o governo passou a subsidiar o álcool hidratado, a compra de carros à álcool, a infra-estrutura necessária para o desenvolvimento da distribuição do novo combustível, o financiamento para a expansão da produção de etanol, entre outras políticas para intensificar o uso do biocombustível. As políticas adotadas, de acordo com Hira e de Oliveira (2009), foram:

- Estabelecer a mistura mínima de etanol à gasolina;
- Garantir preços inferiores do etanol hidratado frente à gasolina. O preço do álcool foi fixado em 65% ao da gasolina (1980) e depois reduzido para 59% (1982)[44];
- Garantir preço mínimo aos usineiros;
- Empréstimos subsidiados para construção ou expansão de destilarias;
- Estímulos para a implantação de bombas de álcool nos postos de gasolina;
- Manter estoques estratégicos para estabilizar a oferta;
- Reduzir os impostos para o carro a álcool;
- Fornecer linhas de crédito preferenciais para a compra de carros movidos a álcool.

A partir desse pacote de medidas, as montadoras passaram a produzir carros a álcool. A venda desses veículos cresceu rapidamente, passando de 1% do total de carros vendidos em janeiro de 1979 para 73% em dezembro do mesmo ano (Hira; de Oliveira, 2009).

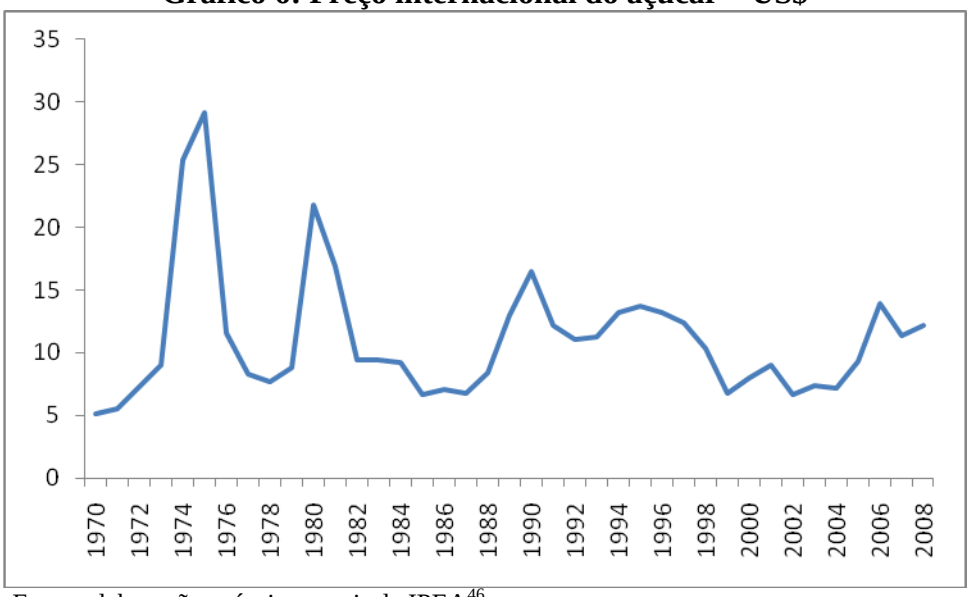
A larga utilização do etanol gerou um superávit de gasolina. A Petrobras passou a exportar esse excedente e iniciou medidas para reajustar as refinarias a fim de produzir mais diesel em detrimento da gasolina (Rosillo-Calle; Cortez, 1997).

[44] É importante destacar que o álcool possui um rendimento cerca de 70% inferior ao da gasolina. Assim, para ser vantajoso economicamente, o biocombustível precisa custar menos do que 70% do valor da gasolina.

2.2.3. Terceira fase (Crise): 1986-2002

A terceira fase do Próalcool é marcada pela reversão dos principais fatores que estimularam o Programa: o preço do petróleo caiu aproximadamente 50%[45] devido ao contra-choque realizado pela Arábia Saudita e o preço do açúcar ganha um novo ciclo de elevação (gráfico 6). Ademais, a exploração de novas bacias de petróleo em território nacional – com destaque para a bacia de Campos – e o processo de democratização passaram a gerar dúvidas a respeito da continuação do Programa.

Gráfico 6: Preço internacional do açúcar – US$



Fonte: elaboração própria a partir de IPEA[46]

O novo contexto fez o governo revisar sua atuação no setor de modo a reduzir os subsídios[47]. Com isso os usineiros substituíram parte da produção de etanol pela

[45] O preço do Brent decaiu do patamar de US$ 27,56 em 1985, para US$ 14,43 em 1986 (gráfico 4, p. 35).
[46] www.ipeadara.gov.br.
[47] O diferencial de preços entre o álcool hidratado e a gasolina passou a ser de apenas 25% (antes era 35%) (Costa, 2008).

produção de açúcar, o que aprofundou a crise do setor e gerou a necessidade de importar metanol para abastecer o mercado doméstico[48] (Costa, 2008).

Em 1990 é fechado o IAA e em 1999 são extintos os subsídios ao etanol hidratado e anidro. Esse cenário de crise do biocombustível influenciou na redução da venda de novos carros a álcool e estimulou a conversão desses automóveis para gasolina (ver gráfico 8, p. 44).

2.2.4. Quarta fase (retomada): 2003– presente

O desenvolvimento tecnológico dos carros bicombustíveis – capazes de rodar tanto com gasolina, como com etanol hidratado – introduziu um novo estímulo ao álcool. Os automóveis flex permitem ao consumidor escolher o combustível de acordo com os seus preços relativos e o seu rendimento, o que gera dinamismo ao mercado.

Para fomentar o desenvolvimento dos veículos flex – introduzidos ao mercado brasileiro em 2003 –, o governo optou por estender os incentivos fiscais dos carros a álcool para os veículos flex. A tabela abaixo demonstra o Imposto sobre o Produto Industrializado (IPI) dos automóveis flex, à álcool e à gasolina:

Tabela 10: Alíquota de IPI incidente sobre os automóveis

Veículo	Alíqüota (%)
Carro 1.0 qualquer combustível	7
Carro acima de 1.0 até 2.0 a álcool ou flex	11
Carro acima de 1.0 até 2.0 a gasolina	13
Carro acima de 2.0 a álcool ou flex	18
Carro acima de 2.0 a gasolina	25

Fonte: elaboração própria a partir de Costa, 2008

Nessa fase, um dos principais incentivos ao etanol é o “subsídio indireto”, isso porque incide sobre a gasolina uma sobretaxa, principalmente, a Contribuição de

[48] Entre 1989-95 o Brasil importou 2,2 bilhões de litros de metanol (Costa, 2008).

Intervenção no Domínio Econômico (CIDE), que possuía em 2003 o valor aproximado de 54 centavos por litro. Contudo, com a subida do preço do petróleo, o valor da CIDE foi diminuindo até alcançar os atuais 18 centavos por litro. Além disso, de acordo com Almeida *et al* (2007), o etanol possui menor incidência de Contribuições Sociais.

2.3. Resultados do Proálcool

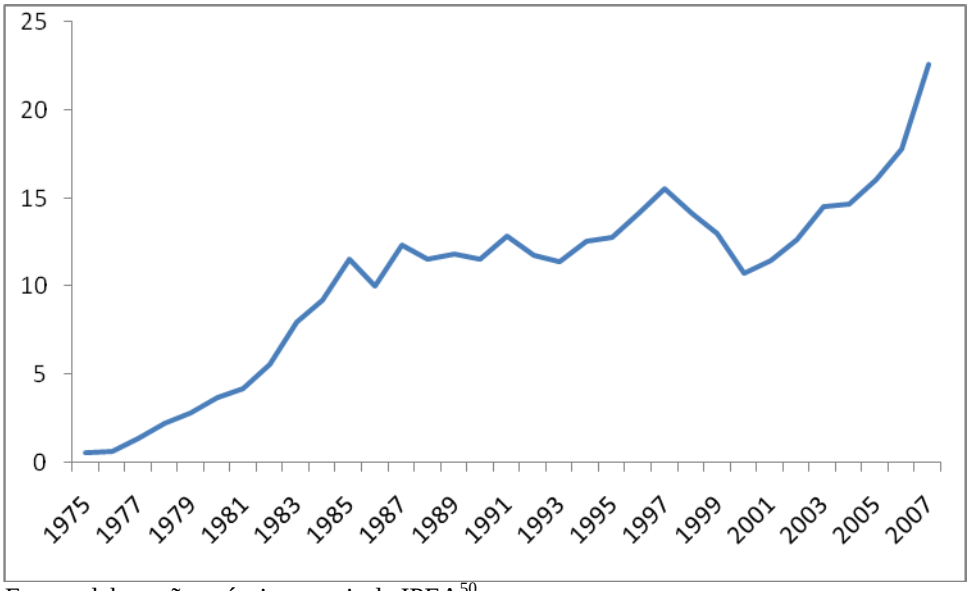
Os principais resultados do Programa foram: a redução da importação de petróleo, a elevação da produção de etanol, a disseminação dos carros à álcool (e depois flex) e o desenvolvimento de uma cadeia de inovação tecnológica composta por Instituições de pesquisa, Universidades, empresas e o governo.

Como política de substituição ao petróleo importado com o intuito de reduzir as restrições do balanço de pagamento, podemos considerar o Proálcool um sucesso, já que entre 1975-1987[49] ele representou a economia de 9,9 bilhões de dólares (de Oliveira, 1991).

Já a evolução da produção nacional de etanol refletiu a condução do Proálcool (gráfico 7). Nas duas primeiras fases do Programa (1975-1986) houve um crescimento acelerado da produção. Contudo, no período de crise, quando o governo diminuiu os incentivos, a produção não manteve o ritmo anterior de crescimento. Porém, com a difusão dos carros flex a partir de 2003, o etanol retomou a trajetória de desenvolvimento acelerado.

[49] Entre 1975 a 1986 foi o período de maior estrangulamento externo na balança comercial, pois o país era um grande importador de petróleo e o preço do produto tinha se elevado acentuadamente com os dois choques do petróleo.

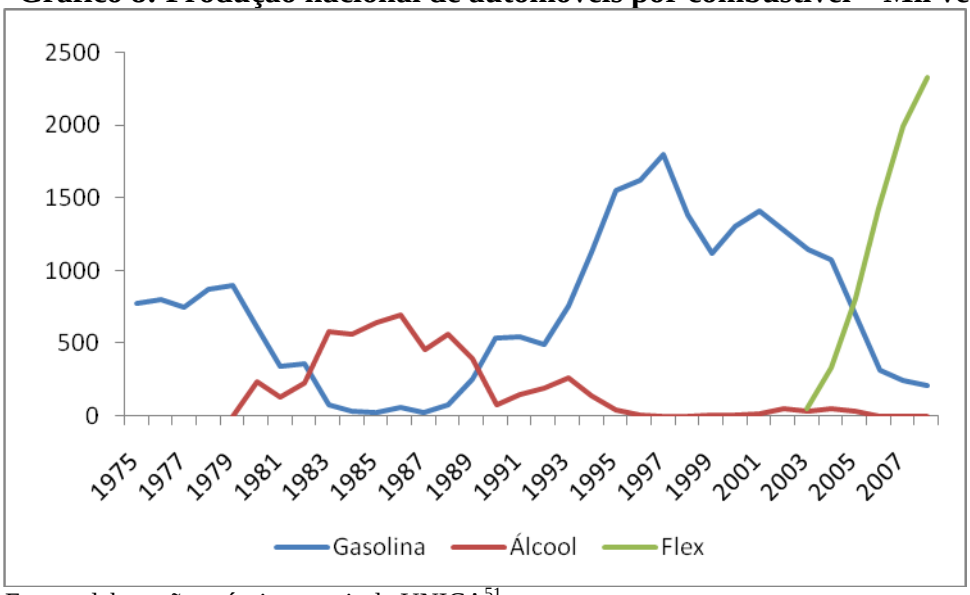
Gráfico 7: Produção nacional de etanol (bilhões de litros)



Fonte: elaboração própria a partir de IPEA[50]

Outro modo importante de demonstrar o resultado do Proálcool é analisar a evolução da venda de automóveis por tipo de combustível. Como se pode observar no gráfico 8, a venda de carros à álcool tem início em 1979 – com a segunda fase do Proálcool – e cai com a crise do Programa após 1986. Já em 2003 inicia a difusão dos veículos bicombustíveis e a queda da produção de carros à gasolina.

Gráfico 8: Produção nacional de automóveis por combustível – Mil veículos



Fonte: elaboração própria a partir de UNICA[51]

[50] www.ipeadata.gov.br.

Não obstante esses resultados, é necessário descrever que outro elemento central do Proálcool foi o desenvolvimento do Sistema de Inovação que resultou no melhoramento genético da cana-de-açúcar, melhor aproveitamento dos resíduos e induziu à elevação da produtividade do setor. Por isso, o Proálcool se tornou o principal programa de bioenergia do mundo (Goldemberg *et al*, 2004), não apenas pelas vantagens naturais do país em produzir biomassa, mas principalmente por ingentes avanços tecnológicos fruto da construção do Sistema Nacional de Inovação do setor sucroalcooleiro.

2.4. Sistema Nacional de Inovação do álcool e da cana-de-açúcar

As ações do Proálcool estimularam o desenvolvimento do Sistema de Inovação do setor de açúcar e álcool que engendrou grandes avanços tecnológicos. Uma característica relevante do Programa é que ele criou mercado para o álcool e simultaneamente incentivou a sua pesquisa e desenvolvimento.

O apoio governamental à pesquisa aplicada ao biocombustível já havia sido iniciada alguns anos antes do lançamento do Proálcool. No início dos anos 70, o IAA implementou o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR) para desenvolver novas variedades da cana mais adaptadas ao clima brasileiro (Ueki, 2007; Rosário, 2008).

No início dos anos 1990, porém, o PLANALSUCAR e o IAA foram extintos. E, para dar continuidade as suas ações, formou-se em 1991 a Rede Universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA). Essa Rede foi formada

[51] www.unica.com.br.

inicialmente pela parceria entre sete universidades federais[52] com a finalidade de prosseguir as atividades do PLANALSUCAR e aproveitar toda infra-estrutura e corpo-docente herdado[53].

Os recursos da RIDESA são provenientes, em sua maioria, das empresas sucro-alcooleiras associadas. No momento, duzentos e quarenta e oito usinas se coadunam ao projeto, que conta também com financiamentos e subvenções governamentais, especialmente da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Rosário, 2008).

A RIDESA, além de realizar pesquisa no melhoramento genético da cana-de-açúcar e de promover a interação entre os produtores, as universidades federais e fundações governamentais, também realiza parcerias com os fornecedores da indústria e com outros institutos de pesquisa[54].

Apesar da RIDESA ter atuação em diversos estados do país, o desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro está concentrado, em grande medida, no estado de São Paulo, pois essa região produz cerca de 60% da produção nacional de etanol e cana-de-açúcar[55], possui mão-de-obra qualificada, além de ser o grande centro consumidor.

2.4.1. Clusters de pesquisa no estado de São Paulo

Um elemento central para o estado de São Paulo ser o grande propulsor da geração de conhecimento no setor sucroalcooleiro se deve à grande interação realizada na região entre os produtores, os usineiros, os fornecedores de materiais e

[52]Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).
[53] www.ridesa.com.br.
[54] Idem.
[55] www.anp.gov.br.

equipamentos, as agências de fomento, importantes universidades estaduais e institutos de pesquisa (Ueki, 2007).

Como salienta Carlsson e Stankiewicz (*apud* Hekkert *et al*, 2007), o processo de interação e de difusão do conhecimento é relevante para o processo de inovação. De acordo com Cassiolato e Lastres (2005), o desempenho inovativo das empresas e das instituições de pesquisa são estimulados por suas relações com outras empresas, universidades e organizações, sendo a inovação um fenômeno sistêmico marcado por diferentes tipos de cooperação.

Segundo Ueki (2007, p.40), a interação é fundamental para o desenvolvimento de máquinas e equipamentos da indústria de álcool e açúcar: "*gerally speaking, innovations in equipment are achieved through interactions between sugar and ethanol producers and manufacturers of machines*".

Dependendo do tipo e da relevância dessa interação é fundamental a criação de Arranjos Produtivos Locais (APL) para estimular a cooperação entre as firmas, instituições, universidades etc. (Lastres *et al*, 1999; Lastres; Cassiolato, 2008; Schmitz, Nadvi, 2008).

Por esse motivo, as principais entidades envolvidas em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) do setor se estabeleceram em regiões próximas gerando dois grandes pólos de concentração localizados em Piracicaba, Campinas e suas vizinhanças (Fronzaglia; Martins, 2006; Ueki, 2007).

Piracicaba

Piracicaba possui capacidade notória em P&D e educação superior para o suporte do setor. Há na cidade sete institutos de P&D relacionados a ciências físicas e

da natureza, além de dezoito cursos de ensino superior com mais de vinte mil alunos universitários, com destaque para a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) (Ueki, 2007).

Além disso, a cidade – e sua redondeza – abriga sessenta e nove empresas atreladas à cadeia produtiva do etanol (incluindo a sede da Dedini, principal fornecedora de máquinas e equipamentos para o setor), o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), dez usinas de açúcar e álcool e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) (Ueki, 2007; Graça *et al*, 2007).

Em 1959, foi criada a Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR), com a intenção de comercializar a produção de seus associados[56]. O Centro de Tecnologia Copersucar foi implantado em 1979 para promover a interação e modernização dos produtores associados. A partir de 2004, ao incorporar novas usinas fora do estado de São Paulo, passou a se chamar Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)[57].

O CTC é um centro privado de P&D formado por aproximadamente duzentas unidades associadas, entre usinas e associações de fornecedores de cana-de-açúcar que respondem por aproximadamente 60% da produção de cana do país[58].

Com recursos de R$ 45 milhões anuais, o CTC possui uma ampla pesquisa focada no melhoramento genético da cana-de-açúcar com o objetivo de desenvolver novas variedades da planta menos suscetíveis à seca, mais resistentes a pragas e com maior teor de sacarose e fibras. Como o maior custo da produção do etanol reside no preço da matéria–prima (entre 60-70%), o desenvolvimento tecnológico da cana-de-açúcar é fundameltal para a sua redução de custos (CGEE, 2009).

---

[56] http://www.copersucar.com.br/hotsite/2010/historico.html.
[57] wwwctcanavieira.com.br.
[58] Idem.

Outro foco do desenvolvimento tecnológico atrelada à produção do etanol, além do melhoramento genético da cana-de-açúcar, refere-se aos processos de: co-geração, fertilização, irrigação, mecanização, produção industrial e controle de imagens por satélite (Abarca, 1999; Rosário, 2008). O CTC, como principal centro de pesquisa nacional em etanol e açúcar, realiza pesquisa e desenvolvimento em todas essas áreas.

Para o aprimoramento da pesquisa de novas variedades, o CTC em parceria com a RIDESA e outras instituições públicas de fomento realizou o Programa Genoma da Cana-de-açúcar – Sugar Cane Expressed Sequence Tag (SUCEST)[59] – que identificou quarenta e três mil genes entre 1999 e 2003 e entre 2003 e 2004 foram realizadas a patente de trezentos e quarenta e três genes (Rosário, 2008).

Embora possua a sede e a maior parte de suas operações concentradas em Piracicaba, o CTC possui unidades de pesquisa em Jaú e Maracatu, além de um banco de germoplasma em Camamu, na Bahia (Rosário, 2009).

Pela tabela 11, pode-se notar que os investimentos em P&D do CTC e da Dedini correspondem por uma significativa parcela dos investimentos por institutos ou centros privados de pesquisa e desenvolvimento do setor.

Tabela 11: Recursos anuais em P&D no setor sucroalcooleiro por centro de pesquisa privado

Setor Privado	Valor Estimado (R$ milhões)
CTC	45
Dedini	19
Indústria de Máquínas Agrícolas (Case, John Deere, outras)	15
Alellyx/CanaVialis	n.d.

Fonte: elaboração própria a partir de CGEE (2009)

Campinas

A cidade de Campinas é referência em pesquisa tecnológica no país, sobretudo no setor agroenergético. Marco disso é a Universidade de Campinas (UNICAMP), a

[59] Esse programa foi lançado em 1998 com o objetivo de identificar 50.000 genes da cana-de-açúcar (Ueki, 2007).

existência de dezoito centros de P&D em ciências físicas e naturais e trinta e sete centros de ensino superior (Ueki, 2007).

O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) foi fundado em 1887 e possui experiência no desenvolvimento genético da cana-de-açúcar. Todavia, produzir novas variedades da planta demora cerca de dez a doze anos, o que encarece e prorroga o seu desenvolvimento tecnológico. Por isso, o IAC inaugurou recentemente um laboratório de biologia molecular como ferramenta para encurtar o período de obtenções de novas variedades da planta[60].

Segundo o Estudo "Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil" (CGEE, 2009), o programa do IAC conta com recursos de dois milhões de reais por ano, sendo financiado em 40% pelo setor público e o restante com recursos privados.

A Votorantim Novos Negócios procurou aproveitar a estrutura da cidade e resolveu investir na pesquisa de melhoramento genético da cana e engendrou duas empresas sediadas em Campinas: a Alellyx e a CanaVialis[61]. De acordo com Ueki (2007, p. 34), essas empresas são exemplos de que:

> *The R&D activities conducted or supported by public foundations, public research institutions and universities have facilitated the creation of linkages between top researchers and the private companies with financial resources to develop new business.*

A Alellyx, fundada em 2002, realiza pesquisa com diversas plantas e utiliza a genômica aplicada para desenvolver variedades de cana-de-açúcar com maior teor de sacarose, mais resistentes à seca e mais resistentes a pragas[62].

A Alellyx tem como parceira a CanaVialis – empresa também sediada em Campinas – que atua na produção e comercialização das mudas produzidas pela

[60] www.iac.sp.gov.br.
[61] Atualmente essas empresas pertencem à Monsanto.
[62] Alellyx.com.br.

Allelyx. Desse modo, as novas mudas são criadas e desenvolvidas pela Alellyx, porém é a CanaVialis quem reproduz as plantas e as comercializa[63].

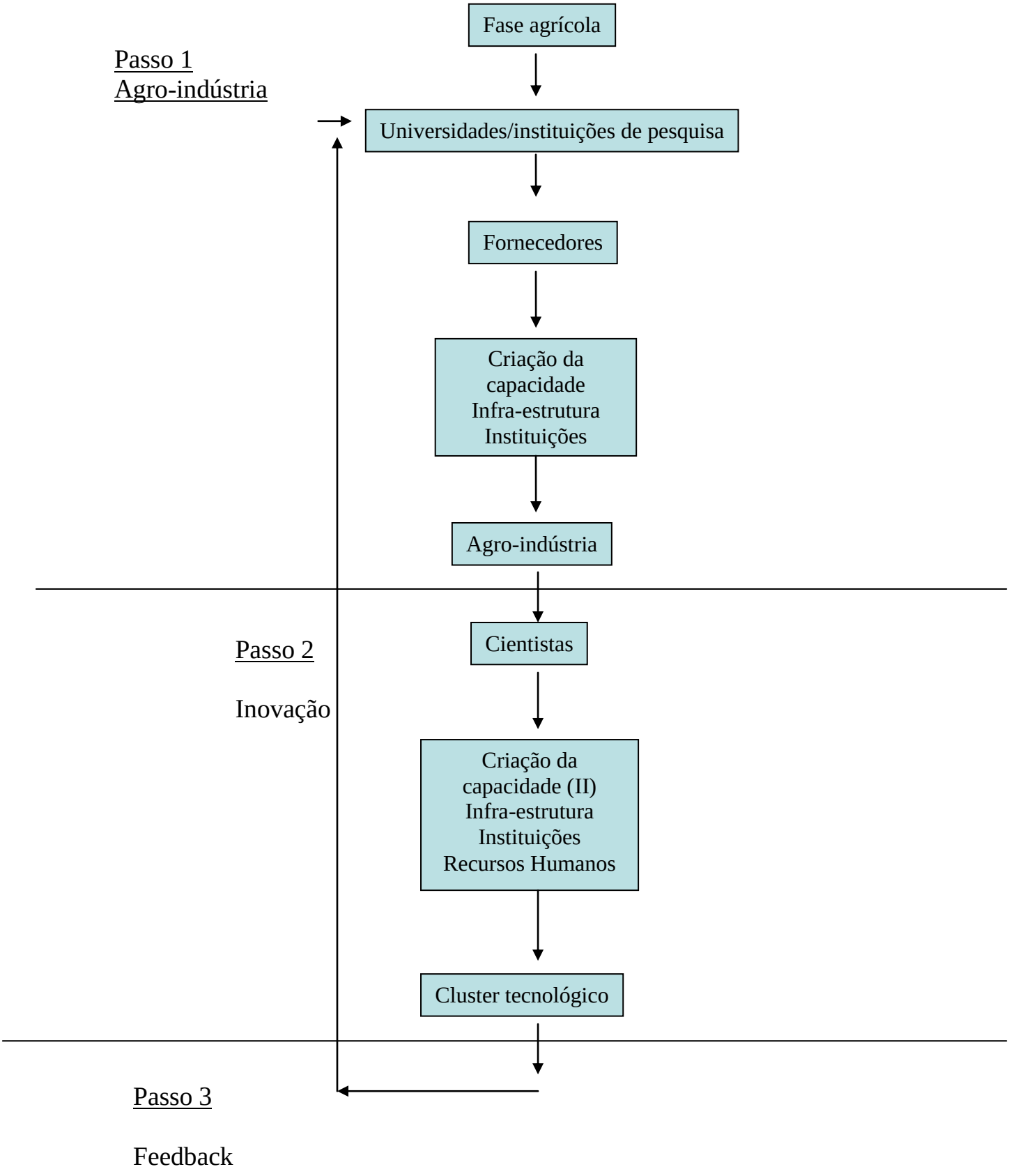
Recentemente, inaugurou-se em Campinas (22/01/2010) o Laboratório de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Não obstante o seu foco estar concentrado na conversão de materiais lignocelulósicos em etanol, o CTBE também realiza pesquisa com mecanização de baixo impacto e ciência básica[64].

Contudo, outros importantes centros de pesquisa estão localizados fora do estado de São Paulo, como é o caso da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) (Ueki, 2007).

A figura 2 a seguir sintetiza o processo de interação do setor sucroalcooleiro e demonstra a relevância do papel da interação entre Universidades, institutos de pesquisa, fornecedores, produtores e o governo.

[63] www.canavialis.com.br.
[64] www.bioetanol.org.br.

Figura 2: Interação do setor sucroalcooleiro



Fonte: elaboração própria a partir de Ueki (2007).

Para a formação desse Sistema Nacional de Inovação do açúcar e do álcool foi fundamental a alavancagem das atividades de inovação. Como já demonstrado, uma forma bastante utilizada de financiamento à pesquisa no setor foi a associação dos produtores com o intuito de gerar economias de escala nas atividades de P&D. Isso, embora seja positivo em termos de custos de produção, não gera ganhos de apropriabilidade, uma vez que as descobertas e avanços tecnológicos são transferidos para todos os associados. O financiamento público às atividades de P&D também é crucial para a geração de conhecimento do setor e será aprofundado a seguir.

2.5. O Financiamento à Inovação

Os Fundos Setoriais de Ciência e Tecnologia foram criados em 1999 com o objetivo de incentivar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação do país. Os recursos desses fundos provêm de contribuições incidentes sobre a exploração de recursos naturais, de uma parcela do Imposto sobre Produto Industrializado (IPI) e de uma fração da CIDE (de Melo, 2007).

Os Fundos Setoriais são utilizados como uma importante ferramenta do governo federal para alavancar as pesquisas de inovação do país, contribuindo para a implantação de novos projetos em Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs), que além de gerarem conhecimento, fazem a transferência para o setor produtivo. A aplicação desses recursos ocorre, em sua maioria, por meio de editais promovidos pela FINEP e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (CGEE, 2009).

Embora a geração de conhecimento na produção de etanol seja financiada com esses recursos por meio do CT-ENERG, CT-PETRO, CT-Agro, CT-Transporte, CT-

Infra, CT-Biotec e CT-VerdeAmarelo, não há um Fundo Setorial específico para o biocombustível, o que é contestado pelos produtores (CGEE, 2009). O valor estimado pelo CGEE (2009) para os recursos dos Fundos Setoriais alocados em P&D do setor sucroalcooleiro são de R$ 22 milhões (tabela 12).

Tabela 12: Recursos anuais em P&D no setor sucroalcooleiro por órgão público

Orgão	Valor estimado R$ (milhões)
BNDES (Funtec)	12*
Fundos Setoriais	22
FAPESP (Programa Etanol)	30*

*Valor previsto para os próximos anos

Fonte: elaboração própria a partir de CGEE (2009)

O financiamento público promovido pelas universidades, centros e institutos de pesquisas também possui grande relevância para alavancar o desenvolvimento tecnológico do setor (tabela 13):

Tabela 13: Recursos anuais em P&D no setor sucroalcooleiro por instituição ou centro de pesquisa

Setor Público	Valor Estimado (R$ milhões)
Ridesa	1,35
Embrapa (energia e etanol)	13
IAC	3
UNICANP	3
UFRJ	4,5

Fonte: elaboração própria a partir de CGEE (2009)

Esses recursos em P&D são cruciais para o desenvolvimento de inovações tecnológicas que propiciam a modernização do setor e na próxima seção serão evidenciados os resultados desses investimentos realizados pelo Sistema Nacional de Inovação do açúcar e do álcool.

2.6. Resultados da inovação do etanol

Como resultado do Proálcool e da articulação do Sistema de Inovação da cana-de-açúcar e do etanol, foram desenvolvidas mais de quatrocentas variedades de cana-de-açúcar – atualmente existem cerca de quinhentas variedades da planta –, a produtividade agrícola (medida em litros/hectare) se elevou de 3.000 para 7.000 e o tempo de fermentação foi reduzido de vinte e quatro horas para uma faixa de seis a oito horas. Ademais, elevou-se o rendimento da produção e o bagaço excedente, além de reduzir a produção da vinhaça que, não obstante ser utilizada como fertilizante, é um resíduo da produção de açúcar e álcool. A tabela a seguir elenca importantes resultados do esforço de pesquisa realizado a partir do Proálcool.

Tabela 14: Desenvolvimento tecnológico

Parâmetro	Unidade	Início do Proálcool	Hoje
Tempo de fermentação	(h)	24	6-8
Rendimento total	litros/tonelada	66	86
Bagaço excedente	(%) por usina	até 8	até 78
Produção de vinhaça	l vinhaça/l etanol	13	0,8
Produtividade	litros/hectare	3,000	~7.000
Co-geração	MW	-	3081
Variedades	-	10	~500

Fonte: elaboração própria a partir de Soares (2009); Almeida *et al* (2007); Souza (2009)

A co-geração foi um elemento central da inovação do setor. Até o final dos anos 1990 as turbinas operavam com baixas pressões e temperaturas (a maioria trabalhava com turbinas de 21-bar e 300°C). A partir de 2000, com a permissão de exportar energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN), as usinas passaram a utilizar turbinas modernas e a energia gerada pela co-geração tem crescido, em média, 67% ao ano. No momento quarenta e oito usinas já estão conectadas ao SIN e a capacidade instalada é de 3.081 MW, dos quais 509 MW são exportados ao Sistema Interligado (ISO, 2009).

A mecanização da colheita foi outro ponto crucial para a modernização do setor, uma vez que a queima da palha gera problemas ambientais regionais de grande impacto e a mão-de-obra empregada no corte da cana possui condições de trabalho bastante precárias, além de serem mal remunerados (Balsadi, 2007; Alves, 2006[65]). Ademais, o conteúdo energético da palha representa cerca de um terço do valor energético da cana, sendo a sua incorporação na co-geração, na produção de etanol via hidrólise enzimática ou na adubação do solo importante para a evolução do setor[66]. Dessa forma, a produção de etanol de cana-de-açúcar deve elevar a sua intensidade tecnológica, de modo a aproveitar integralmente a biomassa (bagaço e palha).

Como decorrência do desenvolvimento tecnológico a partir do Proálcool, o etanol brasileiro reduziu os seus custos de produção. Isso, somado com as vantagens naturais do país em crescer biomassa, transformou o Brasil no país produtor de álcool com o menor custo de produção. Enquanto o etanol de milho americano possui custos entre 0,33-0,50 Euro/litro e o de trigo europeu cerca de 0,74[67] Euro/litro, o custo do etanol brasileiro é estimado entre 0,21-0,29 Euro/litro (Walter *et a*l, 2008).

Outra vantagem do etanol brasileiro é sua elevada produtividade. Segundo Balat (2009), são produzidos no Brasil 6.641 litros de etanol por hectare, enquanto que nos EUA (a partir do milho) esse valor é de 3.770 litros por hectare e na União Européia (beterraba) 5.145.

---

[65] De acordo com Alves (2006) a produtividade de um trabalhador nas lavouras de São Paulo em 1980 era de 6 toneladas/dia e passou para 12 toneladas/dia em 1990 devido, principalmente, à escolha mais apurada da mão-de-obra – inclusão de um período de experiência – e da mecanização.

[66] No atual estágio tecnológico, a palha possui dificuldade em ser utilizada comercialmente devido ao custo do transporte, à baixa eficiência média das caldearias e do elevado custo da produção de etanol via hidrólise enzimática (Bake *et al*, 2008).

[67] O etanol de beterraba europeu possui o seu custo de produção em torno de 0,84 Euro/litro (Walter *et al*, 2008).

Conclusão

O Proálcool foi um ambicioso plano do governo brasileiro para reduzir a sua dependência do petróleo e socorrer a indústria açucareira. Ele pode ser considerado um sucesso, pois gerou economia de divisas e promoveu uma indústria sucroalcooleira bastante competitiva que é referência internacional. Os principais elementos do Programa foram a ampliação e sustentação do mercado interno de etanol via subsídios, mandatos de utilização, financiamentos, criação de infra-estrutura etc.

Esses incentivos do governo incitaram a inovação. De um lado, as montadoras de automóveis procuraram se beneficiar dos estímulos governamentais e desenvolveram o carro flex. Por outro, os usineiros e seus fornecedores procuraram gerar tecnologia para reduzir o custo de produção do etanol.

Para o aperfeiçoamento da fase agrícola foi importante a criação de institutos de pesquisa que engendraram novas variedades de cana-de-açúcar com maior teor de sacarose, mais resistentes a pragas e doenças e mais adaptadas a determinadas condições climáticas (possui destaque nesse processo, o CTC, a RIDESA, o IAC e a Alellyx/CanaVialis). Outra inovação relevante do processo agrícola foi o aprimoramento da logística da plantação e da colheita, com destaque para a mecanização em substituição à queima da palha.

Já no desenvolvimento tecnológico da fase industrial de produção do etanol, foi crucial a atuação dos fornecedores de materiais e equipamentos em parcerias com institutos de pesquisa, como o CTC, para aprimorar a produção do biocombustível. Contudo, como a conversão de açúcares em álcool já é um processo maduro, não são esperados grandes avanços tecnológicos no futuro. Ademais, a matéria-prima (a cana)

representa cerca de 70% dos custos totais de produção. Desse modo, a fase agrícola da produção possui maiores possibilidades de aprendizado e de redução de custos.

Uma marca do processo de inovação da cana-de-açúcar e do álcool brasileiro foi a interação entre as Universidades, as agências de fomento – FAPESP, FINEP etc. –, os centros de pesquisa, os fornecedores de máquinas e equipamentos, os usineiros e o governo. Essa cooperação entre os diversos elos da cadeia de inovação do setor sucroalcooleiro foi estimulada pela concentração de empresas, institutos de pesquisa, fabricantes de máquinas e equipamentos, produtores e usinas nas cidades de Piracicaba e de Campinas.

As principais formas de conhecimento que envolve o Sistema Setorial de Inovação do etanol são: o *learning-by-doing, learning-by-searching and learning-by-interaction*. O Proálcool conseguiu estimular essas três formas de conhecimento, tanto na fase agrícola, como na industrial. O Programa apoiou o P&D nas atividades de melhoramento genético da cana-de-açúcar, promoveu a interação entre os agentes do setor e propiciou o desenvolvimento tecnológico da produção. As políticas do governo brasileiro estimularam a produção, o consumo e as atividades de pesquisa. Com isso, o etanol brasileiro obteve uma importante curva de aprendizado, reduzindo custos de produção e elevando sua produtividade.

Capítulo 3

O Álcool de Segunda Geração

Introdução

O foco deste capítulo consiste em analisar as políticas de promoção ao etanol celulósico empreendidas nos principais países e regiões produtoras: Estados Unidos, Brasil e União Européia.

No primeiro momento, são descritas as rotas de conversão da lignocelulose[68] em etanol – a bioquímica e a termoquímica –, evidenciando os seus principais processos e perspectivas de avanços tecnológicos.

Na seqüência, são investigadas as políticas americanas de estímulo ao etanol celulósico. Será demonstrado que os Estados Unidos possuem uma severa dependência energética e que estão realizando grandes investimentos para desenvolver o álcool de segunda geração.

A União Européia, com menos intensidade, também tem realizado políticas de promoção ao etanol lignocelulósico. E o Brasil, mesmo sendo líder mundial em tecnologia de produção de etanol de primeira geração, começa a articular projetos e instituições de forma a estruturar um incipiente Sistema de Inovação da segunda geração do biocombustível.

[68] A biomassa é um material lignocelulósico, i.e., a sua composição é basicamente celulose (40-60% da matéria seca), hemicelulose (20-40%) e lignina (10-25%).

3.1. A segunda geração do etanol

O etanol de primeira geração é produzido através de insumos agrícolas que são também utilizados na alimentação, como é o caso do milho, da cana-de-açúcar, da beterraba e do trigo. O etanol de segunda geração, por outro lado, consegue gerar biocombustível de praticamente qualquer biomassa, o que possuí importantes benefícios, como: o baixo custo dos insumos, abundância de recursos, a possibilidade de utilizar terras marginais, elevar a produtividade agrícola e a utilização de resíduos agrícolas, florestais ou lixo municipal como matéria-prima[69] (IEA, 2008a).

Apesar da ampla gama de insumos disponíveis para a produção de etanol de segunda geração, certas matérias-primas têm ganhado destaque por possuírem maior produtividade, conteúdo energético ou vantagens industriais de produção. Alguns insumos promissores são: certos tipos de gramíneas (*myscatos*, *switchgrass* etc.), algas, árvores de crescimento rápido (eucaliptos), resíduos florestais e resíduos agrícolas (Sassner *et al*, 2007;IEA, 2008a).

Para a conversão dos materiais lignocelulósicos em etanol existem duas trajetórias tecnológicas: a bioquímica e a termoquímica, como serão demonstradas a seguir.

3.1.1 A rota bioquímica

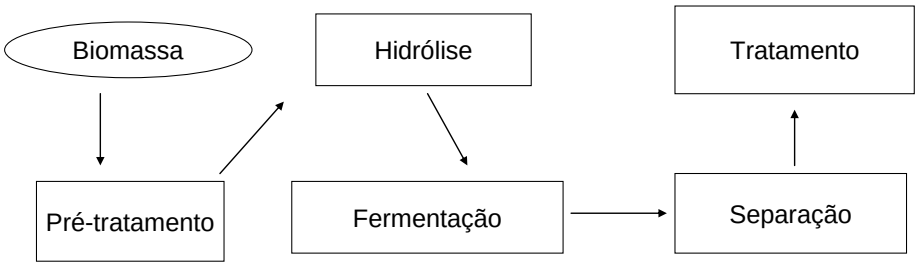
Na transformação bioquímica, a lignina – estrutura molecular da planta que confere rigidez e proteção aos tecidos da planta – deve ser removida para a posterior

[69] Outra característica da segunda geração dos biocombustíveis é que sua produção é capital intensiva, necessitando de plantas de larga escala e grande utilização de tecnologia.

hidrólise e fermentação da celulose e da hemicelulose, uma vez que não pode ser transformada em moléculas simples de açúcares[70](CGEE; BNDES, 2008; UNCTAD, 2008).

Esse processo de extração da lignina (chamado de pré-tratamento) constitui o primeiro passo para a transformação bioquímica da lignocelulose em etanol. No total são necessários cinco etapas – o pré-tratamento, a hidrólise, a fermentação, a separação e o tratamento final –, como pode ser observado na figura 3.

Figura 3: Conversão bioquímica do etanol de segunda geração



Fonte: elaboração própria a partir de Piccolo e Bezzo (2008).

O pré-tratamento, também conhecido como preparo, consiste, primeiramente, na limpeza e na destruição da estrutura do material celular para facilitar as duas etapas subseqüentes (hidrólise e fermentação). A segunda fase do pré-tratamento reside na remoção da lignina e na hidrólise da hemicelulose. A tabela 15, a seguir, demonstra os principais processos empregados na sua realização.

[70]Desse modo, uma biomassa com pouca quantidade de lignina seria mais adequada para essa rota de conversão, apesar de existirem mecanismos para aproveitar esse resíduo na produção de energia elétrica (CGEE; BNDES, 2008; UNCTAD, 2008).

Tabela 15: Processos de pré-tratamento

Processo	Descrição
Explosão de vapor	A biomassa triturada é tratada com vapor, seguido de descompressão
Termoidrólise	Utiliza aguá quente a alta pressão
Hidrólise ácida	Por meio de ácidos sulfúrico, clorídrico ou nítrico
Hidrólise alcalina	Pelo uso de bases
Organosolv	Usa solvente orgânico com catalisador ácido
Biológicos	Utilização de fungos
Afex	Exposição à amônia líquida a elava temperatura e pressão
Plasma	-

Fonte: elaboração própria a partir de CGEE; BNDES (2008)

Na hidrólise, a celulose é convertida em glicose ($C_6H_{10}O_5 + H_2O = C_6H_{12}O_6$). Essa etapa pode ser catalisada por ácido diluído, por ácido concentrado ou por enzimas. O processo enzimático demonstra ser o mais promissor, pois permite maiores rendimentos, possibilita a fermentação simultânea à sacarificação e tem reduzidos problemas de corrosão, diminuindo os custos de manutenção dos equipamentos.

Além disso, a hidrólise enzimática possui grande potencial de redução de custo. As inovações promovidas pela Novozymes diminuíram os custos das enzimas da celulase de US$ 1,3 por litro em 2001 para um valor inferior a US$ 0,04 em 2005 e novas evoluções tecnológicas são esperadas para os próximos anos (Tan *et al*, 2008; CGEE; BNDES, 2008).

Para a fermentação, a questão central é encontrar/desenvolver cepas tolerantes a altas temperaturas e capazes de fermentar de forma eficiente as pentoses ou, ainda, simultaneamente diferentes tipos de açúcares (as pentoses e as hexoses). Nesse ponto a biotecnologia pode exercer um papel central para desenvolver os micro-organismos necessários. Além do uso da biotecnologia, é necessário realizar um esforço de procurar

e catalogar as cepas em seu ambiente natural, pois grande parte desses indivíduos é desconhecida pela ciência (UNCTAD, 2008; CGEE; BNDES, 2008).

A quebra da molécula de celulose em glicose é um processo difícil, porém a fermentação da glicose – que é um açúcar de seis carbonos – é um procedimento bastante desenvolvido. Já a hidrólise da hemicelulose é uma conversão mais simples que, entretanto, gera açúcares de cinco carbonos (pentoses) cuja fermentação é um processo menos desenvolvido tecnologicamente.

As etapas finais da produção do etanol pela via bioquímica (separação e tratamento final) são técnicas maduras, baratas e bastante desenvolvidas. Portanto, os maiores custos de produção se referem aos processos de superar a resistência natural das plantas à quebra dos açúcares (pré-tratamento e hidrólise), como evidencia Wyman (2007, p. 155).

> *Further examination reveals that pretreatment is the most expensive single unit operation; next in line are the costs for enzymatic hydrolysis of pretreated cellulose and for making enzymes to carry out this task. In other words, the three most expensive processing operations are for overcoming the natural resistance of plants to the biological breakdown of sugars.*

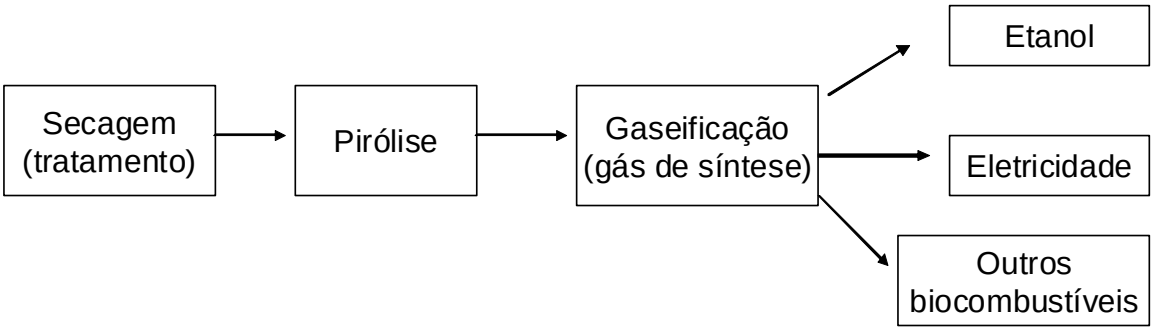
3.1.2. A via termoquímica

Segundo Piccolo e Bezzo (2008), a rota bioquímica é a mais estudada, pesquisada e com maior potencial de redução de custos. Por outro lado, a conversão da biomassa pelo processo termoquímico apresenta a vantagem de acomodar flexibilidade de insumos e de biocombustíveis – o bioetanol, o líquido Fischer Tropsch (LFT), o metanol e o dimetil-éter são os principais exemplos.

Outra vantagem dessa rota tecnológica é que os aparelhos e equipamentos utilizados apresentam tecnologias maduras, fruto de longa pesquisa na conversão do gás natural e do carvão em combustíveis líquidos (UNCTAD, 2008; Wyman, 2007).

A rota termoquímica é usualmente chamada de BTL[71] (*biomass to liquids*), pois a biomassa é transformada em gás de síntese e depois em biocombustível ou eletricidade. Essa conversão, também conhecida como síntese de Fischer Tropsch, envolve os seguintes passos: a secagem da biomassa, a pirólise e a gaseificação, como demonstra a figura 4 (Piccolo; Bezzo, 2008).

Figura 4: Conversão termoquímica



Fonte: elaboração própria a partir de Piccolo e Bezzo (2008)

De acordo com Macedo (*apud* UNCTAD, 2008), como os equipamentos usados na conversão termoquímica já possuem maturidade devido ao seu longo desenvolvimento com combustíveis fósseis, a produção de biocombustíveis por essa via seria competitiva em 2020, enquanto, pela transformação bioquímica, isso ocorreria em meados da década de 2020[72].

A *Annual Energy Outlook* de 2009 – uma publicação do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) – faz a previsão que a produção de BTL, de forma comercial, se inicia em 2012 e terá uma taxa de crescimento de 29% ao ano até 2030.

[71] A transformação de carvão em combustível líquido é denominada de CTL e a do gás natural, GTL.
[72] Macedo (2010, *contato pessoal*) aponta que o etanol celulósico já será comercialmente produzido nos próximos anos, embora os seus custos sejam ainda superiores ao etanol de primeira geração.

Solomon *et al* (2007, p. 420) defende que o etanol celulósico vai ser competitivo com a gasolina na próxima década: "*celullosic etanhol has the potencial to compete on a large scale with gasoline without subsidies in the next decade*".

Para desenvolver inovações tecnológicas que reduzam os custos de produção do etanol celulósico, os Estados Unidos, a União Européia, o Brasil, entre outros países, têm realizado esforços para promover a pesquisa e o desenvolvimento do biocombustível. A política americana, dada a sua grande dependência de petróleo e a disponibilidade de recursos para a pesquisa, tem estruturado um relevante Sistema Nacional de Inovação do etanol de segunda geração.

3.2. A Política Americana de incentivo ao Etanol

> *Advanced renewable fuels transportation will be one of the nation's most important industries in the 21st century. Combined with energy efficiency, biofuels are the primary near-term option for insulating consumers against future oil prices shocks and for lowering the transportation sector's carbon footprint (Obama, 27/05/2009)*[73].

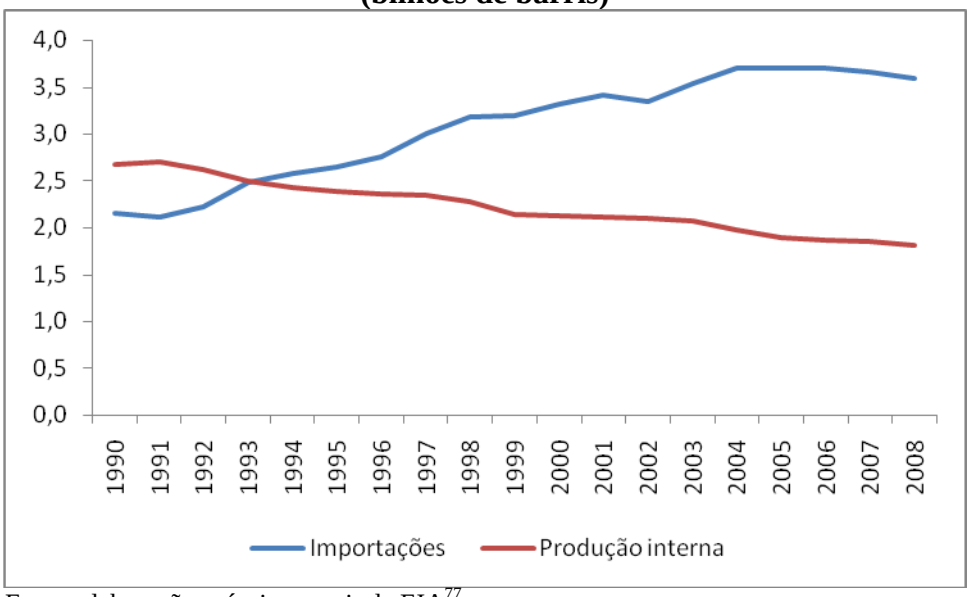
Os Estados Unidos é o país que mais produz e consome etanol. Em 2007, os norte americanos produziram cerca de 24,7 bilhões de litros do biocombustível – o que representa metade da produção mundial – e ainda importou 426,2 milhões de litros, sendo o Brasil o seu principal fornecedor[74]. De 2001 até 2008 a taxa de crescimento do etanol americano foi de 26% ao ano e nos últimos dois anos esse valor foi de aproximadamente 36% (RFA, 2009).

De acordo com Walter *et al* (2008), os Estados Unidos consumiram em 2005 528 bilhões de litros de gasolina, o que representa 43,5% do total mundial (ver tabela 18, p. 72). Além disso, o país é o maior importador de petróleo do mundo. Segundo

[73] www.advacedbiofuelsusa.info.
[74] http://www.ethanolrfa.org/industry/statistics/#A

dados da *Energy Information Administration*[75] (EIA), os americanos importaram em 2008 cerca de 3,6 bilhões de barris (570 bilhões de litros) e produziram 1,8 bilhões de barris (285 bilhões de litros)[76]. Ademais, as reservas americanas estão decrescendo, induzindo o país a importar grandes volumes de petróleo (gráfico 9).

Gráfico 9: Produção e importação anual de petróleo nos Estados Unidos (bilhões de barris)



Fonte: elaboração própria a partir de EIA[77]

É estratégico para os Estados Unidos estimular a sua produção de etanol e reduzir a sua dependência energética e, por isso, os americanos estão investindo maciçamente na construção da indústria do biocombustível e apostando no desenvolvimento do etanol de segunda geração. Segundo Halff (2008), o país planeja substituir 20% do seu consumo estimado de gasolina (75% de suas importações de petróleo do Oriente Médio) no ano de 2022.

De acordo com Solomon *et al* (2007), o etanol de milho nos estados Unidos foi estimulado até 2007 basicamente por três medidas: i) o *Energy Tax Act* de 1978, que

[75] www.eia.doe.gov.
[76] Como o consumo de gasolina, em 2005, foi de 528 bilhões de litros e o de petróleo foi de 888 bilhões, percebe-se que a gasolina é o principal produto das destilarias americanas, representando cerca de 60% do refino.
[77] www.eia.doe.gov.

fornece desconto tarifário para o E10; ii) subvenções aos pequenos produtores através do *Small Ethanol Producer Tax credit*[78] de 1990 e; iii) o *Renewable Fuel Standard Act* (2005) que foi o primeiro mandato de utilização do etanol (a meta de consumo era de aproximadamente 15 bilhões de litros de biocombustíveis em 2006 e de 28,35 bilhões de litros em 2012). Além disso, muitos estados baniram o éter metil-terciário butílico (MTBE)[79] e estimularam sua substituição pelo etanol, já que o produto também funciona como aditivo à gasolina (SZCLO *et al*, 2007).

A partir de 2005, trinta e seis estados americanos passaram a estimular o desenvolvimento do etanol lignocelulósico por meio de isenções tarifárias, subvenções, fundos, assistência financeira, subsídios creditícios e transferências (Solomon *et al*, 2007). No entanto, a principal medida foi promulgada no governo George W. Bush – *Energy Indenpendence Security Act* (2007).

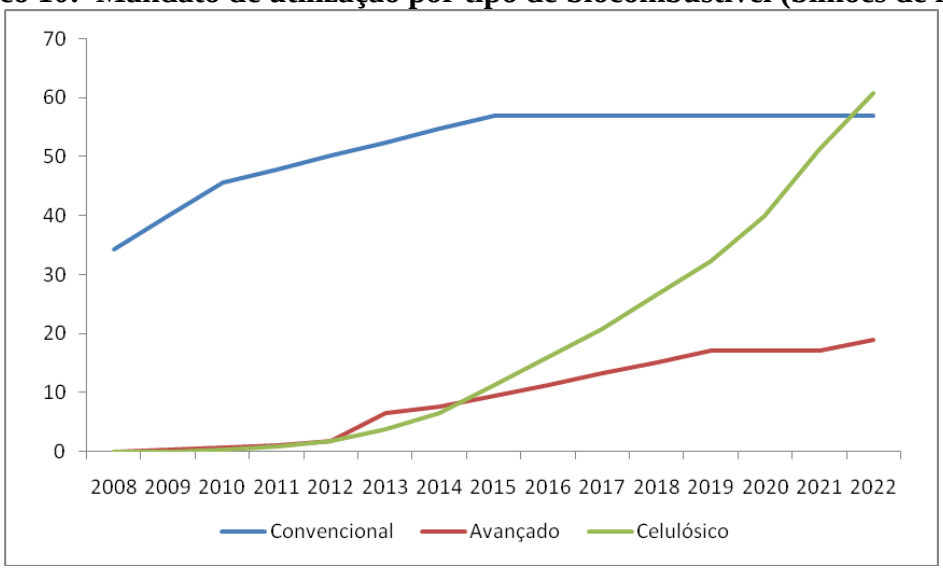
Essa lei possui a ambiciosa meta de consumo de 136 bilhões de litros de biocombustíveis em 2022 – a maior parte etanol –, prevê a criação de infra-estrutura para melhorar o armazenamento e transporte do álcool e autorizou US$ 500 milhões anuais para a produção de biocombustíveis capazes de diminuir em 80% os gases do efeito estufa e US$ 25 milhões em P&D nos estados com baixa produção de etanol[80] (CRS Report for Congress, 2007).

Da meta de 136 bilhões de litros de biocombustíveis para 2022, a *Energy Independence Security Act* estabelece que 56 bilhões de litros devem ser de biocombustível convencional (de milho), 18,6 bilhões de litros devem ser de biocombustíveis avançados, que reduzem em 50% as emissões de CO_2, e os 61,4

[78] Fornece crédito de US$ 0,02 por litro para aqueles que produzam no máximo 228 milhões de litro por ano. Esta medida termina em 31/12/2010 (CRS Report for Congress, 2008).
[79] O MTBE é um produto bastante cancerígeno. Destarte, muitos países baniram a sua utilização, como, por exemplo, o Brasil em 1990 (SZCLO *et al*, 2007).
[80] http://www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic/

bilhões de litros restantes devem ser etanol de segunda geração e capazes de reduzir em pelo menos 60% as emissões de gás carbônico (gráfico 10).

Gráfico 10: Mandato de utilização por tipo de biocombustível (bilhões de litros)



Fonte: RFA (2009)

Segundo o *CRS Report for Congress – Biofuels Incentive: A Summary of Federal Programs* – de 2008, o estímulo ao etanol americano é realizado por cinco agências ou departamentos: *Environmental Protection Agency* (EPA), *U.S. Department of Agriculture* (USDA), *Department of Energy* (DOE), *Internal Revenue Service, and Customs and Border Protection*.

A EPA foi responsável pelas principais políticas de construção do mercado de etanol nos Estados Unidos: o *Renewable Fuel Standard Act* (2005) e o *Energy Independence Security Act* (2007).

O *Internal Revenue Servise* promoveu o *Volumetric Ethanol Excise Tax Credit*, cujo término está previsto para o fim desse ano, em que os distribuidores de gasolina recebem o crédito de 13 centavos de dólar por litro. O *Small Ethanol Producer Credit* foi estabelecido na década de 1990 e deve acabar no fim de 2010. Outra medida tomada pela agência foi o *Special Depreciation Allowance for Cellulosic Biomass Ethanol*

Plant Property, que estabelece subsídios para o desenvolvimento de plantas de etanol celulósico pela rota enzimática entre 2006 e 2013 (*CRS Report for Congress*, 2008).

A principal medida – em vigor – adotada pela USDA para incitar o álcool é o *Business and Industry Guaranteed Loans*, que fornece subvenções para a aquisição de máquinas e equipamentos para diversos setores e que pode ser também utilizado para o segmento de biocombustivéis. Estão previstos, segundo esse programa, investimentos anuais de US$ 1 bilhão (*CRS Report for Congress*, 2008).

O DOE, por meio do *Biomass Research and Development Initiative*, fornece subvenções (no total de US$ 200 milhões por ano até 2015) para a pesquisa, desenvolvimento e implantação de projetos com biomassa. O *Biorefinery Project Grants*, outro estímulo do DOE, concede subvenções de US$ 186 milhões para a construção de biorefinarias e para o desenvolvimento de P&D em projetos de biomassa. Além desses programas, foi criado o *Cellulosic Biofuels Production Incentive* que concede subsídios por litro produzido de etanol celulósico, até que a produção americana alcance 3,8 bilhões de litros produzidos, ou até o ano de 2015. O valor desse incentivo é de US$ 25 milhões por ano fiscal (*CRS Report for Congress*, 2008).

Com o objetivo de proteger o mercado americano, especialmente da competição com o etanol brasileiro, o *U.S Customs and Border Protection* estabeleceu a tarifa de 2,5% ad valorem e o imposto para a nação mais favorecida de US$ 0,14 por litro importado. Já os países do Caribe, por sua vez, ficaram isentos de impostos. Essas medidas relatadas pelo *CRS Report for Congress* de 2008 estão resumidas na tabela 16:

Tabela 16: Incentivos estabelecidos no *CRS Report for Congress* de 2008 ao etanol

Agência/Departamento	Programa	Descrição	Valor anual (US$)	Data (expiração)
Environmental Protection Agency	Renewable Fuel Standard Act (2005)	Mandato de utilização de etanol: 4 bilhões de galões em 2006 e 7,5 em 2012		nenhuma
	Energy Independence Security Act (2007)	Mandato de utilização de 136 bilhões de litros em 2022		nenhuma
U.S. Department of Agriculture	Business and Industry Guaranteed Loans	Subvenções para equipamentos	1 bilhão	nenhuma
Department of Energy	Biomass Research and Development Initiative	Subvenções para a pesquisa, desenvolvimento e implantação de projetos	200 milhões	fim de 2015
	Biorefinery Project Grants	Fundos para a construção de biorefinarias e para P&D	186 milhões	nenhuma
	Cellulosic Biofuels Production	Subsídios para o etanol celulósico	25 milhões	2015
Internal Revenue Service	VolumetricEthanol Excise Tax Credit	Crédito de US$ 0,51 por litro de etanol misturado à gasolina		fim de 2010
	Small Ethanol Producer Credit	Crédito de US$ 0,10 por galão para pequenos produtores		fim de 2010
	Special Depreciation Allowance for Cellulosic Biomass Ethanol Plant Property	Subsídios para o desenvolvimento de plantas de etanol celulósico pela rota bioquímica		fim de 2012
Customs and Border Protection	Inport duty for fuel ethanol	Tarifa de 2,5% ad valor e US$ 0,54 por galão importado		fim de 2008

Fonte: elaboração própria a partir de CRS Report for Congress (2008)

Na administração de Barack Obama tem destaque a criação da *Farm Bill* de 2008, na qual consta a *Food, Conservation and Energy Act* que inclui subsídios de US$0,28 para os produtores de biocombustíveis a partir da celulose (Dwivedi *et al*, 2009). Outra medida presente na *Farm Bill* de 2008 é o *Biomass Crop Assistance Program* que estabelece assistência para encorajar a produção de biomassa e sua conversão por meio de pagamentos para a coleta, colheita, armazenamento e transporte da biomassa[81].

Outra medida de grande impacto foi a criação em 2009, pelo *Department of Energy Recovery Act Funding*, de transferências no valor de US$ 3 bilhões para facilitar a produção de energia a partir da biomassa[82].

Ademais, para estimular o consumo, os Estados Unidos têm incitado a difusão dos carros flex. Atualmente há mais de sete milhões de veículos bicombustíveis, o que

[81] http://www.ethanolrfa.org/resource/cellulosic/
[82] http://advancedbiofuelsusa.info/resources/grants

representa cerca de 3% do total do país e o número de postos que distribuem E85 somam 1.900 (RFA, 2009).

Há de se destacar que além da participação do governo federal, muitos estados possuem políticas locais de incentivo ao etanol celulósico. Pelo conjunto de medidas adotadas, constata-se que o governo americano tem apoiado intensamente o desenvolvimento do etanol celulósico. As suas medidas criam mercado para o produto e fornecem subsídios para a pesquisa e para a produção, de modo a estimular a atuação dos agentes privados a investirem no setor. Na tabela a seguir são evidenciados os projetos em desenvolvimento de etanol celulósico nos Estados Unidos[83].

Tabela 17 - Projetos em desenvolvimento e em construção de etanol celulósico nos Estados Unidos

Companhia	Localização	Tecnologia	Capacidade de produção (milhões de litros/ano)	Insumo
Abengoa	NE KS		43,85 43,85	Espiga do milho, palha do trigo, switchgrass e outros
AE Biofuels	MT	Hidrólise enzimática	pequena escala	Switchgrass, espiga do milho, outros
Bluefire	CA CA	Ácido concentrado Ácido concentrado	68,04 11,72	Resíduos florestais e urbanos
California Ethanol + Power, LLC	CA	Biological fermantantion technology	207,90	Cana-de-açúcar e bagaço
Coskata	PA	Hidrólise enzimática	0,15	diversos
DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC	TN	Processo de fermentação da Alltech	0,95	Switchgrass, espiga do milho, outros
Ecofin, LLC	KY	Conversão termo-química	4,91	
Flambeau River Biofuels LLC	WI		22,68	Madeira e resíduos florestais
ICM inc.	ID	Processo termo-mecânico	68,04	Resíduos agrícolas
KL Process	WY	Bioquímico/Organosolv	5,67	Madeira leve e cascas
Lignol Innovations/Suncor	CO		9,45	Madeira e resíduos agrícolas
Mascoma	NY MI	INEOS Bio Ethanol process	18,90 151,20	Biomassa lignocelulóssica
NewPage Corp.	WI		20,79	Biomassa lignocelulóssica
Alico	FL		1 etapa: 30, na 2: 79 e na 3: 378	Lixo municipal
Pacific Ethanol	OR	Biogasol	10,21	Palha do trigo, outros
POET	SD IA		0,08 118,13	Fibra, palha e sabugo do milho
Range Fuels inc.	GA	Termoquímica em dois passos	75,60	
Verenium	LA FL		5,29 136,08	Bagaço da cana-de-açúcar
ZeaChen	OR		5,67	Açúcar, outros
TOTAL				
20	**25**	**-**	**971,45**	**-**

Fonte: elaboração própria a partir de RFA (2009)

As grandes empresas petrolíferas também estão acreditando no desenvolvimento do etanol de segunda geração. Segundo Sims *et al* (2010), a Chevron investiu US$ 40

[83] Um ponto importante a se destacar é que cerca de um terço da capacidade de produção evidenciada pela tabela 17 possui a cana-de-açúcar como insumo.

milhões em pesquisa na *University of California*; a *Beyond Petroleun* (BP) nos próximos dez anos planeja investir US$ 500 milhões nas Universidades de *Berkeley*, *Illinois* e no *Lawrence Berkeley National Laboratory*; a Shell comprou as companhias *Iogen and Choren*; a *ConocoPhillips* decidiu aportar US$ 22,5 milhões em oito anos para a *Iowa State University* e; a Exxon investiu US$ 600 milhões na produção de biocombustível a partir de algas.

3.3. A política da União Européia

Os países da Comunidade Européia, apesar de terem o diesel como principal combustível, consumiram 164 bilhões de litros de gasolina em 2005, correspondendo a uma participação de 13,5% do total mundial (tabela 18). A produção de etanol na região foi de 2,2 bilhões de litros em 2007, o que representou 4,4% da produção global (tabela x, p.x). Assim, não obstante o biodiesel possuir maior capacidade de substituir o petróleo na região, a produção de etanol é importante para a descarbonização da matriz energética européia.

Tabela 18: Consumo mundial de gasolina em 2005

País/Região	Consumo (Gl) em 2005	Participação
Estados Unidos	528	43,5%
UE-25	164	13,5%
Japão	61	5%
China	53	5,2%
Brasil	18	1,5%
Outros	378	31,2%
Mundo	1213	100%

Fonte: elaboração própria a partir de Walter *et al* (2008)

A política de estimulo ao etanol na União Européia não é tão consistente quanto a dos Estados Unidos e não possui a experiência desenvolvida pelo Brasil. Mesmo

assim, medidas importantes foram tomadas para estimular esse mercado na Comunidade Européia, como a adoção de mandatos com metas específicas de consumo.

A primeira meta adotada foi de 2% do consumo total de gasolina em 2005 (*Biofuel Directive* de 2003)[84]. Posteriormente, foram ampliadas para 5,75% em 2010 e 10% em 2020 (*EU Commission*, 2006; *EU Commission*, 2007). No *Spring Council* de 2007 foram adicionados a esses objetivos, critérios de sustentabilidade da produção[85].

O principal critério de sustentabilidade adotado é que o etanol reduza, entre 2010 e 2017, pelo menos 50% das emissões de GHGs quando comparado com a combustão da gasolina. Após 2017 será necessário que as emissões sejam 60% inferiores. Esse controle ambiental do etanol traz benefícios para a Europa, pois além de ser positivo para o meio ambiente, estimula o desenvolvimento da segunda geração, uma vez que o álcool de celulose emite menos CO_2 do que o etanol de trigo ou de beterraba – principais insumos do biocombustível de primeira geração da Europa (*EU-27 Annual Report*, 2009).

O *European Parliament's industry and energy committee*, embora tenha concordado com a meta de 10% em 2020, acrescentou que 40%, no mínimo, deveria ser suprido por etanol de segunda geração, ou por hidrogênio[86] (EurActiv 12/09/08)[87].

Essas são as principais medidas que a Comunidade Européia adotou para incitar o desenvolvimento do etanol lignocelulósico. Além dessas medidas, muitos países da UE têm realizado políticas nacionais para estimular a sua produção doméstica. Exemplo disso é a França que estabeleceu a meta de consumo de 7% de etanol em 2010 e a

[84]Essa meta apenas três países conseguiram atingir (www.ebio.org).
[85] www.ebio.org.
[86] A meta européia foi ajustada para também incluir o hidrogênio.
[87] www.euractiv.com.

Suécia que fornece desconto tarifário de 20% para carros flex (Wiesenthal *et al*, 2008)[88].

Um projeto que tem ganhado destaque para a pesquisa de etanol celulósico é o *Project Nemo* que visa desenvolver enzimas para a conversão da lignocelulose em etanol. Esse projeto está previsto para ser realizado na Finlândia, com a duração de quatro anos e com custo estimado de 8,2 milhões de euros[89].

Uma política necessária para a promoção do biocombustível de segunda geração é o desenvolvimento de plantas pilotos e de demonstração (tabela 19) com o objetivo de testar a produção do biocombustível, minimizar os riscos e adquirir aprendizado, antes de realizar plantas comerciais de produção.

Tabela 19: Tipos de planta de etanol celulósico

Tipo de planta	Capacidade de produção (milhões de litro ano)
Piloto	0,015 a 0,025
Demonstração	0,04 a 0,5
Pré-comercial	1 a 4
Comercial	25 a 50
Comercial de larga escala	150 a 250

Fonte: elaboração própria a partir de Sims *et al* (2009)

Na Europa já existem algumas dessas plantas pilotos e de demonstração, como pode ser observado na tabela a seguir:

Tabela 20: Plantas Piloto e de demonstração de etanol celulósico na Eurpa[90]

Companhia	País	Insumo	Data inicial
Etek EtanolTeknik	Suécia	Serragem	2004
Sicco A/S	Dinamarca	Palha do trigo	2005
BioGasol	Dinamarca	Lignocelulose	2006
Abengoa Bioenergy & SunOpta	Espanha	Palha do trigo	2007
Choren	Alemanha	Materiais lignocelulósicos	2008
TMO	Holanda		2008
Etek EtanolTeknik	Suécia	Resíduos florestais	2009
Genekor/ Du Pont	Dinamarca	Resíduos agrícolas	2009
Sekab	Suécia	Madeira	-

Fonte: Solomon et al (2007), EU-27 Biofuels Annual Report (2009), IEA (2008)

[88] Com esses incentivos, 149 mil carros bicombustíveis rodam no país (3,5% do total) e 90% dos postos fazem a distribuição do E85 (www.euractiv.com).
[89] www.thebioenergysite.com/
[90] A tabela não contempla todas as plantas piloto de etanol celulósico da Europa.

3.4. A Política brasileira de segunda geração

Como demonstrado no capítulo 2 (Política de inovação do etanol de cana-de-açúcar brasileiro), a promoção ao etanol, no Brasil, foi impulsionada por crises do setor açucareiro e pela pressão cambial exercida com a elevação do preço do petróleo.

Atualmente, o setor açucareiro não está em crise (ver gráfico 6, p. 41) e o Brasil vai se tornar um importante exportador de petróleo na próxima década. Com as novas descobertas de poços de petróleo, sobretudo na camada do pré-sal, a produção brasileira atual de cerca de dois milhões de barris/dia deve ser incrementada em 250% até 2020. Como a demanda nacional esperada é de três milhões de barris por dia, o Brasil chegaria a exportar dois milhões de barris de petróleo diariamente (Iooty, 2008).

Assim, os motivos que influenciaram a construção do Sistema Nacional de Inovação do etanol, hoje não prevalecem. Contudo, o álcool brasileiro de cana-de-açúcar se tornou um produto competitivo com a gasolina em preços e com a vantagem de reduzir as emissões de CO_2.

Os biocombustíveis de segunda geração, no estágio tecnológico atual, não são competitivos e, no Brasil, ao contrário dos Estados Unidos e da União Européia, o conflito "alimentos x biocombustíveis" não representa uma séria ameaça. Mesmo assim, o país deve fomentar o desenvolvimento de sua nascente indústria de etanol celulósico.

A tecnologia de segunda geração apresenta relevantes aspectos: possui maior produtividade agrícola, melhores condições de trabalho, têm melhores indicadores de sustentabilidade ambiental – evita o desmatamento indireto, representa menor poluição e utilização da água, reduz o uso de agrotóxicos e fertilizantes, degrada com menos intensidade a fertilidade do solo e representa menores riscos à biodiversidade. Deve-se elencar também que a pesquisa no etanol celulósico possui importantes *spillovers* sobre

a indústria farmacêutica, de cosméticos, têxtil, alimentícia, química, entre outras.

Bomtempo (2009) afirma que está ocorrendo uma corrida tecnológica em busca de novas fontes de energia (ambientalmente sustentáveis) capazes de substituir os combustíveis fósseis. O desenvolvimento da segunda geração faz parte desse esforço. O autor defende que o papel futuro do etanol não está restrito à produção de biocombustível, mas também como insumo de outros produtos químicos – resinas plásticas, solventes, corantes, fibras têxteis, inseticidas, herbicidas, borrachas sintéticas, entre outros – a partir de biorrefinarias.

No Brasil, há o desenvolvimento de biorrefinarias por grandes grupos da indústria química, como a Oxiteno, a Crystalsev, a Dow e a Braskem[91]. De acordo com Bomtempo (2009), a Braskem investirá cerca de US$ 300 milhões para implantar uma unidade de biopolietileno a partir do etanol para começar a produzir em 2011.

No entanto, para o autor (2009, p. 37), os produtores de etanol de cana-de-açúcar não estão investindo para aproveitar integralmente a biomassa e elevar, no longo prazo, a sua competitividade:

> Os produtores de etanol de um modo geral não têm manifestado interesse ou tomado iniciativas na direção do que poderia ser o futuro dos biocombustíveis. Os principais produtores quando incluem as novas tecnologias em suas apresentações o fazem como uma tecnologia distante. A maioria dos produtores de etanol parece ter a posição de assistir o amadurecimento das novas tecnologias na expectativa de ter acesso a ela no momento devido. Alguns produtores já manifestaram publicamente essa expectativa (...) É uma postura que não coloca a tecnologia como elemento competitivo central.

Essa posição dos produtores parece equivocada, pois a elevação da sustentabilidade da produção oferece grandes opções de negócio[92]. É importante destacar que as metas de consumo dos principais blocos consumidores – Estados

[91] Nos Estados Unidos existem seis projetos de biorrefinarias em andamento (Bomtempo, 2009).
[92] A elevação da sustentabilidade e a melhora das condições de trabalho na produção de etanol estimulam a adoção de políticas de criação de mercado para o etanol e melhora a opinião pública sobre o produto, o que pode resultar em elevação do consumo.

Unidos e União Européia – prevêem um mercado crescente e cativo para o etanol celulósico[93].

Apesar dos reduzidos investimentos dos produtores, é necessário que o Brasil articule esforços para construir um Sistema Nacional de Inovação da segunda geração do biocombustível para elevar a sustentabilidade da produção e para estimular a produção nacional de energia e de tecnologia. Embora o país possua elevada competitividade no álcool de primeira geração, isso não assegura o papel que a indústria brasileira de etanol almeja ocupar no futuro, i.e., ser um grande produtor e exportador de álcool e de tecnologia aplicada ao setor.

Como será demonstrado, o governo brasileiro está apoiando o P&D aplicado à segunda geração, mas sem a mesma intensidade das medidas adotadas para desenvolver o etanol de cana-de-açúcar.

3.4.1. Historia do biocombustível de segunda geração no Brasil

No início do Proálcool alguns centros de pesquisa desenvolveram estudos para a produção de etanol celulósico a partir do eucalipto, do bagaço da cana, entre outros insumos, utilizando diferentes rotas de conversão da biomassa em biocombustível. Contudo, a maioria desses esforços terminou com o contra choque no mercado internacional do petróleo de 1986 (Bon, Ferrara, 2007).

Segundo Bom e Ferrara (2007), a primeira escala piloto de produção de etanol celulósico no país foi construída em 1981, em Lorena, pela Fundação de Tecnologia

[93] A expansão do comércio internacional de etanol é uma questão extremamente relevante e incerta. Atualmente o comércio mundial é bastante reduzido devido a práticas protecionistas e não há como se prever, ao certo, a sua evolução. Os produtores brasileiros parecem estar empenhados em realizar lobby para vender o produto nacional no exterior como ambientalmente corretos e marca desse esforço são as articulações junto a organizações internacionais, como a EPA, a publicação de livros e a realização de conferências para promover o etanol do país. Não obstante a relevância dessas medidas, o Brasil deve focar na superação de suas limitações tecnológicas, inclusive porque o mercado americano e europeu demonstra ter quotas restritas para a participação de biocombustíveis de primeira geração.

Industrial (FTI). Essa planta possuía a capacidade de produzir 500 litros por dia a partir do *eucalyptus panicutata* e da utilização de ácido sulfúrico concentrado na hidrólise. Logo em seguida, em escala industrial, a Coque e álcool de Madeira S/A (COALBRA), em Uberlândia, começou a produzir etanol celulósico. Para os autores, a baixa quantidade de açúcar, a baixa produtividade industrial e os elevados custos foram os principais motivos para o fechamento dessas fábricas.

Em 1987 a Dedini, em parceria com a Copersucar e a FAPESP, começou a desenvolver tecnologia para a produção de etanol celulósico a partir da Dedini Hidrólise Rápida (DHR) – método de conversão dos insumos em etanol com a utilização do processo Organosolv como pré-tratamento e ácido sulfúrico diluído na hidrólise (Bom; Ferrara, 2007). Utilizando esse mesmo processo – DHR – a Dedini criou uma nova planta semi-industrial de demonstração, em 1992, Pirassununga, com a capacidade de processar 5.000 litros de etanol/dia a partir do bagaço da cana-de-açúcar (Bom; Ferrara, 2007).

3.4.2. Estado da arte do etanol celulósico

Atualmente, além da Dedini, outras empresas e instituições têm-se dedicado à pesquisa do etanol celulósico no Brasil: a Petrobras[94], a Oxiteno[95], a Novozymes[96], a Biocell/Votorantin[97] (com recursos da Votorantin novos negócios), a Aracruz[98], a Embrapa[99], a Braskem[100], a RIDESA[101] e o CTC[102] são importantes exemplos. A

[94] www.petrobras.com.br.
[95] www.oxiteno.com.br.
[96] www.novozymes.com.br.
[97] www.biocell.com.br.
[98] www.aracruz.com.br.
[99] www.embrapa.br.
[100] www.braskem.com.br.
[101] www.ridesa.com.br.
[102] www.ctc.com.br.

pesquisa do etanol celulósico ainda não possui a matéria-prima de excelência, ou a rota vencedora (mais eficiente). Assim, é necessário promover a pesquisa a partir de diferentes insumos e métodos de conversão. No entanto, a pesquisa com o eucalipto[103], o bagaço[104] e a palha da cana-de-açúcar via hidrólise enzimática são as principais apostas brasileiras.

A Novozymes – empresa líder mundial na produção de enzimas – estabeleceu um centro de pesquisa em Curitiba com apoio do CTC (investimentos estimados de R$ 2 milhões) e da Comissão Européia, que concedeu 1,6 milhões de euros para o desenvolvimento de pesquisa com o bagaço e a palha da cana-de-açúcar (Bomtempo, 2009).

A Petrobras realiza no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES) pesquisas com planta semi-industrial. Em seu plano de negócios para 2009-2013, a empresa planeja investir US$ 2,8 bilhões em biocombustíveis, dos quais US$ 2,4 bilhões se concentrarão na produção de biodiesel e etanol[105].

A Embrapa, por meio do projeto "Manejo Sustentável da Palhada da Cana-de-açúcar para Otimização da Produção de Energia", com recursos de 1,7 bilhões de reais para os próximos quatro anos, tem o objetivo de avaliar a disponibilidade da palha para conversão em etanol[106].

Com início em 2006, a FINEP patrocinou o projeto de P&D para a produção de etanol via hidrólise enzimática do bagaço e da palha da cana-de-açúcar – Projeto Bioetanol –, com recursos estimados de R$ 3,5 milhões. Essa pesquisa envolveu 14

[103] O eucalipto é uma árvore de crescimento rápido de alta produtividade e devido à sua ampla utilização na indústria madeireira e de celulose, a sua estrutura produtiva é bastante articulada.
[104] O bagaço apresenta a vantagem de não incorrer em custos significativos de transporte. Porém sua utilização possui a concorrência com a co-geração.
[105] www.petrobras.com.br.
[106] www.embrapa.br.

universidades, mais de 150 pesquisadores, 15 centros de pesquisa e algumas empresas como a Toyobo Brasil LTDA., a Oxiteno e a Braskem. Esse esforço contou com a colaboração internacional da *Lund University* (Suécia), da *Universidade de Zaragoza* (Espanha), da *Estación Experimental Obispo Colombres* (Argentina) e do Instituto Riken (Japão)[107] (MCT, 2008).

O Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT[108]) têm apoiado a pesquisa do etanol celulósico. Além do financiamento da FINEP ao projeto Bioetanol, podemos destacar o auxílio ao Centro de Ciência e Tecnologia em Bioetanol (CTBE) e o projeto de escalonamento de enzimas coordenado pela Dra. Elba Pinto da Silva Bom da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para pesquisas no pré-tratamento, produção de enzimas, hidrólise enzimática e fermentação alcoólica, com investimentos de R$ 10 milhões[109].

O CTBE se localiza dentro do campus do Laboratório Nacional de Luz Síncroton, em Campinas, com o objetivo de pesquisar mecanização de baixo impacto e a hidrólise enzimática, especialmente, do bagaço e da palha da cana-de-açúcar. Esse Centro possuiu investimentos de sessenta e nove milhões de reais para a implantação de sua planta experimental e almeja recursos anuais de cinqüenta milhões de reais[110].

Outro grande projeto de incentivo à inovação do setor foi o Bioenergia (Bioen) que visa financiar projetos de desenvolvimento tecnonógico de bioenergia em cinco diferentes categorias:

1. Divisão de Biomassa para Bioenergia (com foco em cana-de-açúcar);
2. Divisão de Processo de Fabricação de biocombustíveis;
3. Divisão de Biorefinarias e Alcoolquímica;

[107] http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=1775.
[108] O MCT tem trabalho em conjunto com os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT).
[109] Entrevista realizada com Adriano Duarte em 17/09/2009.
[110] www.bioetanol.org.br.

4. Divisão de Aplicações do Etanol para Motores Automotivos: motores de combustão interna e células-combustível; e
5. Divisão de Pesquisa sobre impactos sócio-econômicos, ambientais, e uso da terra[111].

Esse projeto foi formulado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e conta com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG)[112]. Segundo Buckeridge (2010[113]), o Bioen pretende investir entre cento e cinqüenta e duzentos milhões de dólares em etanol nos próximos quatro anos e a maior parte desses recursos serão destinados para a segunda geração.

Para Macedo (2010[114]), dado a importância do mercado brasileiro de álcool e da longa estória nacional de P&D no setor, muitas das principais empresas internacionais focadas na pesquisa e no desenvolvimento do etanol celulósico procurarão instalar centros de pesquisa ou realizar políticas de cooperação com as firmas e instituições de pesquisa brasileiras.

Tendo em vista esses esforços realizados no país para o desenvolvimento do etanol de segunda geração e as vantagens naturais do país em produzir biomassa a baixo custo, Fernando Reinach afirma que o Brasil tem tudo para continuar líder na produção do etanol[115] e de Oliveira (2009) defende que o país tem uma condição favorável para fazer a mudança energética pós-petróleo, porque possuí enorme potencial hidroelétrico,

[111] www.bioenfapesp.org.
[112] http://www.fapesp.br/materia/3264/convenios/convenio-fapesp-mct-cnpq-pronex-programa-bioen-fapesp.htm.
[113] Entrevista realizada em 19/03/2010.
[114] Entrevista realizada em 24/03/2010.
[115] http://portalexame.com.br/static/aberto/infraestrutura/edicoes_2007/m0143163.html.

excelentes condições para a produção de biocombustíveis e petróleo para o período de transição.

Conclusão

O etanol celulósico é uma tecnologia incipiente que não possui, ainda, produção comercial em larga escala. Para se tornar uma tecnologia competitiva com a gasolina e com o álcool de primeira geração é preciso gerar inovações no processo industrial de conversão da lignocelulose em biocombustível e na logística da produção.

Segundo as projeções americanas estabelecidas pela EPA, a produção de etanol celulósico nos Estados Unidos se inicia no começo desta década e, em 2022, alcança o valor de cerca de oitenta bilhões de litros, superando em vinte e três bilhões de litros a produção de etanol convencional (de milho). A meta de consumo de álcool estabelecida no país é bastante ambiciosa e prevê a substituição de 20% da gasolina consumida.

Para cumprir com esse objetivo, o governo americano tem estimulado a construção do Sistema de Inovação do etanol celulósico, financiando a atividade de P&D, criando mercado para o produto e promovendo a construção da infra-estrutura para a sua implantação. As empresas, influenciadas pelas ações do governo, estão desenvolvendo tecnologia e investindo no setor. Desse modo, percebe-se que a política norte americana segue o exemplo do Proálcool brasileiro, promovendo a criação do mercado via subsídios aos produtores, aos consumidores e ao desenvolvimento de tecnologia.

A União Européia têm uma meta menos audaciosa. Em seu planejamento energético propõe que 10% da demanda de gasolina seja suprida pelo álcool. Para alcançar o seu objetivo, a Comunidade Européia tem promovido sua indústria de etanol celulósico.

O Brasil, embora tenha iniciado pesquisas para a produção de etanol celulósico desde os anos 1970, não articulou um Sistema de Inovação para sustentar o desenvolvimento tecnológico do produto. Nos últimos anos, algumas iniciativas se estabeleceram com o intuito de promover novas tecnologias para a produção do álcool, de modo a incitar a articulação de um esforço nacional em torno dessa tecnologia.

Para o desenvolvimento comercial do etanol de segunda geração é fundamental que o país articule esse sistema social de modo a gerar inovações e elevar a competitividade do álcool brasileiro. Como elemento central para as considerações finais desse trabalho serão discutidas as medidas necessárias para a estruturação do Sistema Nacional de Inovação do etanol celulósico.

Considerações finais e recomendações de políticas

O crescimento do mercado mundial de energia não é capaz de continuar *ad infinitun* baseado nos recursos fósseis. Além de finitos, representam enormes obstáculos à sustentabilidade do meio-ambiente. A superação desse problema envolve investimentos em inovação e na utilização de energias renováveis.

O petróleo é a principal fonte de energia consumida internacionalmente e representa cerca de 94% da matriz energética do setor de transportes. Em 2005 foram consumidos mais de 1,2 trilhões de litros de gasolina e, no momento, o etanol é o seu melhor substituto, porque é renovável, reduz as emissões de CO_2 e tem praticamente a mesma estrutura de distribuição.

Com o foco em estimular a criação de mercado e o desenvolvimento tecnológico do biocombustível, diversos países adotaram políticas de estímulo ao etanol, como a criação de mandatos de utilização de álcool anidro misturado à gasolina, incentivos aos carros bicombustíveis e subsídios aos produtores, aos consumidores e à pesquisa no setor, além de promover infra-estrutura para a produção e comercialização do produto.

Por isso, a projeção de demanda futura do etanol é elevada, uma vez que as políticas de promoção ao consumo e à produção, em diversos países, têm-se intensificado, especialmente nos Estados Unidos, maior consumidor de gasolina do mundo.

O principal programa de promoção ao etanol foi iniciado pelo Brasil em 1975 – Proálcool – como decorrência da elevação do preço do petróleo e da crise do setor açucareiro. Em virtude da elevada dependência do petróleo importado – chegou a responder por 56% da pauta de importações –, o desenvolvimento de fontes de energia nacionais passou a ser de suma importância.

As principais medidas adotadas pelo Programa visaram gerar conhecimento a partir de investimentos em P&D – tanto por instituições de pesquisa públicas, como pelo financiamento ao setor privado – e construir mercado para o produto através de políticas focadas na expansão da produção e no subsídio ao consumo. Esses incentivos foram relevantes para o aprendizado dos agentes do setor, pois ao induzirem o *learning-by-searching* e o *learning-by-doing*, promovem o desenvolvimento tecnológico do biocombustível.

O Proálcool foi crucial para a evolução tecnológica do etanol brasileiro, porque coordenou a estruturação do Sistema Nacional de Inovação da cana-de-açúcar e do álcool. Esse Sistema compreende os produtores de açúcar e álcool, os fornecedores de equipamentos (com destaque para a Dedini), as instituições de pesquisa, as agências públicas de fomento – especialmente a FAPESP, o CNPq, a FINEP e o BNDES –, as Universidades e o governo.

A cooperação e a transferência de informações entre esses agentes é uma marca relevante desse Sistema de Inovação que se apropria de importantes conhecimentos advindos da interação. O *learning-by-interaction* é uma das principais formas de estimular o aprendizado no setor e a associação entre os diferentes elos da cadeia desse Sistema é essencial para o desenvolvimento tecnológico do etanol.

Como resultado do Proálcool, o país reduziu suas importações de petróleo e promoveu avanços tecnológicos na cana-de-açúcar que capacitaram o Brasil a se tornar o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e maior exportador de açúcar e álcool. O Sistema de Inovação do setor gerou aumento da produtividade agrícola da cana-de-açúcar (de 3.000 toneladas por hectare para aproximadamente 7.000), desenvolveu quinhentas novas variedades da planta, aprimorou a re-utilização dos resíduos (vinhaça, bagaço e a palha) e melhorou o rendimento total da produção (de 66 litros por tonelada

passou para 86), o que viabilizou ao etanol brasileiro se tornar competitivo com a gasolina sem subsídios.

Desse modo, pelo alívio cambial exercido pelo Proálcool como conseqüência da diminuição da demanda nacional de petróleo (representou a economia de US$ 9,9 bilhões entre 1975 e 1987) e pelos avanços tecnológicos obtidos na cadeia de produção do etanol, podemos considerar o Programa como um sucesso e um exemplo internacional de planejamento bioenergético.

A primeira geração de biocombustíveis, contudo, compete com a produção de alimentos por recursos como terra e água. O etanol de segunda geração, por sua vez, é ecologicamente mais sustentável, pois não representa ameaça à biodiversidade, possui maior produtividade agrícola e mitiga o desmatamento direto e o indireto. Os benefícios à pesquisa e ao desenvolvimento do etanol celulósico transcendem às questões ambientais e significam externalidades positivas para a indústria farmacêutica, têxtil, de cosméticos e química.

Além disso, embora o custo atual da segunda geração ainda seja elevado, com o desenvolvimento tecnológico do setor é esperado que o produto se torne bastante competitivo no futuro.

Para desenvolver sua indústria de álcool celulósico, os Estados Unidos têm criado mercado para o produto por meio de metas de consumo e têm investido enormes recursos em P&D, demonstração e criação de infra-estrutura para a produção e distribuição do biocombustível. A expansão do mercado de etanol é essencial para os americanos, uma vez que o país tem uma severa dependência energética do petróleo importado. A Europa, assim como os Estados Unidos, tem procurado desenvolver o biocombustível, principalmente, por meio de metas de consumo e subsídios aos produtores.

O Brasil possui o etanol de primeira geração mais competitivo do mundo, não apenas em preço, mas também em termos de produtividade (litros por hectare) e de emissões salvas de CO_2. Entretanto, embora a posição de liderança brasileira na produção de etanol de primeira geração não esteja ameaçada, a expansão do mercado internacional do produto irá demandar quantidades crescentes de etanol celulósico. Caso o país não estruture um Sistema Nacional de Inovação do produto, o papel que a indústria alcooleira do Brasil deseja ocupar – ser grande exportadora de álcool e de tecnologia no setor – está comprometido (no longo prazo), sobretudo, em virtude das metas específicas de consumo para o etanol de segunda geração dos Estados Unidos e da União Européia.

Cabe ao Brasil, portanto, estimular o desenvolvimento tecnológico do etanol celulósico como decorrência de suas vantagens ambientais, pelas perspectivas de mercado futuro e pelas externalidades tecnológicas advindas com a sua pesquisa.

Para desenvolver o etanol de celulose, o Brasil precisa construir um Sistema de Inovação, a exemplo do Sistema criado para o desenvolvimento do álcool de cana-de-açúcar, e incorporar as especificidades da segunda geração. As principais particularidades a serem incorporadas são as variedades de matérias-primas e a maior intensidade de capital e tecnologia na produção.

Como visto ao longo da dissertação, a construção de mercado para a nova tecnologia é fundamental para estimular os produtores a investirem em pesquisa e desenvolvimento do setor e para gerar aprendizado, principalmente, o *learning-by-doing*. Sem sua aplicação comercial, muitas tecnologias ficam restringidas de ganhos de aprendizado e não conseguem espaço para sua difusão. Desse modo, mesmo que no curto-prazo o etanol celulósico seja mais caro, a criação de mercado para o produto

deve ser incentivada. A adoção de subsídios e de metas específicas de consumo são as políticas mais destacas para alcançar esse objetivo.

No estágio atual, o etanol de celulose ainda está em fase piloto no Brasil. Por isso, sua produção comercial ainda não é viável. As políticas a serem adotadas, no momento, estão focadas (corretamente) nas atividades de P&D. É necessário testar o produto e gerar conhecimento tecnológico em plantas pilotos, de demonstração e pré-comerciais antes de iniciar a produção comercial e de larga escala.

Para os próximos anos, as políticas devem se concentrar no estímulo ao *learning-by-searching* e ao *learning-by-interaction*, por meio de financiamentos preferenciais concedidos pelas agências de fomento e por subvenções às atividades de P&D. O estímulo à difusão do conhecimento e à interação entre os atores do Sistema também é uma tarefa relevante a ser desempenhada. Diferentemente da primeira geração, em que a política agroenergética do Brasil seguiu um caminho estanque – com reduzido intercâmbio com outras nações –, a segunda geração, por estar em desenvolvimento em outros países, possibilita uma grande interação entre as nações e firmas com atividade no setor. Desse modo, o Brasil deve articular esforços para abrigar empresas estrangeiras, criar *joint ventures* e promover a cooperação com outros países.

No futuro próximo, porém, será necessário criar mercado para o etanol celulósico brasileiro, de modo a adquirir ganhos de escala e de *learning-by-doing*. A solução ideal seria explorar o mercado externo, uma vez que o mercado doméstico possui a forte concorrência com o álcool de cana-de-açúcar. No entanto, caso o mercado internacional encontre-se protegido, as autoridades do governo terão que ter a sensibilidade para intervir no mercado nacional.

A criação de mercado interno para o etanol celulósico esbarra no alto custo dos subsídios necessários para a sua expansão e na própria competitividade do álcool de

primeira geração. Por isso, é preciso avaliar com atenção o seu impacto. Na ausência do mercado externo, a adoção de mandatos com metas crescentes de etanol celulósico significa uma segunda melhor alternativa. A realização dessa política, contudo, requer uma avaliação cuidadosa e planejada de seus resultados e a sua execução deve ser analisada com profundidade, sendo necessários significativos avanços tecnológicos antes de instituir mercado ao produto.

Referências bibliográficas

Abarca, C. **Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 1999.

Ahman, M.; Nilsson, L. Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels. **Utilities Policy**, v. 16, n. 2, p. 80-89, 2007.

Almeida, E.; Bomtempo, J.; Silva, C. The Performance of Brazilian Biofuels: an Economic, Enviromental and Social Analysis (2007). In: **Biofuels: Linking support to performance**. OECD/ITF, 2008.

Alves, F. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, v.15, n.3, p.90-98, 2006.

Abramovay, R. Política e contestação socioambiental no caminho do etanol brasileiro. **Política Externa**, v. 17, n. 2, 2008.

Balat, M.; Balat, H. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. **Applied Energy**, v. 86, n.11. p.2273-2282, 2009.

Bake *et al*. Explaining the experience curve: cost reductions of brazilian ethanol from sugarcane. **Biomass & Bioenergy**, v. 33, n. 4, p. 644-658, 2008.

Baka, J.; Holst, D. Food or Fuel? What Europeans farmers can contribute to Europe's transport energy requirements and Doha Round. **Energy Policy**, v. 37, n.10, p. 2505-2513, 2009.

Balsadi, O.; Gomes E. **Mercado de Trabalho Assalariado na Cana-de-açúcar: uma análise das regiões tradicionais no período 1992-2006**. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia rural (2007).

Bardi. Peak oil: the four stages of a new idea. **Energy**, v. 34, n.3, p. 323-326. 2008.

Bentley. Global oil and gas depletion: an overview. **Energy Policy**, v. 31, n.4, p. 389-390. 2002.

Bom, E.; Ferrara, M. **Bioethanol production via Enzimatic Hydrolysis of Cellulosic Biomass**. The Role of Agricultural Biotechnologies for Production of Bioenergy in Developing Countries, an FAO seminar held in Rome on 12 October 2007.

Bomtempo, J. **Projeto Perspectivas do Investimento no Brasil** (PIB). Documento setorial: biocombustíveis (2009).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional**. 2008. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: Nov, 2009.

BP (2010), Statistical Review. Disponível em: http://www.bp.com. Acesso em: jan, 2010.

Cassiolato, J., Lastres, H. Sistemas de inovação e desenvolvimento as implicações de política, **São Paulo em Perspectivas**, v. 19, n. 1, p. 34-45, jan/mar. 2005.

CGEE. **Bioethanol Combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (2009).

CCGE; BNDES. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar: Energia para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, 2008.

CERA. The oil industry growth challenge:expanding production capacity (2005).

Clô, A. **Oil economics and Policy**. Kluwer Academic Publishers. Londres, 2000.

Coelho, S. **Biofuels - Advantage and Trade Barriers**. United Nations on Trade and Development. Genebra (2005).

Costa, P. **Um Estudo de Oportunidade para o Setor Sucroalcoleiro na Matriz Energética**. Dissertação de mestrado em energia elétrica – Universidade de Brasília (2008).

CRS Report for Congres. **Energy Independence and Security Act of 2007**. A summary of major provisions. 2007.

CRS Report for Congres. **Biofuels Incentives: A Summarry of Federal Programs**. 2008.

Demirbas, A. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. **Apply Energy** (2009), doi:10.1016/j.apenergy.2009.04.036.

De Melo, L. **Financiamento à inovação no Brasil: uma análise do sistema de financiamento à inovação do Brasil**. Workshop BRICs (2007).

De Oliveira, A. Integración y transición energética. **Foreign Affairs – Latino América**, v. 9, p. 87-97. 2009.

De Oliveira, A. Reassessing the brazilian alcohol programme. **Energy Policy**, v. 19, n. 1, p. 47-55, 1991.

De Oliveira, M *et al*. Ethanol as a fuel: energy, Carbon Dioxide Balances and Ecological Footprint. **Bioscience**, v. 55, n.7, p. 27-36. 2005.

DOE. Department of Energy (US). Annual Energy Outlook 2009.

Dwivedi, P *et al*. Cellulosic ethanol production in the United States: Conversion technologies, current production status, economics, and emerging developments. **Energy for Sustainable Development**, v.13, n.3, p.174-182, 2009.

Earley, J.; McKeown. **Smart Choices for Biofuels**. Worldwatch Institute (2009).

EU-27. Biofuels Annuals. Annual Report (2009).

EU Comission. Commission of the European communities. Communication from the commission: An EU strategy for biofuels. Bruxelas (2006).

EU Comission. Commission of the European communities. Communication from the commission to the European Coucil and the European Parliament: An energy policy for Europe. Bruxelas (2007).

Fargione *et al*. Land clearing and the biofuel carbon debt. **Science**, v. 319, fev. 2009.

Fonseca, M. **A dinâmica agroindustrial e tecnológica da agroindústria brasileira sob a ótica de sistemas de inovação: grãos e cana-de-açúcar**. Workshop BRICs (2007).

Freeman, C. The 'National System of Innovation' in historical perspective, **Cambridge Journal of Economics,** v. 19, n.1, p. 5-24. 1995.

Fronzaglia T, Martins R. Cordenação de redes de P&D: **o caso do sistema de inovaçãosucroalcooleiro**. 3º Seminário Ciência e Tecnologia na América Latina. UNICAMP, Campinas. Disponível em: <http://www.cori.unicamp.br/CT2006/trabalhos/COORDENAcaO%20DE%20REDES%20DE%20PD.doc>. Acesso em agosto de 2009.

Goldember, J.; Guardabassi, P. Are Biofuels a feasible option?. **Energy Policy**, v. 37, n.1, p. 10-14, 2008.

Goldemberg, J *et al*. How adequate policies can push renewable. **Energy Policy**, v. 32, n. 9, p. 1141-1146, 2004.

Greene, L *et al*. Have we run out of oil yet? Oil peaking analysis from an optimist's perspective. **Energy Policy**, v. 34, n. 5, p. 515–531, 2006.

Hall, P. **Innovation, Economics and Evolution**: Theoretical Perspectives on Changing Technology in Economic Systems. Harvester Wheatsheaf, New York, 1994.

Half, A. **Energy Nationalism, Consumer Style: How the Quest for "Energy Independence" Undermines U.S. Ethanol Policy and Energy Security**. Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University, 2008.

Hekkert, M *et al*. Functions of innovation systems: A new approach for analyzing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 4, p. 413-432. 2007.

Hettinga *et al*. Understanding the reductions in US corn ethanol production cost: an experience curve approach. **Energy Policy,** v.37, n.1, p. 190-203. 2008.

Hettinga *et al*. Technological learning in US ethanol production. 15_{th} European Biomass Conference & Exibition, Alemanha (2007).

Hira, A; De Oliveira, L. No substitute for oil? How Brazil developed its ethanol industry. **Energy Policy**, v. 37, n. 6. 2009.

IEA– International Energy Outlook. Experience Curves For Energy Technology Policy (2000).

IEA– International Energy Outlook. From 1st to 2nd Generation Biofuels Technologies – an overview of current industry and RD&D activities (2008a).

IEA – International Energy Outlook. World Energy Outlook (2008b).

Iooty, M. Projeto Perspectivas do Investimento no Brasil (PIB). Documento setorial: petróleo (2008).

ISO – International Sugar Organization. Cogeneration: Opportunities in the World Sugar Industries (2009).

Johnson, B., Lundvall, B-Å. **Why all this fuss about codified and tacit knowledge?** In: DRUID Winter Conference, 18-20 January 2001, Aalborg, Denmark.

Junginger *et al*. Developments in international bioenergy trade. Biomass & Bioenergy 32 (2008), p. 657-659.

Kerr, W.; Loppacher L. Trading Biofuels – Will International Trade Law Be a Constraint?. **Agriculture, Food & Resources Issues** (2005), p. 204-211.

Larson, E. A review of life-cycle analyses studies on liquid biofuel systems for the transport sector. **Energy for Sustainable Development**, v. 10, n. 2. 2006.

Lastres, H. *et al.* **Globalização e Inovação Localizada**, in Cassiolato, J. E.; Lastres, H. (eds) Globalização e Inovação Localizada: experiências de sistemas locais no Mercosul . Brasília: IBICT, 1999.

Lastres, H.; Cassiolato, J. **Políticas para arranjos produtivos locais no Brasil**. In F.B. Oliveira (ed) Política de Gestão Pública Integrada, Rio de Janeiro: Ed. da FGV, 2008.

Laurence W. Switch to corn promote Amazon deflorestation. **Science**, v.318, p. 1721. 2007.

Lundvall, B-A**. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning.** Pinter, London, 1992.

Mathews, J. Carbon-negative biofuels. **Energy Policy**, v. 36, p.940-945. 2007a.

Mathews, J. Biofuels: What a Biopact between North and South could achieve. **Energy Policy**, v.35, n.7, p. 3550-3570. 2007b.

Mathews, J. Towards a sustainably certifiable futures contract for biofuels. **Energy Policy**, v. 36, n. 5, 1577-1583. 2009.

Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). **O papel do MCT no Fomento ao Desenvolvimento Tecnológico: Biocombustíveis**. Workshop inicial do Projeto Celab. Brasília, 2008.

Nelson, R. (ed.) **National innovation systems: a comparative analysis**. New York, Oxford: Oxford University, 1993.

NELSON, R., WINTER, S. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1982.

OCDE (1990) Technological Innovation: some definitions and building blocks. (Technology/Economy Programme (TEP), OCDE., Paris, mimeo).

Peters, J.; Thielmann, S. Promoting Biofuels: implication for developing countries. **Energy Policy**, v.36, n.4, p. 1538-1544. 2008.

Piccolo, C., Bezzo, F. A techno-economic comparison between two technologies for Bioethanol production from lignocelluolose. **Biomass & Bioenergy**, v.33, p. 478-491. 2008.

Pimentel, D.; Patzek, T. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. **Natural Resource Research**, v. 14, n. 1, p. 65-76.

Quadrelli, R; Peterson S. The energy-climate challenge: Recent trends in CO_2 from fuel combustion. **Energy Policy**, v.35, n.11, p. 5938-5952. 2007.

RFA – Reneable Fuels Association. Growing Innovation. 2009 Ethanol Industries Outlook.

RFA – Reneable Fuels Association.Climate of Opportunity. 2010 Ethanol Industries Outlook.

ROSÁRIO, F. **Competitividade e transformações estruturais na agroindústria sucroalcooleira no Brasil: uma análise sob a ótica dos sistemas setoriais de**

inovações. Tese de Doutorado. Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

Rosillo-Calle, F., Cortez, L. Towards Proalcool II: A review of brazilian etanol programme. **Biomass & Bioenergy**, v. 14, n. 2, p. 115-124, 1997.

Royal Society. Sustainable biofuels: prospects and challenges (2008). Disponível em: royalsociety.org. Acesso em: ago 2009.

Sachs, J. A revolução Energética do Século XXI. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 21-38. 2007.

Sassner *et al*. Techno-economic evaluationof bioethanol production from three different lignocellulosic materials. **Biomass & Bioenergy**, v.32, p. 422-430. 2007.

Schmitz, H.; Nadvi, K. Clustering and Industrialization: Introduction, World Development, V. 27, N. 9, p. 1503-1514. 1999.

Schumpeter, J. (1942) **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984.

SHELL. Shell Energy Scenarious to 2050 (2008).

Smeets, E. *et al*. The sustentability of brazilian ethanol – An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass & Bioenergy**, v. 32, p. 781-813. 2008.

Sims, R *et al*. An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1570-1580. 2009.

Soares, P. **Setor sucroalcooleiro: Inovações tecnológicas em bioenergia, estágio atual e perspectivas tecnológicas futuras**. II Workshop INFOSUCRO. Rio de Janeiro, 2009.

Solomon *et al*. Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy. **Biomass & Bioenergy**, v.31, n.6, p. 416-425. 2007.

Souza, E. **Etanol: desafios e oportunidades nos mercados nacional e internacional**. II Workshop INFOSUCRO. Rio de Janeiro, 2009.

Srinivasan, S. The food v. food debate: a nuanced view of incentive structured. **Reneable Energy**, v. 34, n. 4, p. 950-954. 2008.

Steenblik, R. Subsidies: The Distorted Economics of Biofuels (2007). In: **Biofuels: Linking support to performance**. OECD/ITF, 2008.

Stern, N. **The Economics of Climate Change**. The Stern Review. Cambridge University Press (2007).

Suurs, R.; Hekkert, M. Competition between first and second generation technologies: Lessons from the formation of a biofuels innovation System in the Netherlands. **Energy**, v. 34, p. 669-679. 2009.

Szklo *et al*. Can one say that ethanol is a real threat to gasoline?. **Energy Policy**, v. 35, n.11, p. 5411-5421. 2007.

Tan, K *et al*. Role of energy policy in renewable energy accomplishment: The case of second-generation bioethanol. **Energy Policy**, v. 36, n.9, p. 3360-3365. 2008.

TRIPARTITE TASK FORCE: BRAZIL, EUROPEAN UNION & UNITED STATES OF AMERICA. White Paper on Internationally Compatible Biofuel Standards (2007).

UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development. Biofuel production technologies: status, prospects and implications for trade and development (2008).

Ueki, Y. Industrial Development and the Innovation System of the Ethanol Sector in Brazil. Institut of Developing Economies (2007).

Walter *et al*. Perspectives on fuel ethanol consumption and trade. **Biomass & Bioenergy**, v. 32, n.8, p. 730-748. 2008.

Wiesenthal, T et al. Biofuel Support Policies in Europe: Lessons learned from the long way ahead. **Reneable & Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 789-800, 2008.

Woods, J.; Diaz-Chavez, R. The Environmental Certification of Biofuels (2007). In: **Biofuels: Linking support to performance**. OECD/ITF, 2008.

Wyman, C. What is (and is not) vital to advancing cellulosic ethanol. **Trends in Biotechnology**, v.25, n.4, p.153-157, abr. 2007.

Wyman, C. Cellulosic Ethanol: a unique sustainable liquid transportation fuel. **Resources Biomass & Biofuels**, v.33, n.4, p. 381-383. 2008.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo