

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA

**ADAPTAÇÃO REGULATÓRIA NA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS**

INAIÊ TAKAES SANTOS

RIO DE JANEIRO

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ADAPTAÇÃO REGULATÓRIA NA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS**

Inaiê Takaes Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de MESTRE em Ciências, em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Junior  
Co-orientador: Prof. Dr. José Vitor Bomtempo Martins

RIO DE JANEIRO

2012

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

# ADAPTAÇÃO REGULATÓRIA NA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Inaiê Takaes Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de MESTRE em Ciências, em Economia.

## BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Junior (IE-UFRJ/ANP) – Orientador

---

Prof. Dr. José Vitor Bomtempo Martins (EQ-UFRJ) – Co-orientador

---

Prof. Dr. Edmar Luiz Fagundes de Almeida (IE-UFRJ)

---

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira (UNIFEI)

Agosto de 2012

## AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que forneceram apoio financeiro para a realização deste trabalho por meio do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás.

Ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que abriu as portas de um novo mundo acadêmico para mim.

Ao Prof. Helder e ao Prof. José Vitor, pelos ensinamentos durante as cadeiras ministradas e valiosas contribuições para a elaboração deste trabalho, além da confiança que sempre demonstraram ter em mim.

Ao Grupo de Economia da Energia, pelo ambiente que propicia o debate e o surgimento de novas ideias. Às secretárias Joseane e Daisy, pelo carinho e atenção. Ao Prof. Ronaldo Bicalho, pelos comentários e sugestões durante a defesa e elaboração do projeto de dissertação. Ao Marcelo e ao Thales, pelos conselhos de veteranos.

Aos meus companheiros do mestrado, Paula, Norberto, Tarciso, Bernardo, Nathália e Luana, que tornaram menos sofrido o curso do mestrado.

À Caroline, pela amizade e companheirismo durante toda a jornada carioca.

Por fim, aos meus pais, pelo amor e suporte emocional e financeiro.

*The most powerful natural species are those that adapt to environmental change without losing their fundamental identity which gives them their competitive advantage.*

Charles Darwin

## RESUMO

SANTOS, Inaiê Takaes. **Adaptação regulatória na indústria de biocombustíveis**. Rio de Janeiro. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

A dissertação trata da necessidade de adaptação na regulação econômica, que decorre tanto de mudanças nas políticas públicas, como de transformações na estrutura da indústria regulada, particularmente aquelas decorrentes de inovações tecnológicas. Desse modo, o trabalho explora os vínculos existentes entre a atividade regulatória, as demais políticas setoriais e a dinâmica de inovação que regem a trajetória da indústria de biocombustíveis, elucidando aspectos relevantes na dinâmica coevolutiva da regulação e das tecnologias empregadas na produção de biocombustíveis. Apresentam-se as principais ações governamentais que restringem e incentivam a produção e o consumo de biocombustíveis no país, além da análise de seus efeitos sobre a estrutura da indústria. A adaptação regulatória é considerada assim uma capacitação fundamental para a promoção do desenvolvimento tecnológico nas indústrias reguladas e coordenação da intervenção governamental. A pesquisa apresenta dois casos, um no Brasil e outro nos Estados Unidos, identificando a existência de instrumentos mais flexíveis no segundo caso, apesar de a introdução de novos biocombustíveis estar sujeita a mecanismos de controle e transparência similares aos adotados pela regulação no Brasil. Os casos mostram que, no Brasil, a regulação acompanha mudanças pela introdução de novas tecnologias na indústria em ritmo mais lento e que a maior complexidade de seu desenho institucional se mostra menos favorável à coordenação da atividade regulatória com os objetivos de políticas públicas do que nos Estados Unidos.

Palavras-chave: Regulação. Inovação. Biocombustíveis.

## ABSTRACT

SANTOS, Inaiê Takaes. **Adaptação regulatória na indústria de biocombustíveis**. Rio de Janeiro. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

The dissertation addresses the need for adaptation in economic regulation, which derives both from shifts in public policies, as well as from changes in the structure of the regulated industry, particularly those related to technological innovation. The research explores the relationship between regulatory activity, public policies and innovation dynamics that govern the biofuels industry, clarifying relevant aspects of coevolutionary dynamics of regulation and the technologies employed in the biofuels production. The study presents the main government actions that restrict and encourage the production and consumption of biofuels and analyzes its effects on industry structure. While the industry seeks to introduce technological innovations, regulatory framework changes at a slower pace. The regulatory adaptation is considered, therefore, a key capability for the promotion of technological development in regulated industries. The study presents two cases: one in Brazil and another in the United States, identifying the existence of more flexible mechanisms in the second case, although the introduction of new biofuels is subject to criteria of quality and transparency through processes similar to those adopted by the Brazilian regulatory agency. The case studies demonstrate that the Brazilian regulation follows the introduction of new technologies in the industry and greater complexity in its institutional design is less favorable to a broader coordination of regulatory activity with the objectives of public policies than in the United States.

Keywords: Regulation. Innovation. Biofuels.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>AIE</b>	Agência Internacional de Energia
<b>ANP</b>	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
<b>ANFAVEA</b>	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
<b>APROBIO</b>	Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil
<b>BNDES</b>	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
<b>BEN</b>	Balanço Energético Nacional
<b>BTL</b>	Biomass-to-Liquids
<b>CAA</b>	Clean Air Act (EUA)
<b>CENPES</b>	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Petrobras)
<b>CTC</b>	Centro de Tecnologia Canavieira
<b>CGEE</b>	Centro de Gestão de Estudos Estratégicos
<b>CNPE</b>	Conselho Nacional de Política Energética
<b>DOE</b>	Departamento de Energia (EUA)
<b>EISA</b>	Energy Independence and Security Act (EUA)
<b>EPE</b>	Empresa de Pesquisa Energética
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (EUA)
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAO</b>	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
<b>FINEP</b>	Financiadora de Estudos e Projetos
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>IAC</b>	Instituto Agronômico de Campinas
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MCTI</b>	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>MDIC</b>	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<b>P&amp;D</b>	Pesquisa e Desenvolvimento
<b>PAISS</b>	Plano de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico
<b>PBM</b>	Plano Brasil Maior
<b>PDE</b>	Plano Decenal de Expansão de Energia
<b>PDP</b>	Política de Desenvolvimento Produtivo
<b>PNMC</b>	Política Nacional de Mudanças Climáticas
<b>PNPB</b>	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
<b>RFS</b>	Renewable Fuel Standard (EUA)
<b>RIDESA</b>	Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético
<b>RIN</b>	Renewable Identification Number (EUA)

<b>SEBRAE</b>	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
<b>UBRABIO</b>	União Brasileira do Biodiesel e do Bioquerosene
<b>UNICA</b>	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
<b>USDA</b>	Departamento de Agricultura (EUA)
<b>ZAE</b>	Zoneamento Agroecológico da Cana

# SUMÁRIO

<u>INTRODUÇÃO .....</u>	<u>19</u>
<u>CAPÍTULO 1: A REGULAÇÃO ECONÔMICA SOB A PERSPECTIVA EVOLUCIONÁRIA.....</u>	<u>21</u>
<u>1.1 A Intervenção governamental no sistema econômico.....</u>	<u>21</u>
<u>1.2 Regulação e políticas públicas setoriais: a busca da ação governamental coordenada.....</u>	<u>22</u>
<u>1.3 Dinâmica industrial e de inovação.....</u>	<u>22</u>
<u>1.4 O papel das instituições na mudança tecnológica.....</u>	<u>23</u>
<u>1.5 Coevolução das tecnologias sociais e tecnologias físicas .....</u>	<u>25</u>
<u>1.6 A adaptação regulatória como capacitação.....</u>	<u>26</u>
<u>1.7 Conclusões.....</u>	<u>27</u>
<u>CAPÍTULO 2: UMA INDÚSTRIA EM TRANSFORMAÇÃO .....</u>	<u>28</u>
<u>2.1 Estrutura atual da indústria de biocombustíveis.....</u>	<u>28</u>
<u>2.1.1 Estrutura atual da indústria de etanol.....</u>	<u>30</u>
<u>2.1.2 Estrutura atual da indústria de biodiesel.....</u>	<u>32</u>
<u>2.2 Biocombustíveis e o meio ambiente: solução ou problema?.....</u>	<u>33</u>
<u>2.3 Políticas públicas para produção e consumo de biocombustíveis.....</u>	<u>34</u>
<u>2.4 Dos biocombustíveis convencionais aos avançados?.....</u>	<u>35</u>
<u>2.4.1 Processos bioquímicos.....</u>	<u>35</u>
<u>2.4.2 Processos termoquímicos.....</u>	<u>36</u>
<u>2.5 A inovação em diversas dimensões.....</u>	<u>37</u>
<u>2.5.1 Novos processos, produtos e matérias-primas .....</u>	<u>37</u>
<u>2.5.2 Biorrefinarias e coprodutos.....</u>	<u>37</u>
<u>2.5.3 Tendências da nova bioindústria.....</u>	<u>40</u>
<u>2.6 Conclusões.....</u>	<u>41</u>
<u>CAPÍTULO 3: ADAPTAÇÃO REGULATÓRIA NOS ESTADOS UNIDOS E NO BRASIL.....</u>	<u>43</u>
<u>3.1 O caso norte-americano.....</u>	<u>43</u>
<u>3.1.1 A regulação dos biocombustíveis nos Estados Unidos.....</u>	<u>43</u>
<u>3.1.3 Oportunidades e entraves para o biobutanol sob o RFS2.....</u>	<u>48</u>
<u>3.1.4 Aprovação de novas rotas de produção sob o RFS2.....</u>	<u>50</u>
<u>3.1.5 Considerações sobre o caso norte-americano.....</u>	<u>51</u>
<u>3.2 O caso brasileiro.....</u>	<u>52</u>
<u>3.2.1 A Regulação dos biocombustíveis no Brasil.....</u>	<u>52</u>
<u>3.2.2 Os biocombustíveis na política energética brasileira.....</u>	<u>53</u>

<a href="#"><u>3.2.3 Os biocombustíveis e a política industrial brasileira.....</u></a>	<a href="#"><u>54</u></a>
<a href="#"><u>3.2.4 Os biocombustíveis e a Política Nacional de Mudanças Climáticas.....</u></a>	<a href="#"><u>55</u></a>
<a href="#"><u>3.2.5 A introdução de um novo biocombustível no mercado.....</u></a>	<a href="#"><u>56</u></a>
<a href="#"><u>3.2.6 A regulação e as novas políticas .....</u></a>	<a href="#"><u>56</u></a>
<a href="#"><u>3.2.7 Considerações sobre o caso brasileiro.....</u></a>	<a href="#"><u>57</u></a>
<a href="#"><u>3.3 Lições dos casos norte-americano e brasileiro.....</u></a>	<a href="#"><u>57</u></a>
<a href="#"><u>3.4 Conclusões.....</u></a>	<a href="#"><u>58</u></a>
<a href="#"><u>CONCLUSÃO.....</u></a>	<a href="#"><u>60</u></a>
<a href="#"><u>REFERÊNCIAS.....</u></a>	<a href="#"><u>61</u></a>

## INTRODUÇÃO

Durante a primeira década deste século, testemunhou-se uma sensível mudança nas legislações que regem as atividades do setor de energia em nível mundial, sobretudo em relação às crescentes restrições impostas pelos órgãos ambientais, tanto em nível local, quanto global. Aliado à concentrada distribuição das reservas de recursos fósseis entre as nações, o discurso do aquecimento global ganhou força na agenda de pesquisa energética, contribuindo para a promoção de fontes renováveis de energia. Com isso, o papel dos biocombustíveis na oferta global de energia ocupou – e deverá continuar a ocupar nos próximos anos - a pauta de discussão de cientistas de diversas áreas, formuladores de política, empresários e organizações da sociedade civil.

O relatório anual *World Energy Outlook 2010*, publicado pela Agência Internacional de Energia, é bastante claro ao afirmar que o crescimento na demanda por energia virá quase que exclusivamente de países em desenvolvimento, onde a taxa de crescimento populacional é maior e o consumo de energia per capita se encontra bem abaixo da apresentada por países desenvolvidos. Sendo assim, muita atenção se volta para as políticas que China, Índia e Brasil, principalmente, estão adotando para administrar os recursos energéticos e as emissões associadas de gases de efeito estufa (GEE).

O Brasil tem realizado esforços para manter sua matriz energética relativamente limpa em comparação à média mundial. O Balanço Energético Nacional (BEN), que contabiliza a oferta e consumo de energia no país, revela que as fontes renováveis de energia (energia hidráulica, produtos da cana, lenha e outras) responderam por 47% da produção de energia primária no país em 2010.

A demanda por combustíveis para transporte responde pela maior parte do consumo de petróleo em diversos países e tem aumentado mais do que a demanda por energia durante as últimas décadas. À medida que se extinguem as reservas mais acessíveis, a expansão da produção se dá em regiões onde as condições de extração são mais complexas, exigindo em muitos casos o desenvolvimento de novas tecnologias e/ou fazendo com que os custos de produção e transporte aumentem.

De acordo como o relatório *Technology Roadmap: Biofuels for Transport* (AIE, 2011), se o padrão de consumo energético se mantiver como hoje, as emissões de GEE vão mais que duplicar até 2050 e o aumento da demanda por petróleo aumentará ainda mais as preocupações com o aquecimento global.

Desse modo, os biocombustíveis se tornam parte da solução desse desequilíbrio, enquanto alternativas como as do carro elétrico e da célula a hidrogênio e tecnologias de captura e estocagem de CO<sub>2</sub> não atingem maturidade tecnológica e a fase de comercialização ampla. Nos últimos anos, o consumo global de biocombustíveis, limitado praticamente ao setor de transporte rodoviário, aumentou cinco vezes entre 2000 e 2008, chegando a um milhão de barris por dia. Enquanto a demanda por petróleo no setor de transportes apresentou queda no ano de 2009, pela primeira vez desde 1980, devido a preços mais elevados e redução da atividade econômica, o consumo de biocombustíveis continuou aumentando com base na expansão da capacidade produtiva, apoiada pelo setor público na maioria dos países (AIE, 2010).

Na década passada, a introdução dos veículos bicombustíveis e o início da mistura obrigatória de biodiesel ao diesel mineral fizeram com que o setor de biocombustíveis ganhasse importância indiscutível na matriz energética brasileira. Ainda segundo o BEN 2011, os produtos derivados da cana-de-açúcar foram responsáveis por cerca de 18% da Oferta Interna de Energia, fazendo com que fossem a segunda categoria de energéticos mais demandada em 2010, enquanto a produção de biodiesel apresentou aumento de 49% em relação ao ano anterior, totalizando cerca de 2,4 bilhões de litros.

O próprio governo defende que o fato de os biocombustíveis conquistarem cada vez mais espaço nas carteiras de investimento de grandes empresas petrolíferas, como Shell, BP e Total, é exemplo de que eles são, atualmente, a melhor opção para reduzir o conteúdo de carbono dos combustíveis, em misturas ou em substituição aos combustíveis fósseis (MME, 2010).

O ponto de partida deste trabalho reside na importância que a produção de biocombustíveis adquire diante dos interesses da agroindústria, de diversas políticas públicas para o setor e da sociedade civil, e no fato de que tais interesses nem sempre são convergentes. Além da própria coordenação no nível político, o sucesso de programas energéticos depende da boa articulação entre o setor público e o privado, o que nos permite afirmar que a indústria evolui conjuntamente com as instituições, formais e informais, que a sustentam.

Ao longo das últimas décadas, a indústria sucroalcooleira foi capaz de articular seus interesses com os de outros setores da economia, inclusive do governo. A implantação do Programa Proálcool durante a década de 1970, cujo objetivo principal era contornar o problema da dependência energética que se tornou mais proeminente com a crise do petróleo, foi exemplo dessa articulação de interesses.

Críticas à produção de cana-de-açúcar em larga escala com relação aos danos ambientais, oriundos da prática da monocultura e da queima da cana já existiam àquela época<sup>1</sup>. Com o rápido aumento da produção de etanol nos anos 2000, elas ganharam força ainda maior. Não só no Brasil, a produção de biocombustíveis é criticada pela concorrência por água e terras agricultáveis com a produção de alimentos e pelo deslocamento de outras culturas, eventualmente contribuindo para o aumento do desmatamento e das emissões de GEE. Já as críticas às condições de trabalho no campo tendem a perder força, à medida que a colheita da cana-de-açúcar passa do método manual para o mecanizado.

A fim de contornar problemas como a disponibilidade de matéria-prima (que está associada à competição por recursos com a produção de alimentos) e a possibilidade de balanços energéticos<sup>2</sup> pouco favoráveis, diversos projetos de inovação estão em andamento para desenvolver novos processos e produtos, além de aproveitar a matéria-prima de forma integral. É de interesse da sociedade como um todo que esses produtos substituam os combustíveis utilizados atualmente, atendendo à demanda energética com menor poluição. Por outro lado, podem existir atores sociais resistentes a essas iniciativas.

O problema para o qual se chama atenção neste trabalho tem a ver com o fato de que o desenvolvimento tecnológico associado à dinâmica de inovação industrial depende não só das capacitações acumuladas dentro das firmas, mas também de elementos que alguns autores tratam como sistêmicos, por fazerem parte de um sistema sócio-técnico (GEELS, 2004), ou como tecnologias sociais, em contraposição às tecnologias físicas (NELSON, 2007). Esses elementos se situam fora da dimensão de mercado, envolvendo forças políticas e sociais, que determinam normas, padrões, regulamentações, entre outros aspectos, aos quais a indústria deve atender.

A regulação e as políticas públicas setoriais são importantes elementos de influência na definição de trajetórias tecnológicas e o processo de evolução industrial. Dentre as políticas setoriais, a mais relevante para este trabalho diz respeito à política energética, em que consta o aumento da participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional em bases econômicas, sociais e ambientais. Entretanto, ao longo do trabalho, será possível constatar que a introdução do etanol e biodiesel na matriz energética é objeto de preocupação e/ou interesse de outras áreas de atuação governamental.

---

1 Gilberto Freyre, por exemplo, sempre destacou os impactos ambientais e as condições degradantes de trabalho que a monocultura canavieira carregou consigo desde o regime escravista.

2 Relação entre a energia contida nos biocombustíveis e a energia gasta para produzi-los.

Em primeiro lugar, existem controvérsias acerca da efetiva redução de emissões de GEE, quando se consideram os impactos em toda a cadeia produtiva, fazendo com que os biocombustíveis sejam tema de debate na área ambiental. Segundo, há uma série de impactos sociais decorrentes principalmente da geração de empregos e renda nas localidades produtoras, o que os torna importante elemento nas estratégias de desenvolvimento agrário. Terceiro, há hoje na indústria aspectos tecnológicos sendo explorados no desenvolvimento de combustíveis renováveis avançados, o que abre oportunidade para que o país desenvolva competências nessas novas rotas de produção, com desdobramentos positivos sobre outros setores da economia, inclusive o de ciência e tecnologia. Também não se pode deixar de mencionar a relevância que o setor tem para o comércio exterior: a produção de biodiesel permitiu a redução de importação de diesel e o setor de etanol, a despeito das dificuldades recentes de abastecimento do mercado interno, prospecta clientes no exterior. E por fim, é preciso lembrar que muitos incentivos à produção de biocombustíveis estão associados a alterações na estrutura tributária, além de adquirirem importância nas políticas de controle inflacionário.

Essa variedade de temas com os quais as políticas de apoio aos biocombustíveis se relacionam é enfatizada nas Diretrizes da Política de Agroenergia, conjuntamente elaboradas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). O documento chama atenção para a necessidade de alinhamento das diversas políticas governamentais, “como a política tributária, de abastecimento, agrícola, agrária, creditícia, fiscal, energética, de ciência e tecnologia, ambiental, industrial, de comércio internacional e de relações exteriores e, quando for o caso, do seu desdobramento sobre legislação específica” (BRASIL, 2006, p. 3).

O setor privado, por sua vez, tem suas ações refletidas na estrutura da indústria, que apresenta uma dinâmica própria. Além de responderem a incentivos providos pelo ambiente em que atuam, as firmas podem agir de forma espontânea, investindo, inovando, terceirizando ou se integrando, diversificando e expandindo mercados consumidores.

Portanto, quando se considera o papel de cada um desses elementos na conformação da estrutura industrial de um setor, identifica-se também um idêntico número de fontes de mudança, que podem ser de grande relevância para o órgão regulador. Como será observado com cuidado mais à frente, a regulação evolui de forma mais ou menos coordenada com outras políticas setoriais e com as próprias tecnologias. A adaptação regulatória surge nesse



contexto como uma importante capacitação do órgão regulador, a fim de manter a coesão da intervenção governamental no setor produtivo e promover o desenvolvimento tecnológico.

A introdução de novos combustíveis renováveis na matriz energética requer capacitação para uma pronta análise e avaliação, em termos de padrões técnicos e comerciais adotados, sob o risco de desestimular outras empresas a se engajarem em atividades de inovação. Nesse sentido, a padronização técnica, assim como as políticas de incentivos, tem um importante papel na seleção e difusão das novas rotas tecnológicas em desenvolvimento.

Objetivamente, as perguntas que governam essa pesquisa são como e com que velocidade a regulação setorial responde a:

- i) mudanças nas políticas públicas que interferem no mercado regulado, e
- ii) mudanças na estrutura industrial e de mercado no setor regulado, sobretudo aquelas decorrentes da introdução de inovações tecnológicas?

A metodologia deste trabalho está centrada na construção de uma ligação entre a teoria da dinâmica industrial e das instituições e os fatos observados na indústria de biocombustíveis. O referencial teórico adotado envolve tanto conceitos introduzidos pela Teoria Evolucionária, Economia da Inovação e Economia Institucional, como análises sobre inovação e regulação neste setor específico. O trabalho se sustenta nas contribuições de autores importantes como Douglass North, Richard Nelson, Sidney Winter, Franco Malerba, Giovanni Dosi, Frank Geels, entre outros. Além disso, o levantamento das políticas setoriais e o próprio estudo de caso exigiram uma extensa consulta a documentos de órgãos governamentais como MME, EPE, ANP, FINEP, BNDES, EMBRAPA, entre outros.

O resultado da pesquisa está estruturado em três capítulos, além desta Introdução. O capítulo 1 apresenta as referências que norteiam a análise da evolução da regulação econômica com a dinâmica industrial e a formulação de políticas públicas. Ao final, justifica-se por que a adaptação regulatória deve ser vista como uma importante capacitação do órgão regulador.

O capítulo 2 aborda a inovação tecnológica na produção de biocombustíveis e como estas têm potencial para contornar problemas da produção atual, como a concorrência por recursos produtivos com a produção de alimentos e as emissões indiretas de GEE, considerando-se todo o ciclo de produção. Ele se dedica à descrição da estrutura atual da indústria de biocombustíveis e à dinâmica de inovação que tem caracterizado a formação de uma indústria baseada em biomassa, ou bioindústria.

Por fim, o terceiro capítulo apresenta dois casos, um nos Estados Unidos e outro no Brasil, onde a introdução de novos combustíveis e a criação de novas políticas exigiram do órgão regulador a adaptação das regras vigentes.

## **CAPÍTULO 1: A REGULAÇÃO ECONÔMICA SOB A PERSPECTIVA EVOLUCIONÁRIA**

Este é um capítulo teórico, que busca apresentar as referências que embasam a compreensão dos elementos relevantes na análise da evolução da regulação econômica com a dinâmica industrial. Sua estrutura se divide em seis seções, além desta nota introdutória.

Na primeira, discute-se de que maneira a intervenção governamental no sistema econômico, à luz dos argumentos apresentados por autores institucionalistas, pode auxiliar na promoção do desenvolvimento econômico. Destaca-se, sobretudo, a importância da coordenação de interesses em setores de infraestrutura e em contextos de incerteza e racionalidade limitada.

A relação entre a regulação e outras políticas setoriais é discutida na segunda seção, destacando que, apesar de autônomas, elas devem ser atividades coordenadas e alinhadas com diretrizes traçadas em um planejamento de longo prazo.

Logo em seguida, apresentam-se os elementos teóricos que auxiliam nossa compreensão acerca das estratégias empresariais de inovação e da dinâmica industrial. A quarta seção busca discutir a importância das instituições nos processos de mudança tecnológica, ao passo que a quinta seção faz a ligação entre a regulação, as políticas públicas e a dinâmica industrial, desenvolvendo o conceito de adaptação regulatória.

### **1.1 A Intervenção governamental no sistema econômico**

Antes de fazer considerações sobre a regulação, sua relação com demais políticas setoriais e com a estrutura dos mercados regulados, é interessante inicialmente termos uma breve discussão acerca dos motivos que tornam a intervenção governamental tão importante para o desenvolvimento econômico. Faz sentido que este tema seja tratado com cuidado, pois tanto a regulação como as políticas públicas são instrumentos dos quais o governo dispõe para constituir estruturas de incentivos que governam as decisões de agentes privados. As leis, regulamentações e medidas fiscais exercem pressão sobre a indústria ao moldar as condições econômicas de contorno, podendo ser vistas como incentivos externos aos quais os agentes da indústria devem responder, normalmente por meio de coerção ou ameaça de punição.

Considerando que a análise a ser desenvolvida requer a compreensão das relações existentes entre um diversificado grupo de organizações e instituições, torna-se oportuno recorrermos aos conceitos e ideias desenvolvidas na área da Economia Institucional, da qual

Douglass North é um dos principais representantes. North direcionou bastante atenção ao estudo da mudança institucional e de como as instituições afetam o crescimento econômico. De acordo com o autor, as instituições criam a estrutura de incentivos de uma economia, e a partir dela surgem organizações que buscam se beneficiar das oportunidades criadas por tal estrutura.

Aqui vale a pena ressaltar a diferença conceitual entre organizações e instituições. North (1990) define as instituições como restrições planejadas por seres humanos capazes de estruturar e guiar as interações sociais, econômicas e políticas, podendo ser de caráter formal (constituições, leis, direitos de propriedade) ou informal (valores morais, tabus, costumes, tradições, códigos de conduta, formas de agir e pensar). As organizações, por sua vez, são grupos de indivíduos unidos com o propósito de atingir um objetivo comum. Incluem órgãos políticos (partidos, Senado, Câmaras Municipais, agências reguladoras), econômicos (firmas, cooperativas, sindicatos), sociais (igrejas, clubes) e educacionais (escolas, faculdades). Para usar a analogia de North, em um jogo, as instituições são as regras, ao passo que as organizações são os jogadores. Assim, as políticas públicas, por envolverem um conjunto de leis, normas e procedimentos, são instituições que surgem a partir da interação de organizações, como o Congresso Nacional, os conselhos interministeriais, os partidos políticos, as associações de empresários, de trabalhadores, de proteção do meio ambiente, entre outros.

Para Douglass North, o papel do Estado se mostra essencial na provisão de instituições que incentivem o crescimento econômico, ou mais precisamente, no estabelecimento de um ambiente institucional no qual os direitos de propriedade são definidos e garantidos. Assim, o Estado deve se preocupar com o conjunto de regras fundamentais, de caráter legal, político e social, capazes de governar as transações na sociedade como um todo e servir de base para que os agentes desenvolvam estruturas de governança específicas a essas transações.

Essa visão de que o Estado deve atuar sobre o ambiente institucional deriva da ideia de que os custos de transação em uma economia estão associados à má especificação dos direitos de propriedade, fazendo surgir a questão de como definir corretamente e garantir os direitos de propriedade. Sua abordagem se aproxima muito da teoria econômica neoclássica cuja ideia subjacente é de que, dados os incentivos adequados, os mercados resolvem os problemas de coordenação (FIANI, 2011).

Entretanto, a conclusão mais relevante que se pode tirar de North (1990) talvez seja que os tipos de conhecimento e habilidades incentivados pela estrutura de uma economia definem a direção da mudança econômica e gradualmente alteram o ambiente institucional.

Alternativamente ao raciocínio de North, os argumentos propostos por Peter Evans e Ha-Joon Chang baseiam-se na ideia de que, nas economias modernas, os custos de transação resultam da divisão do trabalho, onde os agentes se especializam em tarefas específicas, fazendo aumentar o número de transações para satisfazer suas necessidades. A promoção do desenvolvimento requer a atuação do Estado não sobre a definição dos direitos de propriedade e garantia das liberdades individuais, mas sim sobre o estabelecimento de arranjos institucionais capazes de reduzir os conflitos inerentes ao processo de desenvolvimento e promover a cooperação. Para esses autores, os mercados por si só não necessariamente geram as estruturas de governança propulsoras do crescimento econômico.

Na análise de Peter Evans (2004), nota-se que durante o processo de transformação econômica, necessariamente há grupos que se beneficiam. A constituição de uma infraestrutura de serviços básicos, como transporte e saneamento, inevitavelmente faz com que certos setores, como a indústria de metalurgia ou de cimento, obtenham ganhos. Essa situação, no entanto, é bastante distinta da descrita pelos teóricos do *rent seeking*, em que o Estado é visto apenas como um espaço de disputa por benefícios pessoais<sup>3</sup>. Evans não nega que o Estado seja também um instrumento de dominação política, afinal há uma dimensão de busca de renda, mas ele não pode ser reduzido a isso somente.

O autor se mostra ciente da existência de elites agrárias e industriais que buscam deter poder de mercado, em muitos casos fazendo alianças internacionais, e cujos interesses não necessariamente são os de promover o desenvolvimento. Por esse motivo, é enfatizada a necessidade de haver uma estrutura burocrática em que os funcionários são contratados por sua competência técnica e seguem carreiras que oferecem retornos de longo prazo. Autônomo, o Estado se encontra menos suscetível a agir em prol dos interesses das elites empresariais e agrárias e tem mais condições de defender o interesse comum. Ele subordina o comportamento dos funcionários aos seus objetivos coletivos, agindo com independência em relação aos interesses particulares de determinados grupos da sociedade.

Evans ressalta a importância da autonomia do Estado e das relações de parceria que este mantém com a sociedade civil, especialmente aquelas baseadas em redes informais, internas e externas ao Estado, provendo coerência a suas ações e impedindo-o de se isolar da

---

<sup>3</sup> Entre os principais autores que compartilham a ideia de que o interesse público é apenas um conceito de ficção utilizado por diversos agentes, que buscam interesses particulares, para moldar políticas públicas estão George Stigler, Richard Posner, James Buchanan e Gordon Tullock. Stigler (1971), por exemplo, inaugurou a tese de que a regulação é capturada pela indústria regulada e é desenhada e operada primariamente para seu benefício.

sociedade. O termo “autonomia inserida” (*embedded autonomy*, em inglês) reflete a ideia que sustenta o modelo de Estado desenvolvimentista descrito pelo autor:

Nos Estados desenvolvimentistas, a parceria é tão importante quanto a autonomia, representando algo mais específico do que o simples fato de o Estado derivar de seu ambiente social. (...) A parceria, da forma aqui usada, implica um grupo concreto de conexões que ligam o Estado íntima e agressivamente a grupos sociais particulares com os quais o Estado compartilha projetos conjuntos de transformação (EVANS, 2004, p.93).

O autor alerta para o fato de que, isoladamente, tanto autonomia como parceria podem se mostrar prejudiciais ao processo de desenvolvimento. A autonomia sozinha faz com que o Estado busque objetivos não coerentes com o desenvolvimento e bem-estar da sociedade. Por outro lado, onde não há estrutura organizada do Estado, a parceria se traduz em pura busca de renda, ou seja, em comportamento predatório dos dirigentes, cujos interesses passam a governar as ações do Estado.

Ha-Joon Chang é outro autor que trata da importância do Estado na constituição de arranjos institucionais. Chang (2003) lembra que nas economias modernas os fatores de produção são interdependentes no uso, porém seus proprietários estão isolados uns dos outros. Considerando que a transformação estrutural da economia no processo de desenvolvimento inevitavelmente torna o ambiente mais complexo e incerto para os agentes econômicos, muitas vezes, os agentes privados, dotados de racionalidade limitada, não são capazes de enxergar oportunidades que poderiam gerar benefícios a toda a sociedade. O papel do Estado, portanto, não está somente no estabelecimento desses mecanismos, gerindo os possíveis conflitos, mas também na realização do empreendimento em si. Desse modo, uma mudança estrutural efetiva requer mudanças coordenadas em diversas esferas da economia. Mudanças tecnológicas, por exemplo, requerem adaptação dos ativos físicos, da mão-de-obra e das próprias estruturas organizacionais. O Estado, então, pode fornecer uma visão sistêmica, que indique oportunidades e direcione investimentos, além de construir “novos veículos institucionais” para que a atividade empreendedora tenha sucesso.

A ideia de que uma ampla coordenação é necessária para que a aplicação da política econômica seja bem-sucedida se aproxima da noção de parceria sugerida por Peter Evans<sup>4</sup> (2004). A diferença é que o enfoque deste autor se dá sobre a estrutura organizacional do Estado e a própria política industrial, ao passo que Chang (2003) enfatiza a adoção de políticas econômicas por meio de determinados arranjos institucionais, sugerindo que o

4 O título do livro *Embedded Authonomy* foi traduzido para o português como “Autonomia e Parceria”.

Estado deve agir como mediador de conflitos e como empreendedor, com ativa coordenação de agentes privados. De qualquer modo, apesar das diferenças, ambos fornecem análises complementares acerca do papel do Estado na organização do sistema econômico e no desenvolvimento (FIANI, 2011).

Em suma, o processo de desenvolvimento é marcado pela existência de conflitos e requer a capacidade de os agentes se coordenarem. Porém foi visto que não há consenso entre os autores institucionalistas acerca do foco de atuação do governo, se deveria ser sobre o ambiente institucional apenas (visão de Douglass North) ou se deveria se estender à formação dos arranjos institucionais mais adequados à cooperação (visão de Peter Evans e Ha-Joon Chang).

Essa discussão sobre o papel do Estado e das instituições no desenvolvimento econômico pode parecer desnecessária diante das perguntas objetivas de referência que foram colocadas na Introdução. Entretanto, ela fornece fundamentos teóricos bastante úteis quando nos depararmos com as justificativas para a intervenção governamental mais à frente. O conceito de autonomia inserida, por exemplo, é aplicável à própria atuação do órgão regulador, do qual se exige a capacidade de adaptação a mudanças decorrentes das políticas públicas e da dinâmica industrial de inovação no setor regulado.

A contribuição de Nelson e Winter (1982) apresenta enfoque evolucionário, em que a atuação governamental tem grande relevância no processo de inovação, e seus argumentos se relacionam de forma mais direta com as proposições desse trabalho. Os autores afirmam que a elaboração de políticas é um processo evolucionário contínuo no qual as estruturas organizacionais e institucionais envolvidas assumem papel crítico:

As políticas e os programas públicos, assim como as atividades privadas, estão embutidas em, e são executadas, por **organizações**. E, num sentido básico, são as organizações que aprendem e adaptam. A formulação de uma boa política é, em considerável medida, o desenho de uma estrutura organizacional capaz de aprender e de ajustar seu comportamento em resposta ao que é aprendido (NELSON; WINTER, 2005, p. 544, grifo nosso).

Essa evolução contínua pela qual passam as leis, políticas e organizações públicas é, no longo prazo, o resultado acumulado de ações e reações públicas e privadas e representa uma modificação gradual da estrutura básica da sociedade. Assim como as tecnologias e as

políticas privadas, as políticas públicas também são amplamente postas em prática por organizações como uma questão de rotina organizacional<sup>5</sup>.

Em relação aos fatores propulsores da evolução, considera-se que as políticas públicas respondem a: i) mudanças nas demandas e oportunidades percebidas resultantes da evolução de tecnologias privadas e das estruturas de mercado; ii) alterações nas condições objetivas; iii) mudanças de valores ou compreensão; ou ainda a iv) mudanças no poder relativo de diferentes interesses e grupos dentro da sociedade ao longo do tempo (NELSON; WINTER, 1982).

Para os propósitos desta dissertação, é importante enfatizar três aspectos da análise destes autores. O primeiro é que a tomada de decisão pública tem natureza multipartidária e envolve um complexo instrumental político-institucional, isto é, um grande número de instituições, organizações e procedimentos específicos envolvidos na formulação e modificação de políticas. Segundo, eles vêem as políticas como “institucionalmente incorporadas”, uma vez que, em geral, são articuladas em nível relativamente alto do governo, mas são executadas por níveis inferiores que interagem com órgãos privados. Nesse sentido, é a estrutura administrativa que determina como uma política genericamente articulada será executada. E terceiro, considera-se que os efeitos das políticas e programas governamentais são determinados, em grande parte, por atores privados e não-governamentais.

## **1.2 Regulação e políticas públicas setoriais: a busca da ação governamental coordenada**

Para que o governo possa auxiliar os agentes privados a coordenarem esforços a fim de atingir um equilíbrio de resultado superior, é necessário que a própria ação governamental seja guiada por objetivos comuns. Nesta seção, discutem-se aspectos gerais do processo de formulação de políticas públicas e de sua relação com a regulação.

A regulação pode ser vista como parte de uma complexa rede de políticas públicas de um país (SPILLER; TOMMASI, 2005). Conjuntamente à formulação de políticas públicas e ao planejamento, a regulação de mercado constitui mecanismo do qual o governo dispõe para gerir setores estratégicos para a economia, como é o caso do setor energético. Uma atuação

---

<sup>5</sup> Em linhas gerais, rotinas estão associadas ao padrão repetitivo dos procedimentos dentro das organizações ligadas à sua atividade contínua de produção, considerando a complexidade do ambiente em que atuam, podendo ser interpretadas como as características recorrentemente observadas no comportamento de uma organização, tornando-o previsível, ou ainda como os “genes” da organização na analogia com a teoria evolucionária da Biologia. O conceito de rotina organizacional é fundamental para a adequada compreensão da teoria econômica evolucionária. Para uma apresentação detalhada deste conceito, ver Nelson e Winter (1982).



governamental eficaz resulta da utilização desses instrumentos de forma autônoma, porém complementar, fazendo com que a regulação seja, portanto, apenas uma das formas que assume a intervenção do Estado nos mercados de energia (BAJAY; BADANHAN, 2004).

As políticas públicas, por sua vez, podem fazer uso de incentivos financeiros (fiscais, creditícios ou tarifários) ou podem ter uma aplicação compulsória, por meio de leis, decretos, portarias ou resoluções de órgãos governamentais. Em tese, elas são um reflexo das prioridades e diretrizes que devem governar o desenvolvimento do setor em questão (BAJAY, 1989), diretrizes estas que, em geral, são compartilhadas por um planejamento setorial de longo prazo. Um exemplo de como instrumentos devem estar coordenados é explorado no trabalho de Jamasb e Pollitt (2008) por meio da relação entre a segurança de abastecimento de energia e a regulação das redes de transmissão de energia elétrica, enfatizando que a regulação tem papel de extrema relevância no atendimento dos objetivos de política energética, onde predomina a segurança energética atualmente.

Essa relação entre a regulação e as políticas públicas é tão estreita que Spiller e Tommasi (2005) chegam a afirmar que para entendermos o desenho regulatório é necessário entendermos os determinantes das políticas públicas. Para esses autores, os determinantes das políticas públicas incluem um vasto número de instituições – as regras do jogo político – que influenciam os tipos de contratos. Com base na Teoria dos Custos de Transação, eles analisam os determinantes das políticas públicas (e da regulação por consequência).

Sob essa perspectiva, a regulação seria o resultado de trocas intertemporais complexas entre formuladores de políticas. Como ocorre com as transações econômicas, para que trocas intertemporais ocorram de forma eficiente, instituições de salvaguarda são necessárias. Na ausência de tais instituições, predominará o comportamento não-cooperativo, com vistas ao ganho de curto prazo (SPILLER; TOMMASI, 2005).

A preocupação central de Spiller e Tommasi (2005) recai sobre a governança regulatória e os arranjos institucionais que permitem incentivar o investimento privado de forma eficiente, e ao mesmo tempo prover os mecanismos de salvaguarda contra o oportunismo governamental nas situações em que ele possa se manifestar. Em outras palavras, um dos principais desafios enfrentados pelo órgão regulador é o de conciliar interesses: de um lado a manutenção do lucro, para que o investidor privado tenha incentivos para continuar investindo, e de outro, a garantia de fornecimento do serviço a preços controlados para o consumidor. A flexibilidade permite que esse equilíbrio seja constantemente ajustado, porém requer uma “dotação institucional” da qual nem todos os países dispõem.

Nessa mesma direção, o argumento central de Levy e Spiller (1994) é que a credibilidade e a eficácia de uma dada estrutura regulatória e, conseqüentemente, sua habilidade de fomentar o investimento privado, varia de acordo com as instituições sociais e políticas de cada país. Os autores argumentam que o desempenho pode se mostrar satisfatório sob diversos arranjos regulatórios, desde que sejam observados mecanismos capazes de restringir a ação administrativa arbitrária, tais como: a) restrições substantivas à discricionariedade do regulador; b) restrições formais e informais sobre mudanças no sistema regulatório; e c) instituições que assegurem (*enforce*) as restrições formais.

É preciso ressaltar, contudo, que uma interpretação estrita da abordagem de Levy e Spiller (1994) pode nos conduzir a uma espécie de engessamento da atividade regulatória, baseada no argumento de que as regras do jogo devem ser estáveis e previsíveis. O tema deste trabalho vem questionar tal argumento, introduzindo o conceito de adaptação regulatória, como será visto adiante. Um dos elementos que torna necessária a adaptação de normas e regras impostas pela regulação é justamente a dinâmica de inovação no setor regulado, tema que é discutido na próxima seção.

### **1.3 Dinâmica industrial e de inovação**

Esta seção se dedica à análise da dinâmica industrial e de inovação que poderia ser observada em diversos setores, mas notar-se-á que em vários momentos são feitas referências à indústria de biocombustíveis, que, de acordo com Bomtempo (2012), já pode ser tratada por “bioindústria”, uma vez que busca flexibilizar não só os tipos de matéria-prima derivados da biomassa, como também a gama de produtos finais. Sendo assim, em alguns momentos, anteciparam-se algumas informações que serão apresentadas em detalhes no capítulo 2 sobre a transformação estrutural verificada nesta indústria.

Feitas essas considerações, o primeiro ponto que chama a atenção na bioindústria que se encontra em formação é o fato de que tecnologias novas, como as que envolvem engenharia genética, tendem a ser proprietárias, desenvolvidas com base no esforço de inovação interno das empresas, justamente por serem mais complexas. Nesse novo contexto, a tecnologia deixa de ser somente um fator estrutural e passa a ser também um fator estratégico, parte da conduta das empresas, tornando-se um elemento dinâmico capaz de transformar a própria estrutura. O ambiente competitivo em que atuam as empresas está intimamente associado à inovação e à busca por novas oportunidades lucrativas de negócio.

Seguindo a taxonomia sugerida por Pavitt (1984)<sup>6</sup>, certamente a indústria de biocombustíveis passará pela transição de uma estrutura caracterizada por firmas dominadas por fornecedores para outra na qual dominarão firmas baseadas em ciência, onde a acumulação tecnológica surge principalmente de laboratórios mantidos pelas próprias firmas, depende pesadamente do conhecimento, das habilidades e técnicas desenvolvidas a partir de pesquisa nas universidades e se expande na busca horizontal de mercados para produtos novos e relacionados à tecnologia (BOMTEMPO, 2009).

De modo similar, Serghei Floricel e Roger Miller buscaram classificar os diferentes ambientes de negócio e o modo mais apropriado para gerenciar inovações, identificando quatro fatores do ambiente de negócios que influenciam a gestão de inovação: i) velocidade com que mudam a tecnologia, a ciência e os mercados, ii) o papel de instituições como o governo, regulação e outras iii) desafio proposto pela demanda por desempenho, adaptação a certos padrões estabelecidos, e iv) incerteza – em termos de tecnologia e de mercados. Na “nova economia”, em que a ciência e a tecnologia são essenciais para a criação de vantagens competitivas, todos os fatores mencionados são mais fortes (FLORICEL; MILLER, 2003 apud TIDD et al., 2005).

Outra característica que merece destaque tem a ver com o grau de integração entre setores distintos e sugere a busca de cooperação no desenvolvimento de inovações. Verifica-se a tendência de formação de alianças entre empresas dotadas de diferentes capacitações, como *start-ups* de base tecnológica, grandes companhias de petróleo, multinacionais do agronegócio, grandes empresas da indústria química e de biotecnologia.

A importância da ampliação das fronteiras de uma indústria foi observada em estudos como o de Malerba e Orsenigo (1996). Para estes pesquisadores, o alargamento das fronteiras da indústria analisada permite capturar processos de transformação de produtos e processos e o surgimento de novas tecnologias. Quando a análise é reduzida a um único produto, corre-se o risco de ignorar relações de interdependência com produtos e/ou processos externos à indústria que podem ser cruciais para o desempenho das firmas.

A abordagem de Levinthal (2005) também pode se mostrar interessante para a compreensão dessa expansão das fronteiras da nova bioindústria por argumentar que, no processo de mudança tecnológica, o evento crítico não é a transformação da tecnologia em si,

---

6 Pavitt buscou identificar padrões nas trajetórias de acumulação tecnológica e associá-los a diferentes modos de manutenção das bases de competitividade internacional. Para tanto, sugeriu a classificação das firmas estudadas em diversos setores e países em quatro categorias: i) dominadas por fornecedores, ii) intensivas em escala, iii) intensivas em informação, iv) baseadas em ciência, e v) fornecedoras especializadas.

mas sim o que ele chama de “especiação”<sup>7</sup>, isto é, a aplicação de uma tecnologia existente a novos domínios. Por estar direcionada a um nicho com diferentes critérios de seleção e recursos disponíveis, essa mudança de aplicação da base de conhecimento pode desencadear uma trajetória evolucionária substancialmente nova e divergente.

De fato, o conhecimento requerido por alguns processos que estão sendo aplicados à biomassa atualmente para se produzir biocombustíveis de desempenho superior já faziam parte da base tecnológica de empresas da indústria petroquímica, química e biotecnologia farmacêutica. A aplicação de conhecimentos científicos e tecnologias já consolidados nessas indústrias, apesar de exigir desenvolvimentos específicos para a produção de bioprodutos, pode ter um impacto comercial bastante expressivo.

Autores como James Utterback e William Abernathy, por sua vez, estudaram a natureza da mudança tecnológica e sua relação com o ciclo de vida dos produtos, bem como suas implicações para as estratégias empresariais. Klepper e Graddy (1990), citando Abernathy (1978) e Utterback (1979) discorrem sobre os aspectos gerais desse ciclo de vida, destacando três fases bastante distintas: a fluida, a transitória e a específica.

Na primeira fase, chamada de fluida, os entrantes são firmas pequenas e possuem experiência em tecnologias correlatas. Baseadas em informações dos usuários, elas promovem inovações de produtos. Há rápida mudança nas participações de mercado, uma vez que inovações bem-sucedidas acabam por eliminar concorrentes menos eficientes, e um alto nível de incerteza e experimentação que busca conquistar a preferência do usuário.

A incerteza contribui de forma negativa para o crescimento das empresas até que, com o tempo, passam a surgir padrões ou *designs* dominantes para diversas características do produto. O *design* dominante corresponde a um produto ou tecnologia, que atinge a preferência do mercado ao atender à maior parte dos requisitos dos usuários, tornando quase obrigatória sua adoção pelos competidores que têm intenção de permanecer no mercado e aumentar suas participações. A crescente colaboração, em vez de competição, na disputa pela definição de um padrão tecnológico, pode ser vista inclusive como um reflexo da intenção de reduzir riscos por parte dos agentes envolvidos.

Após a emergência do(s) *design*(s) dominante(s), ocorre a consolidação e disseminação da inovação tecnológica a eles associada. Na segunda fase, as firmas capazes de acompanhar tais *designs* conseguem crescer e se manter no mercado, ao contrário das que não

---

<sup>7</sup> Levinthal também faz um paralelo com a biologia evolucionária e traz termos usuais desse campo científico para explicar o processo de transformação industrial. Em linhas gerais, especiação se refere ao processo que dá origem a novas espécies. Trata-se de uma analogia com o surgimento de novas tecnologias.

são capazes de se adaptar. Chega-se assim a uma fase transitória, na qual as inovações de produto diminuem, abrindo espaço para as inovações de processo que buscam explorar economias de escala com a produção em massa e redução dos custos de produção e do preço, conseqüentemente. Por fim, atinge-se a fase específica, ou madura, na qual as indústrias se concentram no aumento da capacidade e volume de produção, bem como na redução dos custos, e as inovações tanto para produtos quanto para processos diminuem.

Apesar de ser passível de críticas por obviamente não ser aplicável a todas as indústrias, o modelo de Utterback e Abernathy é útil para a interpretação do processo de inovação que tem sido observado na indústria de biocombustíveis. Pode-se dizer, por exemplo, que atualmente a indústria encontra-se numa fase fluida.

Observando a diversidade de visões, estratégias e abordagens de negócio entre as empresas empreendedoras, não é possível afirmar quais tecnologias deverão emergir como “vencedoras” e se estabelecer como designs dominantes para o mercado. Isso, por um lado, tem implicado um elevado grau de incerteza para as firmas engajadas nesse processo de inovação, mas, por outro, pode ser enxergado como oportunidade para novos entrantes desafiarem as capacitações das empresas estabelecidas no setor de energia.

Acerca das oportunidades tecnológicas existentes para empresas de diferentes setores no desenvolvimento de novos bioprodutos, Teece et al. (1997) ressaltam a importância das experiências já acumuladas na definição das áreas que receberão os investimentos em P&D:

The depth and width of technological opportunities in the neighborhood of a firm's prior research activities thus are likely to impact a firm's options with respect to both the amount and level of R&D activity that it can justify. In addition, a firm's past experience conditions the alternatives management is able to perceive. Thus, not only do firms in the same industry face 'menus' with different costs associated with particular technological choices, they also are looking at menus containing different choices (TEECE et al.; 1997, p. 524).

Essa visão nos auxilia na compreensão dos fatos que caracterizam a fase fluida descrita acima e nos permite concluir que deverão coexistir projetos de inovação em diferentes direções, isto é, utilizando diferentes matérias-primas e processos no desenvolvimento de produtos destinados a mercados diferentes, na construção da bioindústria do futuro.

#### **1.4 O papel das instituições na mudança tecnológica**

De fato, a mudança tecnológica não está só associada a oportunidades tecnológicas que surgem de atividades de P&D, mas também a necessidades do mercado. A maneira como evoluem as tecnologias, segundo a abordagem do ciclo de vida, está de certa forma associada à noção de que o mercado é principal determinante de seleção.

Ainda que esta seja uma abordagem convencional, é importante ressaltar que o poder público também tem capacidade de formar, fomentar e até mesmo pôr fim a determinados mercados. Quando as políticas públicas levam em consideração que a experiência comercial traz prática aos produtores, elas permitem que as empresas experimentem problemas e oportunidades que a atividade isolada de P&D não permite. Suurs e Hekkert (2009) afirmam que o processo de aprendizado na prática, no estágio de comercialização, se mostrou crítico na solução de problemas tecnológicos, bem como na redução de custos de novas tecnologias.

In reality, technological change is a non-linear development which is constituted by numerous processes. These include R&D, and also production and market formation, running in parallel, and thereby reinforcing each other through feedback mechanisms. If such feedbacks are neglected, by policy makers or entrepreneurs, this is likely to result in the failure of support policies. This balancing exercise becomes even more challenging when one realises that a technological trajectory, in many cases, does not consist of a single technology being invented, developed and diffused in the market, but of various technologies in different development stages: technology generations (SUURS; HEKKERT, 2009, p. 699-670).

Os formuladores de políticas em diversos países percebem que fatores “mercado” e “atividades de P&D” são igualmente importantes, e as relações de interação entre elas não devem ser negligenciadas por aqueles que estudam evolução industrial e tecnológica, especialmente quando se trata de tecnologias em diferentes estágios de desenvolvimento, isto é, de gerações tecnológicas, como é o caso dos biocombustíveis. Desse modo, é interessante notar que as políticas de apoio à inovação se mostram fundamentais tanto para as atividades de P&D, quanto para o desenvolvimento dos próprios mercados.

Nelson (1994) analisou criticamente o modelo proposto por Abernathy e Utterback, defendendo que o design dominante nem sempre tem a ver com projeções de eficiência econômica de longo prazo. Em vez disso, eles podem estar muito mais associados a disputas de poder, consensos e coalizões sociais. Assim, forças políticas e sociais podem ter influência muito maior que as forças de mercado na definição de trajetórias tecnológicas e no processo de evolução industrial.

[...] a number of detailed historical accounts document that various features of the institutional environment themselves tend to adapt and change in response to pushes and pulls exerted by the development of a new industry. The processes involved here are not market processes, at least not of the standard variety, but involve the forming of collective bodies, decisions of voluntary organizations, government agencies and political action (NELSON, 1994, p. 327).

Como será discutido no próximo capítulo, o processo de evolução dos parâmetros técnicos agroindustriais na indústria sucroalcooleira foi acompanhado da construção de um arcabouço legal e institucional que permitiu a firme participação do etanol na matriz energética brasileira. O desempenho de uma indústria que requer insumos e habilidades específicas é fortemente condicionado pela velocidade e eficácia com que cresce uma estrutura de apoio a ela.

A importância de fatores extramercado na definição de trajetórias tecnológicas é também levada em consideração no trabalho desenvolvido por Geels (2004), que trata a inovação em um sentido mais amplo, introduzindo o conceito de sistema sociotécnico, uma combinação de fatores sociais com fatores tecnológicos. Nesse contexto, inovações de sistema podem ser entendidas como a transição de um sistema sociotécnico para outro.

O autor faz uso de um quadro analítico em três níveis para compreender de que forma as inovações surgem e se difundem em uma indústria, de modo a substituir o modelo de produção vigente. O nível panorâmico é o mais amplo, ao passo que os conceitos de regime sociotécnico e de nichos se referem aos níveis intermediário e específico, respectivamente.

Um regime sociotécnico pode ser entendido como o conjunto de regras que são compartilhadas entre os regimes científico, tecnológico, político, sociocultural e de mercado, formando uma ponte entre campos separados da literatura. Como exemplo, pode-se citar a busca heurística em setores de engenharia. Ao mesmo tempo em que está alinhada com o departamento de marketing que visa a identificar as preferências dos consumidores, também deve atender a regulamentações formais, como padrões de segurança, de emissão de GEE, entre outros.

O nível panorâmico está associado a um cenário que engloba não só as firmas produtoras e suas relações com clientes e fornecedores, mas toda a infraestrutura física que organiza os sistemas produtivos, os centros urbanos, a distribuição de bens e serviços, além da estrutura institucional, regras, normas que permitem a difusão e a consolidação de uma determinada tecnologia nos hábitos, crenças e costumes dos agentes envolvidos na produção.





## Figura 1. Grupos sociais que apoiam e reproduzem Sistemas Sociotécnicos

Fonte: Adaptado de Geels (2004)

Não é difícil relacionar a abordagem de Geels com o modelo do ciclo de vida. Sob muita incerteza, as inovações mais radicais surgem a partir de experimentações pouco direcionadas em nichos tecnológicos, espaços protegidos da seleção convencional de mercado. Com o desenvolvimento dessas inovações, ocorre sua difusão, refletida no aumento de pesquisadores envolvidos, publicações e discussões sobre o tema, na criação de regras, padrões e, principalmente, mercados.

São janelas de oportunidade nos regimes sociotécnicos e no nível panorâmico, bem como a maior estruturação das atividades produtivas, via estabelecimento de relações mais estáveis com consumidores, fornecedores, centros de pesquisa, órgãos governamentais, entre outros, que permitem a difusão de inovações desenvolvidas nos nichos. A ampla difusão de uma nova tecnologia só ocorre com a consolidação das novas regras no nível panorâmico, que reduz a incerteza e permite às firmas usufruírem de ganhos de escala.

O modelo de Geels foi aplicado por Bennett e Pearson (2009) a um estudo de caso que analisa a transição ocorrida na indústria química e de combustíveis líquidos no Reino Unido, entre 1921 e 1967, com a substituição de matérias-primas baseadas em carvão para os petroquímicos. Com isso ele retorna à discussão sobre mudança de base de matéria-prima na indústria petroquímica, mostrando que essa mudança foi resultado de uma ruptura em regimes relativamente estáveis, que surgiu no nível “panorâmico” (preocupação com importação de combustíveis e desenvolvimento de alifáticos nos EUA e na Alemanha) e de uma crise nas destilarias, no nível do regime.

Para tratar do potencial das matérias primas renováveis na substituição de hidrocarbonetos fósseis em produtos sintéticos e combustíveis líquidos, Bennett e Pearson (2009) recorrem à experiência vivida pela indústria petroquímica, incorporando a dinâmica de coevolução entre regimes de dois setores muito relacionados, o de químicos orgânicos e o de combustíveis, e assim destacando a importância das relações de *feedback* entre diferentes setores para o sucesso de uma inovação.

Mais recentemente, Geels (2010) seguiu com abordagem baseada na teoria econômica evolucionária, sendo também influenciado por disciplinas como a sociologia econômica, com o objetivo de estudar problemas da sociedade moderna e transições tecnológicas abrangentes,

que representam mudanças nos regimes socio-técnicos, discutidos em trabalhos anteriores. Nesse processo de transição, as influências socio-políticas ganham destaque:

(...) social and political influences during transitions increase with (socio)technical complexity, being relatively small for discontinuities in components and products, and becoming larger for more complex assembled products and large technical systems. For socio-technical transitions, which refer to shifts in **entire transport systems, energy systems, agri-food systems** etc., social and political influences can thus be expected to be large (GEELS, 2010, p. 3, grifo nosso).

O autor sugere que há transições que não são lideradas simplesmente pela emergência de novas tecnologias que concorrem entre si até que surja um *design* dominante, ressaltando a existência de transições que são guiadas por problemas sociais, chamadas de transições intencionais, que tem um propósito (*purposive transitions*). Nesses casos, é esperado que processos sociais, culturais e políticos precedam rupturas tecnológicas, e a atual preocupação com as mudanças climáticas é um caso emblemático.

A observação de Geels (2010) é interessante porque grande parte dos estudos em Economia Evolucionária se dedicou a tratar de questões associadas à tecnologia e inovação, bem como as bases institucionais para seu desenvolvimento, mas pouca atenção foi dada para o processo mais amplo de coevolução destes elementos com a política e a sociedade civil.

O conceito de coevolução apresentado por Nelson (1994, 2007) vem ao encontro da abordagem apresentada por Geels (2004, 2010), buscando incorporar aspectos relevantes do lado da demanda, em vez de enfatizar somente o lado da produção (criação de conhecimento e inovação). Afinal, os consumidores também devem incorporar novas tecnologias em seus hábitos e rotinas, o que envolve ajustes e aprendizado.

## 1.5 Coevolução das tecnologias sociais e tecnologias físicas

Além de ter feito importantes contribuições relacionadas a fatores estruturais e estratégicos dentro das organizações, Richard Nelson estudou o papel das instituições sobre a velocidade do progresso econômico, analisando a relação entre instituições e mudança institucional e avanço tecnológico. Trabalhos recentes do autor se baseiam no resgate do conceito de “tecnologias sociais”, que servem de apoio às “tecnologias físicas”. O objetivo do autor é explorar a etapa intermediária da relação causal entre as instituições “corretas” e o

crescimento econômico, que muitos economistas buscaram estudar após a publicação de North (1990) (NELSON, 2008).

A compreensão da relação entre as instituições e o avanço tecnológico é fundamental, já que este é um dos principais determinantes do crescimento econômico. Apesar de essa linha de pesquisa ter adquirido importância com o crescente número de estudos sobre os sistemas de inovação, em que se destaca a publicação de Dosi et al. (1988), a intenção de evoluir desses estudos para análises mais abrangentes de crescimento econômico permanece frustrada. O ponto de partida para a análise de Nelson (2008) é que o crescimento econômico liderado por inovação precisa ser compreendido como processo de coevolução de tecnologias físicas e sociais e a dinâmica institucional dever ser estudada sob essa ótica.

Na tentativa de definir o que são instituições, um grande número de estudos que as têm como objeto de pesquisa - sob influência de autores como Douglass North, Oliver Williamson, Thorstein Veblen e Geoffrey Hodgson - utiliza o termo para se referir aos fatores que sustentam maneiras habituais de agir em situações nas quais as ações e interações de uma série de agentes diferentes determinam o resultado final. O termo “tecnologias sociais” seria, desse modo, uma forma mais coerente de expressar essa ideia, indicando o modo como as atividades estão divididas e coordenadas entre os agentes (NELSON; SAMPAT, 2001).

Nesse contexto, as instituições são forças e estruturas que moldam e sustentam as tecnologias sociais predominantes. Definidas desse modo, podem se referir a crenças comuns, organizações, ou conjuntos de leis, a depender das tecnologias sociais sob análise. Na visão de Nelson e Sampat (2001), as tecnologias sociais que são amplamente empregadas em uma economia são suportadas e, ao mesmo tempo, sofrem restrições das instituições. Mas as linhas que separam umas das outras, muitas vezes, podem não ser tão nítidas.

Para ilustrar seu argumento, Nelson (2008) utiliza como exemplo o desenvolvimento de tecnologias que permitiram a criação do telégrafo e das ferrovias, abrindo a possibilidade de atender mercados maiores para as empresas norte-americanas. Com a criação de métodos de produção industrial em larga escala foi necessário adaptar as formas de gestão empresarial, o que deu origem à moderna empresa organizada em hierarquia e depois à empresa multidivisional. Assim, surgiram as escolas de negócios para treinar profissionais aptos a atuar em organizações mais complexas. Todos esses desenvolvimentos geraram conflitos com as leis e regras então vigentes (aperfeiçoamento da legislação antitruste, por exemplo), que foram resolvidos gradualmente.

Nelson mostra assim que a evolução das tecnologias sociais e de suas instituições de apoio pode ser um processo muito mais errático do que o observado com as tecnologias

físicas. Primeiro, porque as forças de seleção, que incluem o aprendizado com experiências passadas, são menos eficazes. Segundo, é muito mais difícil controlar, imitar e replicar instituições. Além disso, as medidas de eficiência para tecnologias físicas funcionam de forma bem mais objetiva do que para tecnologias sociais, dado que é extremamente difícil isolar o efeito das instituições de outras variáveis explicativas sobre o desempenho das firmas ou o bem-estar dos consumidores. A evolução de tecnologias sociais pode ainda ser influenciada por ideologias, permitindo que, mesmo havendo evidências de que são ineficazes, as práticas adotadas se mostrem resistentes à mudança.

Apesar de não fazer uso da mesma nomenclatura utilizada por Nelson (2008), Malerba (2006) aponta a coevolução como um dos principais desafios para uma melhor compreensão da relação entre inovação e evolução das indústrias, que historicamente marcou o desenvolvimento do capitalismo, propondo uma noção mais abrangente de estrutura industrial a ser analisada:

During its evolution, an industry undergoes a process of transformation that involves knowledge, technologies, learning, the features and competences of actors, types of products and processes, and institutions. An industry also changes its structure, where the term 'structure' here means not market structure, but rather the network of relationships (competitive and cooperative, market and non market, formal and informal) among actors that affect innovation and performance in an industry. In this frame, innovation and industry evolution may be seen as (...) taking place in specific institutional settings, some of which are national while others are specific to the sector (...). (MALERBA, 2006, p. 8)

Nesse sentido, o conceito de coevolução agrega os elementos mais relevantes para a análise da transformação industrial: os processos coevolucionários envolvem conhecimento e aprendizado, tecnologias, interações agentes, demandas e instituições, e geralmente dependem da trajetória passada, sendo específicos a cada setor. Segundo Malerba, alterações em um desses elementos podem acarretar mudanças significativas em todo o conjunto que caracteriza uma indústria, o que nos leva a discussões sobre a mudança conjunta de diversas variáveis durante a evolução industrial:

In general, one could say that changes in the specific knowledge base of an industry or in the features of demand may affect the specific characteristics of the actors, the type of organization of R&D, the features of the innovative process and of networks, the structure of the market and the specific role of the institutions. All these changes may in turn lead to further modifications in the technology, the knowledge base, demand, and so on. (MALERBA, 2006, p. 17)

Buscando descrever possíveis desdobramentos de mudanças em um dos elementos, o autor cita inúmeros estudos empíricos sobre coevolução em setores específicos, incluindo desde produtos químicos, farmacêuticos, até computadores e aeronaves. No caso da bioindústria, apesar de a introdução de inovações não ser liderada pelos consumidores de combustíveis, dado que a demanda pode ser considerada bastante homogênea, verifica-se uma mudança nas crenças e valores culturais, em que a questão ambiental passa a ter maior importância. A introdução desse novo elemento alterou as estratégias de empresas de diversos setores, influenciando o modo como elas fazem intercâmbio de ativos e conhecimentos, como se relacionam. Há diversas nuances da nova bioindústria em formação que poderiam ser ressaltadas quanto a esse processo evolutivo.

Seguindo a abordagem destes autores, existem alguns estudos sobre a evolução de determinados fatores observados na indústria sucroalcooleira no Brasil. À luz dos conceitos de Nelson e Sampat (2001), por exemplo, Matias (2011) analisa o processo de coevolução institucional e as trajetórias tecnológicas na produção brasileira de etanol em três níveis. O primeiro se refere às macro-instituições, o segundo às meso-instituições, e o terceiro aos institutos de pesquisa, como a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Nos três níveis, o autor identificou influência das mudanças institucionais sobre as capacidades tecnológicas de inovação.

Dunham et al. (2010), por sua vez, discutem a mudança tecnológica em coevolução com a mudança institucional no sistema de inovação em que se insere a indústria sucroalcooleira, apresentando um estudo de caso que decorre da crise provocada por um vírus que atacou plantações de cana-de-açúcar durante o início do século passado. A partir de uma extensa pesquisa de documentos históricos, os autores comparam o desenvolvimento da produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e na região norte fluminense, duas áreas produtivas de grande importância na época, concluindo que, na primeira, soluções tecnológicas efetivas para o problema mencionado foram possíveis devido a importantes mudanças institucionais.

Certamente, diversos outros autores fizeram importantes contribuições acerca do papel das instituições para o desenvolvimento tecnológico. Os argumentos aqui apresentados podem e devem ser bastante aprofundados, porém ultrapassam o escopo deste trabalho. A menção a alguns deles, mesmo que brevemente, serve para nos auxiliar na identificação de elementos importantes e compreensão da transformação recentemente observada na indústria de

biocombustíveis, ou de forma mais generalizada, nas indústrias que utilizam (ou poderão utilizar) a biomassa como matéria-prima.

### **1.6 A adaptação regulatória como capacitação**

À luz das referências teóricas apresentadas, a análise agora se volta para o principal elemento de interesse neste trabalho: a regulação. A regulação econômica, como uma das formas de intervenção governamental no sistema econômico, pode ser analisada sob diferentes abordagens, diferentes áreas científicas. Acerca das teorias de regulação econômica, Pinto Junior (2002) considera a importância das diversas disciplinas como Direito, Economia, Ciência Política, Ciências Sociais e História, porém, em vez de se apoiar em uma abordagem com foco específico em uma das disciplinas, opta por enfatizar aspectos relevantes da atividade regulatória com base em três tipos de relação:

i) relação regulador – outras instituições governamentais, que define o desenho institucional a ser adotado;

ii) relação regulador – firma regulada, baseadas na aplicação dos instrumentos regulatórios;

iii) relação regulação – evolução das estruturas de mercado, que permite ao regulador atingir o objetivo de introdução de pressões competitivas.

O que se procura analisar aqui encontra correspondência nessa abordagem, destacando-se apenas que o terceiro tipo de relação, entre a regulação e a estrutura de mercado, está mais voltado às mudanças decorrentes do desenvolvimento tecnológico e introdução de inovações no mercado do que à defesa da concorrência. Nossa intenção é analisar com mais cuidado a necessidade de adaptação imposta à regulação tanto pela introdução de novos processos e produtos no mercado regulado (relação regulador – evolução das estruturas de mercado), como pela adoção de políticas públicas em outras esferas, como a industrial e ambiental (relação regulador – outras instituições governamentais).

A ideia de que a regulação muitas vezes impõe obstáculos às atividades de inovação das empresas não é uma novidade. Seguindo a linha dos autores que investigam de que forma a regulação econômica pode distorcer os incentivos à inovação, Prieger (2007) denomina o período de tempo entre a submissão de um novo produto ao órgão regulador e a concessão de autorização como atraso regulatório:

Regulatory delay exists when the regulator does not allow the introduction of new products without regulatory review and approval. Regulated firms – for example, in the telecommunications, pharmaceutical, and banking industries often claim that regulatory delays are long, costly, and distort the incentives to introduce new products. Furthermore, uncertainty inherent in the regulatory process may further impact the firms' decisions (PRIEGER, 2006, p. 220)

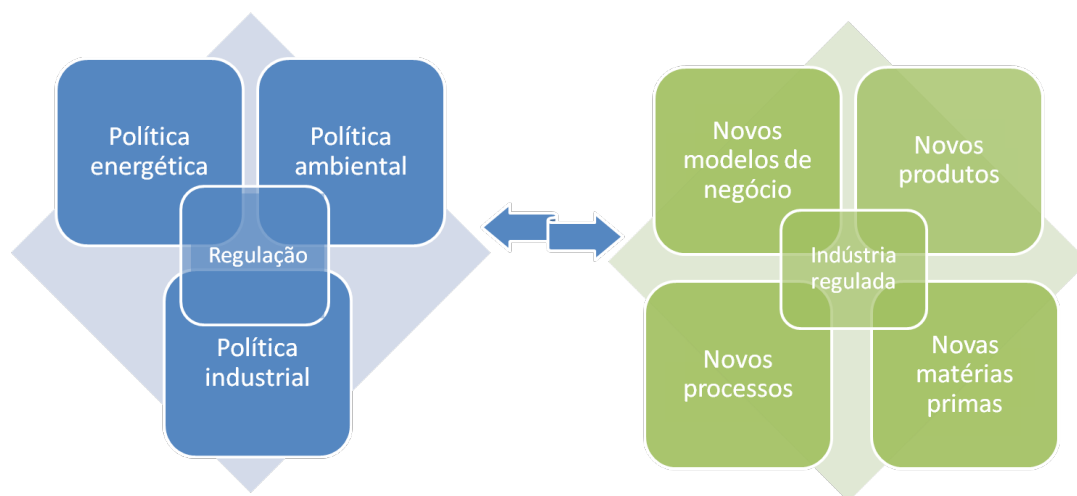
Por meio da aplicação de um modelo empírico, o autor encontra evidências de que o aumento do atraso regulatório está associado a uma quantidade menor de produtos introduzidos no setor de telecomunicações em contextos distintos. O autor lembra também que, em alguns casos, esse atraso pode ser usado pelas firmas incumbentes para aumentar os custos de entrada de novos concorrentes (HAZLETT; FORD, 2001 apud PRIEGER, 2006).

É interessante notar que Prieger (2006) faz questão de esclarecer que não tem intenção de atribuir um caráter pejorativo ao termo “atraso”, ressaltando que em alguns casos, o atraso pode trazer alguns benefícios para a sociedade. O atraso seria benéfico, por exemplo, caso o regulador optasse por retardar a introdução de um novo produto, aguardando a resolução de problemas de coordenação e padrões técnicos, questões importantes para indústrias de rede. Nesse caso, os consumidores teriam benefícios maiores com produtos de qualidade superior sob um padrão único, mesmo que tivessem que aguardar alguns anos.

Depreende-se, portanto, que a velocidade com que a regulação responde a mudanças decorrentes da introdução de novos produtos e tecnologias pode ter impactos significativos sobre o desempenho das empresas de uma dada indústria, bem como para os consumidores. Entretanto, mudanças relevantes para a atividade da regulação podem emergir também no conjunto de políticas públicas que afetam a produção da indústria regulada. Para a regulação da produção de biocombustíveis, levaram-se em consideração as políticas energética, ambiental e industrial, que serão apresentadas detalhadamente no estudo de caso brasileiro, no Capítulo 3.

Por fim, apresenta-se um quadro que busca ilustrar a justificativa deste trabalho. Tem-se a regulação como parte de um conjunto de políticas públicas que têm impactos sobre um setor ou indústria. A criação de novas políticas, a readequação das políticas existentes às exigências sociais e políticas e a revisão dos objetivos relacionados ao interesse público provocam rupturas ou pelo menos inflexões no modo de gestão, ou seja, são transformações que impõem a necessidade de adaptação para que a ação governamental se mantenha coordenada.

**Figura 2. Quadro-Síntese: Adaptação Regulatória**



Por outro lado, as atividades de inovação que são desenvolvidas espontaneamente pelas empresas introduzem novos elementos com os quais a regulação não necessariamente está preparada para lidar, podendo ser novas tecnologias, produtos, formas de comercialização e assim por diante. Tais transformações no mercado regulado impõem também novos desafios ao regulador, do qual se requer uma importante capacitação: a adaptação regulatória.

Na área de estratégias organizacionais, o conceito de capacitação dinâmica foi intensamente discutido por Teece e Pisano (1994) e posteriormente ganhou importância em trabalhos que discutiam os determinantes das vantagens competitivas, ou seja, com foco nas estratégias de organizações privadas. Teece et al. (1997) definem as capacitações dinâmicas como a habilidade da firma em integrar, construir e reconfigurar competências internas e externas para atuar em ambientes caracterizados por rápidas mudanças. As capacitações dinâmicas refletem a habilidade da organização de alcançar e manter vantagens competitivas de forma inovadora.

Este trabalho, de certo modo, inverte o raciocínio destes autores: não são as organizações privadas que se adaptam às mudanças do ambiente externo e reconfiguram suas competências para alavancar sua competitividade, pelo contrário, elas são o elemento de mudança. Trazendo o conceito desenvolvido por Teece et al. (1997) para a esfera de atuação das organizações públicas, pode-se afirmar que a adaptação regulatória é uma importante capacitação quando se considera a complexa rede de políticas públicas na qual a regulação econômica se insere, considerando a relevância da regulação na estrutura de incentivos que afeta o desempenho das empresas. Portanto, é fundamental que o regulador seja capaz de



acompanhar as mudanças que emergem de novas políticas públicas e da dinâmica tecnológica e industrial do setor regulado.

## **1.7 Conclusões**

Este capítulo apresentou referências teóricas para fundamentar a discussão sobre o papel que a regulação econômica, como forma de intervenção estatal nos mercados, tem na promoção do desenvolvimento econômico. De acordo com o que foi exposto, a regulação faz parte de um conjunto de ações governamentais que devem estar coordenadas para que os objetivos considerados prioritários sejam atingidos. Além disso, é desejável que a regulação contribua para a formação de um ambiente institucional favorável ao investimento privado com a aplicação de regras previsíveis, o que pode se transformar em obstáculo quando regras precisarem ser corrigidas ou adaptadas.

Ademais, as contribuições teóricas de diversos autores elucidam transformações pelas quais a produção de biocombustíveis vem passando em diversos países. Esse processo de transição é impactado de forma expressiva tanto pelas políticas de incentivo como pelos esquemas regulatórios aos quais estão sujeitos a produção e o consumo de biocombustíveis. Partindo do pressuposto que o avanço tecnológico está estreitamente relacionado com o progresso econômico, discutiu-se também o papel das instituições no processo de mudança tecnológica.

Desenvolveram-se ainda as ideias de que as tecnologias físicas coevoluem com as instituições e de que em transições de regimes sócio-técnicos, forças políticas e sociais podem ter maior influência do que os mercados na determinação da trajetória tecnológica de uma dada indústria. E por fim, justificou-se o tema da dissertação, ressaltando que a adaptação regulatória é uma importante capacitação para a regulação de mercados que são fortemente influenciados por políticas públicas e podem ser transformados com a difusão de novas tecnologias.

## CAPÍTULO 2: UMA INDÚSTRIA EM TRANSFORMAÇÃO

Atualmente, os biocombustíveis atendem cerca de 3% da demanda mundial de combustíveis no setor de transportes. Para atingir a meta de redução de 50% das emissões de GEE no setor de transportes em 2050 (em relação aos níveis de 2005), novas tecnologias deverão ser desenvolvidas e aplicadas visando à melhoria da eficiência energética, compondo um cenário no qual os biocombustíveis responderão por até 27% da matriz de transporte (AIE, 2011b). Considerando que novas políticas de redução de emissões de GEE serão adotadas, a participação prevista dos biocombustíveis na oferta total de combustíveis para o setor de transportes em 2035 deverá corresponder a 8%, apesar de limitar-se a algo em torno de 1% no setor de aviação (AIE, 2010).

As emissões diretas e indiretas de GEE associadas à produção e ao uso de biocombustíveis diferem muito, dependendo da matéria-prima, do processo de conversão, da alocação de subprodutos, entre outros aspectos. A redução de emissões relativamente aos substitutos fósseis é crucial, uma vez que as políticas de suporte financeiro estão cada vez mais atreladas ao desempenho ambiental dos biocombustíveis. Considerando-se as limitações da produção de biocombustíveis convencionais<sup>8</sup>, como os efeitos sobre os preços dos alimentos e os impactos diretos e indiretos das mudanças no uso da terra, o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados surge como parte da solução para equacionar o problema de segurança energética e das emissões de GEE.

O objetivo deste capítulo é descrever de que forma tem evoluído a indústria sucroalcooleira e de biodiesel em direção à diversificação de produtos, inclusive de biocombustíveis avançados. A primeira parte é dedicada à análise da estrutura atual da indústria de etanol de cana-de-açúcar e de biodiesel, destacando características tecnológicas, estruturas de custos e fatores de mercado. Em seguida, são levantados os principais obstáculos enfrentados pelos biocombustíveis convencionais e as políticas públicas que afetam sua produção.

Na última parte, apresentam-se iniciativas de inovação que buscam introduzir alternativas de matérias-primas, processos, produtos e formas de organização industrial a esse setor, e assim contornar os problemas enfrentados pela indústria de hoje. Destacam-se os elementos que têm exercido influência sobre a dinâmica industrial e de inovação, bem como as características da nova bioindústria que está em formação.

---

<sup>8</sup> Ver Quadro 1 (pág. 41) sobre a nomenclatura adotada para as categorias de biocombustíveis.

## 2.1 Estrutura atual da indústria de biocombustíveis

Quando se trata de biocombustíveis, grosso modo, estamos basicamente nos referindo ao etanol produzido a partir de açúcares e amido e ao biodiesel produzido com óleos vegetais e gordura animal. A tabela abaixo compara algumas características das rotas utilizadas em escala comercial atualmente para a produção de biocombustíveis convencionais.

É possível constatar que o etanol de cana-de-açúcar é o biocombustível que apresenta mais vantagens em termos de redução de emissões e produção por hectare, porém requer a utilização de terras férteis. Da cana-de-açúcar, extraem-se diretamente os açúcares que podem ser fermentados logo a seguir, o que envolve uma etapa a menos no processo em relação aos grãos e cereais, dos quais é necessário converter o amido para açúcares (BNDES; CGEE, 2008). Por outro lado, o conteúdo energético do etanol equivale à cerca de 70% do conteúdo da gasolina.

**Tabela 1. Rotas comercialmente implementadas atualmente**

Biocombustível	Matéria-prima	Redução nas emissões de GEE	Custo de produção	Produção de biocombustível por hectare	Terras utilizadas
<b>Bioetanol</b>	Grãos (trigo, milho)	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	Terras férteis
<b>Bioetanol</b>	Cana-de-açúcar	Alto	Baixo	Alto	Terras férteis
<b>Biodiesel</b>	Óleos de sementes (canola, soja, etc.)	Moderado	Moderado	Baixo	Terras férteis
<b>Biodiesel</b>	Óleo de palma	Moderado	Moderado a baixo	Moderado	Terras litorâneas e úmidas

Fonte: CGEE; BNDES (2008), adaptado de AIE (2005)

O biodiesel de óleo de palma se mostra uma opção adequada a regiões litorâneas e de elevada umidade, apresentando vantagens significativas de rendimento quando comparado ao seu similar produzido a partir de óleos vegetais. Contudo, ressalta-se que a palma requer um cultivo perene, envolvendo investimentos de longo prazo, em contraste com as culturas de milho e soja que têm ciclos curtos de plantio e colheita.

As tecnologias industriais para conversão de açúcares e amido em etanol, assim como o processo de transesterificação que converte os óleos vegetais e a gordura animal em biodiesel, podem ser consideradas maduras e amplamente disponíveis (BOMTEMPO, 2009).

Máquinas e equipamentos são adquiridos junto a fornecedores especializados, sendo a principal fonte de inovação, além daquelas relacionadas a aumento da produtividade agrícola.

Quanto à localização, a produção mundial de biocombustíveis se encontra concentrada em três grandes regiões: Estados Unidos, Brasil e União Europeia, porém somente Estados Unidos e Brasil foram responsáveis, respectivamente, por 53,5% e 23,8% da produção total em 2011 (MME, 2012). Isso porque o etanol é o biocombustível que lidera o segmento, correspondendo a 82% do volume global de 2010. Com menor participação, o biodiesel tem sua produção concentrada na União Europeia, que foi responsável por 49% da produção mundial (PIKE RESEARCH, 2011). Apesar de o consumo de biocombustíveis também se concentrar nessas três regiões, é esperada uma expansão expressiva nos países asiáticos nesta década e na próxima, sobretudo devido às medidas de segurança energética adotadas por China e Índia (AIE, 2010).

As próximas seções apresentam aspectos relevantes sobre a organização industrial da produção etanol e biodiesel, no mundo e no Brasil, tratando separadamente os dois segmentos, uma vez que se trata de estruturas de mercado bastante distintas entre si.

### **2.1.1 Estrutura atual da indústria de etanol**

Atualmente, a produção mundial de etanol é liderada pelos Estados Unidos e Brasil, que respondem, respectivamente, por 63% e 26,5% do total (MME, 2012). Cabe mencionar que o mercado europeu, apesar de apresentar metas significativas de consumo de etanol, é muito mais dependente do diesel do que da gasolina, para a qual o etanol é um substituto ou aditivo (BOMTEMPO, 2009).

A estrutura industrial em cada um dos países, no entanto, é bastante diferente. O etanol norte-americano é produzido a partir do milho e teve sua produção impulsionada pelo EISA (*Energy Independence and Security Act*), sancionado em 2007. Apoiada em subsídios governamentais, a produção ultrapassou 53 bilhões de litros em 2011, o que representa 10% na oferta de combustíveis do país (RFA, 2012).

O etanol de milho apresenta um balanço energético pouco favorável quando comparado ao etanol de cana-de-açúcar. Macedo (2007) aponta que no primeiro caso, a relação entre a energia contida no biocombustível e energia consumida durante o processo produtivo equivale a 1,3, ao passo que no segundo, essa relação é de 8,9. Isso tem sido uma forte motivação para os elevados investimentos nos Estados Unidos para produção de

biocombustíveis avançados que buscam viabilizar a utilização de materiais lignocelulósicos como matéria-prima.

Já no Brasil, onde o etanol é utilizado como aditivo à gasolina (etanol anidro), em uma porcentagem que varia de 18% a 25% ou como combustível puro (etanol hidratado), a matéria-prima consolidada na sua produção é a cana-de-açúcar. O fato de ser utilizada uma matéria-prima diferente implica diferenças de tamanho para as unidades processadoras. Apesar de o setor ter ampliado as escalas de produção das usinas, buscando ocupar áreas estratégicas próximas a elas, em um processo de crescente integração vertical, após a colheita, a cana-de-açúcar não pode ser estocada por muito tempo, pois há perda de açúcar.

A agroindústria da cana-de-açúcar não esteve inicialmente associada à exploração agrícola para fins energéticos, como se sabe, mas evoluiu em direção a isso nas últimas décadas. Durante a década de 1970, a produção de etanol ganhou fôlego com o primeiro choque do petróleo e a decisão do governo de reduzir a dependência desta matéria-prima e seus derivados com o lançamento do Proalcool. Entretanto, no fim da década de 1980, a redução do preço internacional do petróleo desfez a principal justificativa para a existência do Proalcool, reduzindo o interesse do governo em manter os incentivos à produção de etanol.

O setor sucroenergético no Brasil apresentou um novo ciclo de crescimento desde 1995, especialmente devido ao aumento das exportações de açúcar na segunda metade da década de 1990, à retomada do consumo de etanol a partir de 2001 e à introdução dos veículos bicompostíveis em 2003. Em 2011, foram vendidos mais de 2,8 milhões de automóveis dessa categoria, representando 78% dos veículos novos vendidos (ANFAVEA, 2012).

Além de existir um mercado interno representado por esse crescente volume de vendas de carros com motores flexíveis, que funcionam com qualquer proporção de mistura de álcool e gasolina, e pela mistura obrigatória na gasolina, parte da produção de etanol também foi direcionada para o mercado externo, tendo atingido mais de 5 bilhões de litros em 2008. Contudo, ressalta-se que em 2010, devido aos desequilíbrios entre oferta e demanda no mercado brasileiro, os Estados Unidos se tornaram um exportador líquido de etanol, enquanto as exportações brasileiras se reduziram de forma significativa, passando de 5 bilhões de litros em 2008 para menos de 2 bilhões em 2011 (UNICADATA, 2012). É possível que o comércio entre os dois países continue, caso a importação de etanol do Brasil seja a forma mais barata de cumprir as metas impostas pelo Programa *Renewable Fuel Standard* (RFS2)<sup>9</sup> para

---

<sup>9</sup> O Programa será apresentado detalhadamente no capítulo 3.

consumo de combustíveis renováveis avançados e a produção brasileira não seja capaz de atender à demanda crescente da frota de veículos *flex fuel*, tornando necessária a importação de etanol norte-americano (OCDE; FAO, 2012).

O gráfico 1 mostra que, a partir de 2003, a produção de etanol cresceu de forma significativa até 2008. A partir da safra 2008/2009, houve uma desaceleração na taxa de crescimento da produção de cana-de-açúcar, como reflexo da crise econômica mundial e redução dos investimentos na renovação dos canaviais.

### **Gráfico 1. Evolução da produção brasileira de etanol (em milhões de m<sup>3</sup>)**

Fonte: UNICADATA

Quanto à localização, destaca-se que a produção se concentra nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Na safra 2008/2009, a produção total de etanol correspondeu a mais de 27,5 bilhões de litros. Desse montante, quase 80% foram produzidos pelos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

A estrutura industrial sucroalcooleira no Brasil experimentou mudanças significativas nos últimos anos devido à crescente integração com setores a montante e a jusante do processamento da cana-de-açúcar. O fato de a tecnologia de produção atual ser bastante consolidada e de fácil aquisição não significa a completa ausência de barreiras à entrada. Porque a estratégia de muitas empresas passou a incorporar o cultivo da matéria-prima, a concorrência por terras mais próximas dos centros consumidores e distribuidores se tornou uma desvantagem para os grupos que decidiram construir novas usinas tardiamente (ROSÁRIO, 2008).

A verticalização das atividades agroindustriais, de transporte, de comercialização e distribuição tem sido aspecto comum entre as estratégias empresariais, ao mesmo tempo em que visam à expansão da capacidade produtiva. Essa tendência revela uma preocupação com o planejamento estratégico, associada à garantia de fornecimento do insumo e à redução de custos.

No que diz respeito à concentração industrial, na safra 2006/2007, o sistema de produção envolvia 330 usinas, sendo que as 10 maiores empresas processavam 15% da cana de açúcar produzida, enquanto mais de 180 usinas utilizavam metade da produção dessa matéria-prima (CGEE; BNDES, 2008). Em 2009, conforme indica o estudo da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), o número de unidades produtoras sucroenergéticas

aumentou para 356, com capacidade média de moagem que variava de 815 mil (região Norte-Nordeste) a 1,5 milhão de toneladas de cana-de-açúcar por ano (região Centro-Sul).

Atualmente, segundo informações divulgadas pelas próprias empresas, Cosan, LDC, ETH e Bunge têm, em conjunto, capacidade para processamento de cerca de 160 milhões de toneladas de cana. A produção de etanol dessas quatro empresas corresponde a aproximadamente 7 milhões de m<sup>3</sup>, cerca de um quarto do total.

Apesar de ainda ser relativamente baixo o grau de concentração da indústria, esse índice vem aumentando. Tal fato decorre das diversas operações de aquisições de usinas menores por grandes grupos ligados ao agronegócio, além dos maciços investimentos de empresas estrangeiras que vêm na cana de açúcar uma matéria-prima bastante promissora. Entre 2004 e 2010, foram realizadas cerca de 60 operações de fusões e aquisições (FARINA et al., 2010).

Essa reestruturação industrial, segundo Rosário (2008), não tem a ver só com o interesse dos grupos estrangeiros nos baixos custos de produção, mas também com uma mudança do regime competitivo de toda a indústria brasileira durante os anos 1990 e a liberalização dos preços no setor.

A crescente participação do capital estrangeiro é uma tendência que teve início já em meados da década de 1990, sendo possível identificar características distintas em dois momentos desse processo de reestruturação industrial. No primeiro período, de 2002 a 2008, os negócios de consolidação colocavam em prática estratégias empresariais de ganho de escala e eliminação de concorrentes, além da aceleração da entrada de capitais em novos mercados. Com a crise financeira, por outro lado, a dificuldade de acesso a crédito culminou no alto grau de insolvência e de endividamento de algumas empresas do setor, intensificando o processo de centralização de capital (BENETTI, 2009).

Com relação ao crescimento do investimento externo direto na indústria brasileira de etanol, Gomes (2010) aponta que essa tendência traz tanto impactos positivos quanto negativos para as estratégias políticas mais amplas na referida indústria. A internacionalização do setor amplia o acesso a mercados consumidores, estando assim em linha com a estratégia do governo em transformar o etanol em uma *commodity* comercializável em nível mundial, porém também dificulta a expansão de empresas nacionais para o exterior. A autora ainda enfatiza que o processo tem ocorrido por meio de operações mais complexas do que as fusões e aquisições, como a formação de *joint ventures*, alianças com empresas locais, participação em fundos de investimento e acordos estratégicos formais de intercâmbio no âmbito



comercial e industrial, de transferência de conhecimento tecnológico, tornando mais difícil a análise dos impactos.

Do ponto de vista concorrencial, a maior capacidade de coordenação entre as empresas produtoras pode se revelar prejudicial ao bem-estar social, pois aumenta o risco de colusão e de manutenção de preços elevados. Em uma estrutura industrial com baixa concorrência, torna-se mais difícil prever o comportamento e o desempenho das firmas. Por outro lado, a consolidação do capital tende a melhorar a capacidade de coordenação no setor para realizar investimentos importantes, além de melhorar o planejamento de fornecimento do combustível. Além disso, a criação de *joint ventures* permite que empresas locais se beneficiem da capacitação acumulada em pesquisa por empresas estrangeiras no desenvolvimento de novas tecnologias.

Apesar de ser fundamental para a viabilidade econômica da produção de etanol, a análise da estrutura de custos na indústria sucroalcooleira é bastante complexa, pois envolve variáveis de alta volatilidade. Além de haver uma ampla variação nos valores de produtividade e nas tecnologias utilizadas, o principal componente do custo de produção do etanol é a matéria-prima, que, por sua vez, depende do custo da terra, intensidade de aplicação de defensivos agrícolas, tipos de equipamentos utilizados, além de aplicações alternativas, como a produção de açúcar.

Em 2008, estimou-se que o custo do etanol de cana-de-açúcar no Brasil situava-se entre US\$ 0,353 e US\$ 0,406 por litro, com a ressalva de que, por um lado, nas novas usinas esse custo pode ser inferior pelo fato de os canaviais apresentarem maior densidade (implicando menores custos de transporte) e maior eficiência na geração de eletricidade, e por outro, as parcelas de amortização impõem maiores custos financeiros (CGEE; BNDES, 2008). Apesar de o custo de produção anunciado ter aumentado significativamente nos últimos quatro anos<sup>10</sup>, o Brasil permanece como referência mundial de sucesso na produção e no consumo de etanol.

Tal sucesso se deve em grande parte aos ganhos de produtividade decorrentes do aprimoramento de espécies, aumento do teor de sacarose além do contínuo aumento dos benefícios ambientais, como a redução do uso de água e técnicas de conservação na

---

10 Em evento ocorrido em março de 2012, o gerente de gestão tecnológica da Petrobras Biocombustível afirmou que esse custo é de US\$ 0,57/litro (<http://www.advivo.com.br/blog/roberto-sao-paulo-sp-2012/custo-da-producao-de-etanol-de-segunda-geracao>). Apesar de não haver consenso sobre as causas desse aumento, podem ser citadas a baixa taxa de renovação dos canaviais, relativa estagnação nos ganhos de produtividade agrícola e industrial e necessidade de adaptar algumas práticas agrícolas às áreas incorporadas à produção de cana-de-açúcar mais recentemente. Milanez et al. (2012), por sua vez, reportam custo de produção em torno de R\$ 0,90/litro, durante 2011.

agroindústria sucroenergética. Esses ganhos foram resultado de uma ampla experiência acumulada facilitada tanto pela criação de instituições que apoiaram o desenvolvimento da indústria sucroalcooleira, como pelas condições favoráveis de clima e solo na região Centro-Sul.

Grosso modo, o desenvolvimento da produção de etanol no Brasil se deu com base na implantação de uma tecnologia simples, seguida de inovações incrementais sobre essa mesma tecnologia e, posteriormente, na geração de novos conhecimentos dentro da trajetória tecnológica existente (DANTAS; FIGUEIREDO, 2009).

Macedo (2007) enfatiza que o extenso desenvolvimento tecnológico ocorreu por meio da geração própria, importação, adaptação e transferências de tecnologias, na produção (agrícola e industrial), na logística e no uso final, mas também que a legislação específica, bem como a negociação permanente entre os principais setores envolvidos – produtores, indústria automobilística, indústria do petróleo e regulação governamental, foi fundamental para tornar o etanol um ótimo exemplo de produção de energia renovável em grande escala.

De fato, a evolução dos parâmetros técnicos foi resultado dos esforços conjuntos do setor público com o setor privado. Instituições públicas, federais e estaduais, assim como empresas privadas, desenharam uma curva de aprendizado responsável por sensíveis avanços tecnológicos. A influência de instituições como o CTC, a RIDESA e o IAC sobre a trajetória de acumulação tecnológica na produção de etanol no Brasil nas últimas quatro décadas, analisada em detalhes no estudo de Matias (2011), explica boa parte dos avanços conquistados pela indústria sucroalcooleira.

Entre 1980 e 1990, destacam-se a introdução em larga escala de variedades da cana desenvolvidas no Brasil, reciclagem de efluentes como a vinhaça (o mais importante deles), adoção práticas de conservação agrícola de desempenho superior, controle biológico de pragas e especificações do etanol em motores E-100, bem como o transporte, mistura e armazenamento deste combustível (CGEE, 2005). Macedo (2007) destaca que nesse período, o foco dos avanços se voltou ao rápido aumento da produção, deixando a eficiência de conversão para segundo plano.

Entre 1990 e 2000, quando as garantias de preço deixaram de existir, os aumentos de eficiência passaram a desempenhar papel mais relevante. Investiu-se em maior automação industrial, gerenciamento técnico (agrícola e industrial), otimização do corte, carregamento e transporte da cana, mecanização da colheita, mapeamento do genoma da cana e transformações genéticas (MACEDO, 2007).

Além disso, a reforma de liberalização do setor elétrico ao longo dos anos 1990 permitiu a competição no segmento de geração e muitas usinas passaram a exportar o excedente de energia elétrica, produzida por sistemas de cogeração<sup>11</sup>, ao Sistema Nacional Interligado (CASTRO; DANTAS, 2008).

Historicamente, o setor sucroalcooleiro optou pela utilização de tecnologias de baixa eficiência nas caldeiras porque o objetivo era maximizar a queima do bagaço devido à dificuldade de estocagem e remoção dessa matéria, além de não ser permitido exportar o excedente para a rede de distribuição (ISO, 2009). Entretanto, estudos apontam que se as usinas paulistas utilizassem caldeiras de 81 bar, em vez de 21 bar, haveria um excedente comercializável médio de energia de 2.184 GWh mensais durante a safra 2001/2002, quando o racionamento de energia impôs uma redução média mensal de 2.155 GWh à região Sudeste (SOUZA, 2003 apud CASTRO; DANTAS, 2008).

Dado que o conflito entre segurança energética e sustentabilidade ambiental faz parte de uma conjuntura que favorece a inserção da bioeletricidade e dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, a tendência é de que os equipamentos utilizados sejam gradativamente substituídos por outros de eficiência mais elevada. Assim como o aprimoramento do gerenciamento técnico, agrícola e industrial, a venda de bioeletricidade contribuiu e continuará tendo papel fundamental na elevação da produtividade e competitividade brasileiras no setor.

De modo geral, os principais avanços mencionados foram incorporados pela indústria por meio da aquisição de máquinas e equipamentos, que representa um mecanismo eficaz de transferência de tecnologia. Entretanto, sobre a possibilidade de redução de custos com aplicação da tecnologia atual, Macedo e Nogueira (2004, p. 15) afirmam que estas serão modestas, dado que “o setor industrial deverá evoluir de forma mais destacada incorporando tecnologias mais radicalmente diferentes e certamente com a implementação de novos produtos”. Como é realizado hoje, o processamento industrial da cana envolve uma tecnologia que, mesmo tendo alcançado grandes avanços entre 1970 e 1990, nos últimos anos propiciou poucos ganhos de produtividade e eficiência e parece ter atingido sua maturidade plena.

Nesse sentido, Dantas e Figueiredo (2009) verificam que a função de acúmulo de conhecimento, no âmbito do sistema de inovação em que está inserida a indústria sucroalcooleira, está passando por uma importante transição, caracterizada pela criação de

---

<sup>11</sup> Cogeração é o processo pelo qual são produzidas duas formas distintas de energia, próximo ao centro de carga, a partir de um mesmo combustível (CASTRO; DANTAS, 2008). No setor sucroalcooleiro, essas formas se referem a eletricidade e energia térmica e o bagaço da cana-de-açúcar é o combustível.

uma variedade de alternativas tecnológicas e por múltiplos direcionamentos de busca por novas trajetórias tecnológicas.

### **2.1.2 Estrutura atual da indústria de biodiesel**

A produção mundial de biodiesel é bem menos concentrada do que a de etanol, sendo liderada pelos Estados Unidos e União Europeia. Os Estados Unidos produziram 3,3 bilhões de litros em 2011, volume ligeiramente superior ao da Alemanha, segundo maior produtor (3,2 bilhões de litros, no mesmo ano) (MME, 2012). A principal matéria-prima utilizada pelos norte-americanos é o óleo de soja, apesar de o governo também oferecer incentivos para a utilização de óleo reciclado.

No bloco europeu, além da Alemanha, destacam-se França e Espanha, com produção correspondente a 1,6 bilhão de litros e 700 milhões de litros, respectivamente. Cabe lembrar que a preferência europeia pelo biodiesel se deve ao fato de sua frota utilizar o diesel e não a gasolina, como no Brasil e Estados Unidos. Mesmo sendo líderes globais, os países europeus são grandes importadores do biocombustível, principalmente devido às metas de utilização de combustíveis renováveis até 2020 (BOMTEMPO, 2009). Ao longo das próximas décadas, a participação do biodiesel no consumo de biocombustíveis na região deve diminuir ligeiramente, mas permanece elevada, em torno de 70% (AIE, 2010). A maior parte do óleo vegetal utilizado pelos europeus provém do cultivo de colza. Já a produção de biodiesel na Argentina e Indonésia (3º e 8º maiores produtores mundiais), se destina à exportação e utiliza o óleo de soja e de palma, respectivamente, como matéria-prima.

Há diferentes processos pelos quais se pode produzir o biodiesel, entre eles o craqueamento térmico, a esterificação e a transesterificação, sendo este último o mais difundido no mundo e no Brasil. Na transesterificação, utiliza-se um óleo vegetal ou gordura animal em reação com álcool (em geral, metanol) em presença de um catalisador (hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio), obtendo-se um éster (biodiesel) e glicerina (PRATES et al., 2007). Diferentemente do que ocorre na indústria do etanol, não existe nenhuma referência mundial de eficiência e competitividade na produção de biodiesel. Cada país procura atingir objetivos diferentes (consumo interno, exportação, ou ambos), com escalas de produção bastante distintas, e explorar suas aptidões agrícolas na busca de uma matéria-prima ideal. Com isso, a indústria mundial de biodiesel se apresenta bem menos consolidada que a de etanol (BOMTEMPO, 2009).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de biodiesel, com produção de 2,7 bilhões de litros em 2011. Entre os principais insumos estão o óleo de soja (74,54%), a gordura bovina (15,63%) e o óleo de algodão (7,72%) (ANP, 2012). Ele é adicionado ao diesel de petróleo em proporções que têm variado de acordo com a legislação vigente e hoje é de 5%.

Apesar de haver iniciativas de empresas e programas governamentais de fomento para produção de óleos vegetais alternativos, como o de dendê, eles produzirão efeitos somente no médio prazo. Nos próximos anos, o óleo de soja continuará sendo a principal matéria-prima na produção de biodiesel no país (EPE, 2010). Já o álcool utilizado, em geral, é o metílico, havendo poucas tentativas de substituí-lo pelo etanol, aproveitando a sua produção doméstica<sup>12</sup>. A Fertibom é um dos poucos produtores que realizaram desenvolvimentos tecnológicos próprios, sendo capazes de produzir biodiesel pela rota etílica atualmente (ARANDA, 2009 apud BOMTEMPO, 2009).

De modo geral, a indústria brasileira de biodiesel ainda apresenta baixo grau de maturidade, tendo se desenvolvido a partir de 2005, com base nos mandatos de mistura obrigatória previstos no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), uma vez que o preço desse biocombustível sempre foi superior ao do diesel mineral. Os investimentos privados responderam rapidamente à política de estímulos e já em 2012 o Brasil pode ultrapassar a Alemanha, tornando-se líder mundial na produção de biodiesel<sup>13</sup>.

Assim como na indústria sucroalcooleira, que depende de uma matéria-prima agrícola, a produção de biodiesel pode estar verticalmente integrada, incluindo as atividades de cultivo e comercialização da oleaginosa, o esmagamento do grão e produção do óleo vegetal e, por fim, a produção do biodiesel a partir do óleo. As empresas inteiramente integradas têm a opção de vender qualquer um dos três produtos, podendo buscar as melhores margens no mercado naquele momento. Com isso, conseguem ser mais competitivas que as concorrentes parcialmente ou não integradas (MENDES; COSTA, 2010).

A escala eficiente na produção de biodiesel ainda não é definida. Em 2007, uma planta de capacidade 100.000 t/ano era considerada grande para padrões brasileiros e alguns projetos optavam por plantas com capacidade entre 10 mil e 20 mil t/ano, buscando aproveitar vantagens provenientes da flexibilidade de matéria-prima (ALMEIDA et al., 2007). Mais recentemente, a capacidade média das plantas já girava em torno das 100.000 t/ano. Esse

---

<sup>12</sup> Em 2010, quase 97% da produção ocorreu por meio da rota metílica (ANP, 2011).

<sup>13</sup> *Biodiesel: liderança na produção a partir de 2012*. Notícia publicada no portal de notícias Agência Brasil ([www.agenciabrasil.ebc.com.br](http://www.agenciabrasil.ebc.com.br)) em 09/11/2011 com base em discurso de Miguel Rossetto, presidente da Petrobras Biocombustíveis.

aumento do tamanho médio das unidades industriais é possivelmente uma antecipação dos produtores à elevação da porcentagem de mistura obrigatória e um posicionamento para atender o mercado externo, porém tem gerado ineficiências (MENDES; COSTA, 2010).

Segundo Aranda (2006 apud ALMEIDA et al. 2007), a tecnologia de plantas de biodiesel apresenta significantes economias de escala: o preço de plantas com capacidade de 100 mil t/ano é apenas 18% maior que o de plantas com 50 mil t/ano de capacidade. Por outro lado, a decisão de adquirir plantas industriais de capacidade inferior é condizente com o fato de que a maior parcela do custo é variável e que economias de escala na produção teriam de vir com a redução do custo da matéria-prima, um enorme desafio para a tecnologia empregada hoje, dado que os óleos vegetais são precificados no mercado internacional e em alguns casos apresentam elevado custo de oportunidade<sup>14</sup>.

Ademais, é interessante notar que, para usufruir de isenções fiscais atreladas ao Selo Combustível Social, previsto no PNPB, o produtor de biodiesel deve comprar matéria prima de agricultores familiares, oferecendo-lhes suporte e assistência técnica, benefícios que podem ser mais bem providos por empresas grandes. Poucas empresas possuem o certificado e, na maioria dos casos, têm capacidade instalada superior a 70 mil t/ano (MENDES; COSTA, 2010). Desse modo, o programa governamental, ao mesmo tempo em que busca incentivar a agricultura familiar, pode estar oferecendo condições mais favoráveis às grandes empresas no segmento industrial da cadeia produtiva.

Há de se ressaltar também que a indústria de biodiesel tem se caracterizado pela presença de diferentes tipos de investidores e produtores, como frigoríficos, grupos financeiros e agroindustriais, grandes empresas das áreas de petróleo e química, investidores independentes, entre outros. A facilidade de entrada de novos produtores é reflexo da inexistência de barreiras tecnológicas. No gráfico 2, é possível notar que em termos de concentração industrial, a produção de biodiesel se encontra bastante pulverizada.

**Gráfico 2. Participação na Capacidade Instalada - Junho/2012**  
**19.534 m<sup>3</sup>/dia**

Fonte: ANP (2012)

---

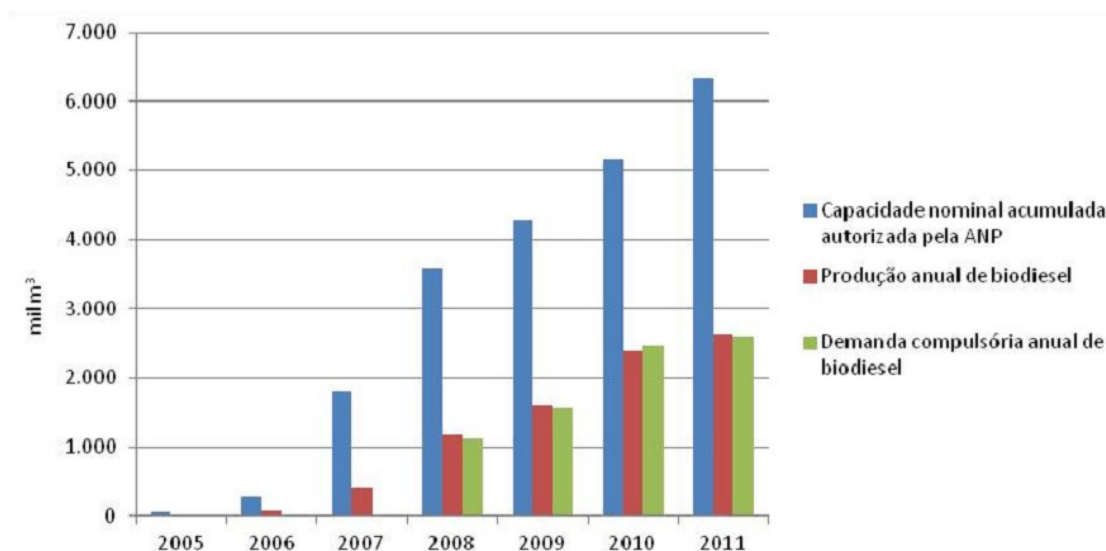
<sup>14</sup> O alto custo de oportunidade dos óleos vegetais utilizados como matéria-prima já foi um problema para o cumprimento da legislação em relação à mistura obrigatória em 2008, quando os volumes entregues corresponderam a somente 30% do volume contratado nos leilões (MENDES; COSTA, 2010).

Observa-se, por exemplo, que nenhuma empresa atinge participação acima de 10%. A competição acirrada se deve principalmente ao fato de haver um grande número de empresas e plantas fabricando um produto homogêneo que é vendido em regime de leilão. Além disso, é possível identificar na indústria brasileira de biodiesel uma significativa capacidade ociosa desde o início do PNPB, que pode ser facilmente visualizada no gráfico 3.

Atualmente, existem 65 plantas produtoras de biodiesel com autorização da ANP para operar no Brasil, correspondendo a uma capacidade total autorizada superior a 19 mil m<sup>3</sup> por dia, sendo que 61 destas possuem autorização para comercialização, alcançando volume de aproximadamente 18 mil m<sup>3</sup> por dia (ANP, 2012). A produção de 2011 (2,7 milhões de m<sup>3</sup>) utilizou menos de 40% da capacidade total autorizada.

De acordo com Mendes e Costa (2010), mesmo as empresas maiores apresentam baixo fator de utilização da capacidade. Com base em dados de 2009, os autores constatam que há apenas uma empresa que utiliza mais de 70% da capacidade autorizada e que em alguns casos o nível de utilização não ultrapassa um quinto de sua capacidade.

**Gráfico 3. Evolução anual da produção de biodiesel, da demanda compulsória e da capacidade nominal autorizada pela ANP no Brasil**



Fonte: ANP (2012)

Entre os principais desafios na produção de biodiesel se encontra a indefinição acerca da matéria-prima mais adequada, que apresente boa produtividade e alta resistência a pragas, doenças e variações climáticas. O óleo de soja tem se destacado por fazer parte de uma cadeia

produtiva bastante organizada e desenvolvida, porém apresenta baixa produtividade em termos de volume de óleo por hectare.

A Embrapa, além de empresas privadas, tem aplicado esforços no desenvolvimento de espécies com produtividade muito superior, como o dendê, cuja expansão é indicada como alternativa para a agricultura sustentável na Amazônia. Essa indefinição, bem como a diversidade tecnológica e de organização da produção, é reflexo do baixo nível de maturidade nessa indústria e dificulta a identificação do potencial de desenvolvimento efetivo para o biodiesel no país (ALMEIDA et al., 2007).

Além disso, o mercado de biodiesel foi criado a partir de uma decisão política e a rentabilidade dos produtores depende significativamente das medidas governamentais, como os leilões de compra realizados pela ANP e a mistura obrigatória que cria mercado para o biodiesel. Com base na expectativa de que o marco regulatório continuaria a evoluir para percentuais maiores de mistura, muitos investimentos foram realizados na expansão da capacidade produtiva.

Nesse sentido, a UBRABIO (União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene) e a Associação Brasileira dos Produtores de Biodiesel (APROBIO) têm buscado pressionar o governo para que isso ocorra de forma mais acelerada. No final de 2011, foi formada uma frente parlamentar, com adesão de 260 deputados e senadores, cujo objetivo é elevar a mistura de biodiesel de 5% para 20% nos próximos dez anos<sup>15</sup>. Portanto, a revisão do marco regulatório segue como importante determinante da rentabilidade do setor e fator essencial para a consolidação do mercado de biodiesel no país. Um choque positivo de demanda poderia vir tanto do atendimento à reivindicação dos produtores de aumentar a participação obrigatória de biodiesel na matriz brasileira de combustíveis, como do aumento das exportações.

O que tem preocupado alguns pesquisadores, no entanto, é a extensão do impacto que esse aumento da demanda compulsória poderá ter sobre a produção e o preço dos alimentos. Em busca de maior compatibilidade entre disponibilidade de recursos naturais e crescente demanda energética, governos de diversos países têm adotado políticas de incentivo para promover formas economicamente viáveis de produzir combustíveis renováveis a partir das biomassas disponíveis em cada região.

---

15 *Frente parlamentar em defesa do biodiesel será lançada hoje*. Notícia publicada na página da Câmara dos Deputados ([www.camara.gov.br](http://www.camara.gov.br)) em 19/10/2011.



## 2.2 Biocombustíveis e o meio ambiente: solução ou problema?

Há diversas questões ambientais que merecem ser analisadas com cuidado quando se trata da produção de biocombustíveis, desde a fase agrícola até o transporte do produto final para os centros consumidores, mas neste trabalho a atenção será direcionada às que têm suscitado mais controvérsias. A primeira delas tem a ver com as emissões totais, diretas e indiretas, geradas e evitadas a partir da substituição de combustíveis fósseis. A segunda tem a ver com o desmatamento que, assim como as emissões, está suscetível a efeitos indiretos por meio do deslocamento de culturas agrícolas que dão lugar ao cultivo de matérias-primas energéticas.

O grande apoio que têm recebido os biocombustíveis em diversos países se deve, em grande parte, ao fato de o setor de transportes ser responsável por 14% do total na matriz mundial de emissões de GEE. O que muitos especialistas têm criticado, por outro lado, é que 18% das emissões correspondem a mudanças no uso da terra, seja por desmatamento, seja por substituição da cobertura vegetal (VON DER WEID, 2009). Assim, a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis não faria sentido para atender metas de redução de emissões, pois a redução de um setor se dá às custas do aumento em outro, podendo ser mais que compensatório<sup>16</sup>.

Como foi levantado por CREUTZIG et al. (2012), há uma parte da literatura científica indicando que as elevadas emissões diretas e indiretas devido ao uso da terra comprometem os benefícios de diversos biocombustíveis, ao passo que outra parte enfatiza o potencial que a sua produção em larga escala tem de mitigar as mudanças climáticas e até mesmo produzir emissões ‘negativas’ de GEE quando combinada a tecnologias de captura e estocagem de carbono. Portanto, essa questão do balanço de emissões permanece inconclusiva.

Algumas avaliações apontam que o etanol de cana-de-açúcar é atualmente o biocombustível que tem maior capacidade de redução de GEE, devido à elevada produtividade e à utilização do bagaço para co-geração de eletricidade. Estimativas da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2008) indicam que essa redução, ao longo de todo o ciclo de produção e uso em comparação com a gasolina, é da ordem de 80% ou superior.

---

<sup>16</sup> As referências que causaram maior repercussão na controvérsia em torno da *Indirect Land Use Change* foram Fargione et al. (2008) e Searchinger et al. (2008), publicados na revista *Science*.

O potencial de redução de emissões dos biocombustíveis depende dos processos e da tecnologia empregados na produção da matéria-prima, bem como do consumo de combustíveis fósseis, sendo que, mesmo para uma dada matéria-prima, é possível encontrar resultados divergentes em avaliações de ciclo de vida (ACV) (TIMILSINA; SHRESTHA, 2011). Essa metodologia analisa o produto em todas as suas etapas de fabricação e uso, inclusive destino final de efluentes e sub-produtos, além do consumo de energia nas diferentes fases do ciclo de vida. A amplitude das estimativas deriva dos diferentes pressupostos adotados pelos pesquisadores com relação a essas variáveis.

No Brasil, a Embrapa tem se empenhado junto a universidades para implantação da metodologia ACV a fim de avaliar o desempenho ambiental dos biocombustíveis brasileiros. Lançado em 2010, o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida, é uma iniciativa que caminha paralelamente ao processos de certificação para conferir maior credibilidade aos biocombustíveis produzidos aqui. O programa norte-americano de incentivo aos biocombustíveis já utiliza essa metodologia como critério para classificá-los e conceder-lhes incentivos diferenciados.

Para lidar com as críticas em relação ao desmatamento, foi lançado pelo MAPA em parceria com o MMA, em setembro de 2009, o Zoneamento Agroecológico da Cana (ZAE). Trata-se de uma iniciativa do governo junto aos produtores de cana-de-açúcar que tem por objetivo fornecer informações técnicas para que a expansão da cultura canavieira ocorra de forma sustentável no território brasileiro e assim rebater as críticas de que a produção de biocombustíveis estimula o desmatamento.

O plano delimita as áreas onde a cultura poderá expandir, propondo vetos à instalação de novas usinas em determinadas regiões. De acordo com o documento do MAPA, foram excluídas: i) terras com declividade superior a 12%, considerando a premissa de que nas áreas de expansão só será permitida a colheita mecanizada; ii) áreas com cobertura vegetal nativa; iii) os biomas da Amazônia e Pantanal; iv) áreas de proteção ambiental; v) terras indígenas; vi) remanescentes florestais; vii) dunas; viii) mangues; ix) escarpas e afloramentos de rocha; x) reflorestamentos e x) áreas urbanas e de mineração.

O debate acerca do uso da terra na produção de culturas voltadas à produção de biocombustíveis está longe de chegar a um consenso, tanto em nível global, como local. A preocupação de organismos internacionais, como a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e o Banco Mundial, sobre o impacto que a expansão dos biocombustíveis teve ou pode ter sobre o preço dos alimentos e o desmatamento fez com que o governo brasileiro e a própria indústria reagissem com iniciativas como o ZAE, o protocolo

para redução gradativa da colheita manual e certificações de sustentabilidade. O argumento sustentado pela UNICA, ecoado por representantes de órgãos governamentais e até mesmo por membros da academia, é o de que a produção de cana-de-açúcar ocupa atualmente apenas 1% das terras agricultáveis no país (JANK; NAPPO, 2009; NYKO et al., 2010).

Em 2010, a área total plantada de cana foi de 9,2 milhões de hectares, resultando em uma produção de 717,5 milhões de toneladas (IBGE, 2011). O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2020 aponta que a área efetivamente disponível no país para expansão agrícola é de 71 milhões de hectares, cerca de oito vezes superior à área utilizada atualmente à plantação de cana-de-açúcar (EPE, 2011). O ZAE, por sua vez, indica que o Brasil dispõe de 64,7 milhões de hectares de áreas aptas à expansão do cultivo da cana-de-açúcar, demonstrando “que o país não necessita incorporar áreas novas e com cobertura nativa ao processo produtivo, podendo expandir a área de cultivo com cana-de-açúcar sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos” (MAPA, 2009, p. 7).

Adicionalmente, o adensamento da pecuária, cuja ocupação média no país é de uma cabeça de gado por hectare, permitiria a liberação de 20 milhões de hectares, caso a densidade do gado nos municípios que apresentam ocupação abaixo de uma cabeça por hectare fosse elevada à média nacional. Esse acréscimo é bastante superior à estimativa da EPE de área requerida para o atendimento da demanda de etanol em 2020 da ordem de 12 milhões de hectares.

Na contramão deste argumento, encontram-se os resultados da pesquisa realizada por Barbieri (2009) com auxílio de mapas-base produzidos a partir de imagens de satélite, indicando que a expansão significativa dos canaviais no Cerrado é posterior a 2007 e *não* tem ocorrido preferencialmente sobre pastagens degradadas.

Barbieri critica a “savanização das florestas”, um paradigma segundo o qual as savanas decorrem da degradação das matas, conduzindo à lógica da associação pastagens – degradadas. Isso teria levado sua riqueza e diversidade biológicas a serem “sistematicamente ignoradas pelo IBGE, que desde 1940 não reconhece o Cerrado como cobertura natural, mas lhe atribui *a priori* uma vocação pecuária, considerando-o meramente ‘pastagem nativa’” (BARBIERI, 2009, p. 211).

A conclusão mais relevante desse estudo é o fato de que há competição regional entre agroenergia e produção de alimentos, com agravamento da pressão sobre ecossistemas. Barbieri constatou que na microrregião do sudoeste de Goiás, a expansão da cana-de-açúcar tem ocorrido preferencialmente sobre áreas de lavouras (63% dos 62.420 hectares da amostra) e que, quando a expansão ocorre sobre pastagens, para cada 10 hectares de pastagens

convertidas é desmatado 1,12 hectare de cerrado originalmente mantido pelo sistema pecuário tradicional.

Portanto, há que se ponderar o argumento da UNICA e outros órgãos governamentais quando estes defendem que a expansão dos canaviais não está associada nem ao desmatamento nem à elevação dos preços dos alimentos. Nesse sentido, é preciso estimular as pesquisas de campo para que debates importantes como o que foi abordado nesta seção sejam mais pautados por dados e fatos do que por cenários hipotéticos e pressupostos ideológicos.

Considerando o que foi exposto, verifica-se que não há consenso sobre o tema, mas mesmo organismos como a FAO admitem que a elevação do preço dos alimentos se deve mais a questões como baixo investimento, baixa produtividade, secas regionais, baixos estoques e especulação de preços do que à expansão da produção de biocombustíveis (PILGRIM; HARVEY, 2010).

Além disso, a revisão da literatura sobre o tema realizada por Timilsina e Shrestha (2011) mostra que os impactos sobre os preços dos alimentos são bem superiores quando se consideram as culturas (soja, milho, trigo, açúcar) individualmente do que quando uma cesta de produtos alimentares é analisada. O estudo de Baier et al. (2009 apud TIMILSINA; SHRESTHA, 2011) parece sintetizar os argumentos do debate, mostrando que 12% do aumento no índice de preços dos alimentos é explicado pelo aumento da produção mundial de biocombustíveis, dos quais, 60% pode ser atribuído à produção destes nos EUA, 14% no Brasil e 15% na UE.

Por trás dos estudos científicos que buscam avaliar os impactos reais da produção de biocombustíveis é possível que haja interesses de grupos específicos que buscam influenciar o processo de formulação de políticas públicas. Com relação ao papel dos estudos científicos na definição do interesse público, Nelson e Winter (2005) afirmam:

Grande parte do arcabouço interpretativo é amplamente orientado pela herança cultural da sociedade, por crenças bem sedimentadas e por predileções ideológicas que definem os papéis legítimos e ilegítimos do governo [...]. Dentro desse amplo contexto, as interpretações técnicas particulares são condicionadas pelo estado geral da compreensão científica dos vários tópicos. A interpretação é influenciada apenas marginalmente pelos estudos e pelas análises dirigidos especialmente ao tema político particular em questão, e esses estudos também são fortemente condicionados pela ideologia e pela compreensão científica, em vez de fornecerem interpretações independentes (NELSON; WINTER, 2005, p. 535-536).

Desse modo, apesar de não serem capazes de *identificar* um interesse público verdadeiro em um sentido estritamente objetivo, os estudos científicos ajudam a *definir* um

interesse público, e por isso exercem um papel de grande importância na tomada de decisões públicas.

A interação entre o interesse público e o privado tem ganhado considerável destaque entre os pesquisadores das organizações e de políticas públicas. Estudos recentes dedicaram-se a analisar as atividades que envolvem organizações públicas e privadas conjuntamente e, inevitavelmente, esbarram na dificuldade de definir o que é o interesse público. Mahoney et al. (2009) o descrevem como um amálgama de interesses privados e individuais interdependentes que mudam ao longo do tempo:

In general, public interests are well defined only when private interests can be aligned or aggregated cogently. Almost without exception, the public interest favors some private interests over others. Ill-defined public interests may favor specific organizations and individuals whose interests would not be favored if all members of a community were represented equally. In general, public interests run along a spectrum from poorly to well defined. Under this conceptualization, specific interests may become more or less aligned over time and shift in character between private and public (MAHONEY et al., 2009, p. 1034).

Para Nelson e Winter (1982), tanto economistas como cientistas políticos entendem que o interesse público é mais uma figura de linguagem do que uma entidade concreta com metas identificáveis. Com efeito, o público surge como resultado de diversos interesses, que em muitos casos são divergentes entre si, fazendo com que a elaboração e a revisão de políticas públicas constituam um complexo jogo de múltiplos atores.

Os mercados de energia já nascem de decisões políticas que envolvem um interesse público. Nos diversos países em que a produção de biocombustíveis tem relevância, seus mercados foram instituídos por meio de instrumentos intervencionistas, o que politizou seu processo de formação. Em seguida serão abordadas as políticas têm influenciado a produção e o consumo de biocombustíveis.

### **2.3 Políticas públicas para produção e consumo de biocombustíveis**

Com programas governamentais específicos, a produção de biocombustíveis cresceu fortemente na última década, gerando impactos sócio-econômicos significativos e diferenciados nos países produtores. Em termos mundiais, os números da produção impressionam: entre 2000 e 2009, a produção de etanol passou de 16,9 milhões de m<sup>3</sup> para 72

milhões de m<sup>3</sup>. Os números do biodiesel são mais expressivos ainda, tendo a produção saltado de 800 mil m<sup>3</sup> para 14,7 milhões de m<sup>3</sup> (SORDA et al., 2010).

A presença de ações governamentais orientadas para o fomento da produção e consumo de biocombustíveis se verifica em diversos países e regiões. Estados Unidos, União Europeia, China, Índia e Argentina<sup>17</sup> são exemplos de como o governo pode alterar incentivos aos agentes econômicos e promover este setor. Em geral, os objetivos das medidas governamentais para incentivar essa indústria passam pela redução da dependência energética, aumento da participação das energias renováveis e elevação da renda do setor agrícola.

Em meio a tantos argumentos, é importante enfatizar que, apesar de estudos apontarem que a utilização de energias renováveis com sustentabilidade ambiental é uma das preocupações associadas à estratégia brasileira na área de biocombustíveis (e. g. IPEA, 2010), a principal motivação para a adoção de políticas de fomento à sua produção no país foi de segurança energética, e não de caráter ambiental.

Esse movimento contrasta com programas governamentais de alguns países europeus, onde a legislação ambiental adquire maior força e é capaz de impor efetivamente restrições à atividade industrial. O fato de o setor de transportes exercer um grande impacto sobre as emissões de GEE e outros gases fez com que países desenvolvidos estabelecessem metas para adoção de combustíveis renováveis no setor.

É interessante notar que, em geral, a produção de biocombustíveis ainda não é uma atividade rentável sem incentivos governamentais, que incluem isenções fiscais, subsídios e outras formas de incentivos financeiros. De acordo com a OCDE, os países pertencentes à organização gastaram cerca de US\$ 15 bilhões em subsídios para biocombustíveis em 2007 (SORDA et al., 2010).

Um estudo da Global Subsidies Initiative indicou que em 2006, somente nos países membros da União Europeia, foram gastos EUR 3,7 bilhões. De 2007 a 2010, porém, o mesmo instituto reporta significativa mudança nas políticas de apoio aos biocombustíveis no bloco econômico. Em termos de recomendações, o instituto declara que as políticas de redução de impostos, apesar de imporem um custo aos orçamentos governamentais, são superiores às de mistura obrigatória, já que, comparativamente, há uma maior capacidade para controlá-las e mensurá-las. Ao final, contudo, devido à necessidade de redução do déficit público em muitos dos países-membros, a recomendação é de que tanto as políticas de mistura obrigatória, como as de isenção de impostos, dêem lugar à taxa mais elevada de

<sup>17</sup> Para detalhes dos programas adotados por estes e outros países, veja-se Sorda et al. (2010), Wiesenthal *et al.* (2008) e Timilsina e Shrestha (2010).

combustíveis fósseis ou mesmo à adoção de um sistema *cap-and-trade* para as emissões de GEE.

Nos Estados Unidos, movimento similar tem ocorrido com relação aos subsídios ao etanol convencional de milho. No final de 2011, deixou de ser renovada a lei que estabelecia a tarifa de importação de US\$ 0,54 por galão ao etanol brasileiro e estipulava crédito tributário de US\$ 0,45 por galão de etanol misturado à gasolina no país, o que custava cerca de US\$ 6 bilhões por ano ao Tesouro norte-americano. Atualmente, a política de incentivo aos biocombustíveis nos Estados Unidos envolve metas para combustíveis avançados, implicando reservas de mercado para estes, de acordo com o potencial de redução de emissões e a matéria-prima utilizada, conforme especificado pelo *Renewable Fuel Standard 2*. Além disso, os projetos norte-americanos contam com financiamento de órgãos públicos como o DOE (Departamento de Energia). O *Biomass R&D Board*, por exemplo, é uma iniciativa que envolve colaboração entre agências federais (DOE, EPA, USDA, entre outras) e a Casa Branca, e disponibiliza recursos financeiros não reembolsáveis para a realização de pesquisas com biomassa no desenvolvimento de novas matérias-primas, novos biocombustíveis e bioprodutos.

Considerando os múltiplos objetivos aos quais as políticas buscam atender, além dos possíveis efeitos colaterais como o aumento dos preços dos alimentos e aumento das emissões de GEE na produção agrícola, a produção de biocombustíveis demanda uma abordagem diferenciada para o desenho de políticas mais apropriadas. Como não existe um conjunto de políticas do tipo “*one size fits all*” para atender aos objetivos distintos e minimizar os efeitos negativos, esse desenho depende das condições e prioridades apresentadas por cada país (OCDE, 2008).

Cabe lembrar que as políticas governamentais diretamente relacionadas com a produção de biocombustíveis no Brasil, quais sejam, a política energética, a política ambiental e a política industrial, serão detalhadamente abordadas no capítulo 3.

## **2.4 Dos biocombustíveis convencionais aos avançados?**

Uma das principais dificuldades de estudos relativos à indústria de biocombustíveis se refere à rapidez com que os dados disponíveis se tornam desatualizados, com que mudam os participantes e as estratégias empresariais e com que os atores envolvidos na produção

precisam se adaptar. A seguir, busca-se esboçar algumas iniciativas envolvendo P&D e estratégias empresariais que têm contribuído para acelerar transformações nessa indústria.

Grosso modo, a biomassa é composta de lignocelulose e açúcar, sendo que os principais componentes da lignocelulose são a celulose (30-50%), a hemicelulose (15-35%) e a lignina (10-30%) (DA COSTA SOUSA et al., 2009 apud DA SILVA, 2010). A produção de etanol convencional a partir da cana, por exemplo, utiliza apenas cerca de um terço do potencial energético da biomassa. Em geral, considera-se que o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, não utilizados para produção de etanol atualmente, contêm dois terços da energia da planta.

Os chamados biocombustíveis avançados têm intenção de elevar o aproveitamento da matéria-prima lignocelulósica que é hoje descartada ou utilizada de forma ineficiente pela agroindústria. O aproveitamento integral do potencial energético da biomassa pode se dar por meio de processos bio ou termoquímicos.

Bomtempo e Viegas (2010) ressaltam a existência de uma variedade de soluções dentro das categorias mencionadas, sendo que estas também podem ser combinadas. Verifica-se entre os projetos de P&D a aplicação de diferentes enzimas e microorganismos fermentadores e a busca por diferentes destinações ao gás de síntese resultante da gaseificação da biomassa.

As diversas variações e alternativas sendo avaliadas em laboratórios e plantas-piloto podem produzir combustíveis similares aos produzidos pelas duas rotas principais, ou outros tipos, como dimetil-éter, metanol ou gás natural sintético. Contudo, elas não representam a maior parcela dos investimentos em P&D nesse estágio (AIE, 2008).

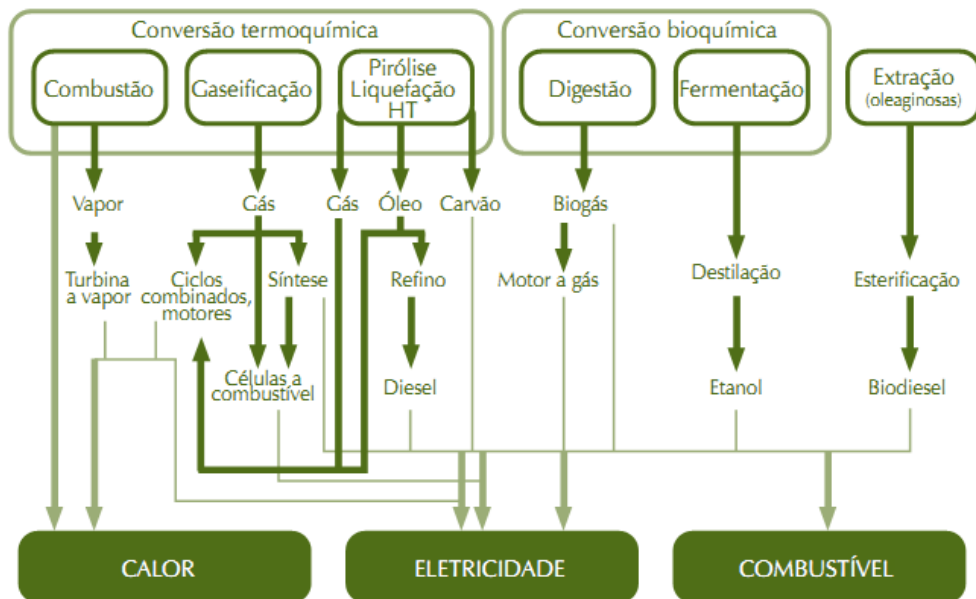
O quadro seguinte busca classificar as rotas de conversão de biomassa em diferentes tipos de energia simplificadamente. Nota-se, por exemplo, que ele restringe a aplicação do processo fermentativo à produção de etanol<sup>18</sup>. Mesmo assim, já é possível notar o grande número de possibilidades existentes para exploração desse conteúdo energético que é subutilizado atualmente.

### **Figura 3 – Rotas tecnológicas para produção de bioenergia**

---

<sup>18</sup> Adiante, será visto que já existem empresas produzindo biohidrocarbonetos a partir da fermentação de açúcares.





Fonte: CGEE; BNDES (2008)

### 2.4.1 Processos bioquímicos

Entre os processos bioquímicos se encontram a digestão anaeróbica, a fermentação/destilação e a hidrólise, cabendo ressaltar que esta última não requer necessariamente a utilização de enzimas. Há também a possibilidade de realizar a hidrólise química (com utilização de ácidos), porém esta gera hidrolisados com alta toxicidade que dificultam a fermentação alcoólica, além de apresentar problemas de corrosão, aumentando os custos de manutenção, daí o maior interesse na hidrólise enzimática (DA SILVA, 2010).

As rotas que utilizam enzimas e outros microorganismos para converter a celulose e a hemicelulose em açúcares podem estar associadas à produção de etanol, mas também são estudadas para a produção de combustíveis de maior conteúdo energético, como butanol, diesel e querosene de aviação.

O elevado custo das enzimas atualmente tem sido o principal gargalo para a utilização da hidrólise enzimática no desenvolvimento do etanol celulósico, mas é importante notar que, além da produção de enzimas, é necessário desenvolver novos conhecimentos sobre os processos de pré-tratamento, a fermentação e destilação do produto final.

A conversão enzimática requer que as enzimas hidrolíticas tenham acesso livre à celulose e à hemicelulose para produzirem açúcares fermentáveis. Para que o material lignocelulósico possa ser utilizado na produção de biocombustíveis e outros produtos, é preciso separar seus componentes. A etapa de pré-tratamento é responsável por modificar as propriedades físicas e químicas da parede celular da biomassa, tornando mais eficiente o

processo de conversão, e por isso tem representado também um grande desafio para o desenvolvimento de biocombustíveis celulósicos (EVANS, 2012).

As técnicas de pré-tratamento podem envolver métodos físicos, químicos, biológicos, ou uma combinação destes, mostrando-se mais ou menos adequados aos tipos de biomassa que se pretende utilizar. A indústria de celulose, por exemplo, utiliza um sistema de decantação que gera resíduos que não necessitam ser submetidos a nenhum processo de pré-tratamento, dado que, em seu processo de origem já ocorre a deslignificação que remove a maior parte da lignina e da celulose (CONCEIÇÃO SILVA, 2010).

Outro importante obstáculo a ser enfrentado pela aplicação da hidrólise enzimática tem a ver com os compostos inibidores da atividade das enzimas (aldeídos furânicos, ácido fórmico e ácido acético, por exemplo) à medida que o processo de fermentação ocorre, tornando essencial o aperfeiçoamento das técnicas de pré-tratamento que minimizem ou mesmo evitem por completo a formação destes elementos.

Apesar de a levedura *Saccharomyces cerevisiae* ser amplamente utilizada pela indústria no processo de fermentação e ter elevada tolerância ao etanol, o produto que se busca obter, ela não é capaz de utilizar açúcares de cinco carbonos (pentoses), componentes dos hidrolisados da biomassa, o que compromete a viabilidade econômica da produção de etanol via hidrólise (DA SILVA, 2010). Nesse sentido, outros microrganismos, inclusive geneticamente modificados, têm sido considerados como substitutos para atingir um maior rendimento.

Apesar de todas essas barreiras, a hidrólise enzimática é a rota que atualmente apresenta tecnologia mais desenvolvida na produção de açúcares celulósicos e devido a seu potencial de evolução e redução de custos tem sido vista por muitos pesquisadores e cientistas como processo-chave para a produção competitiva de etanol no longo prazo (CGEE; BNDES, 2008). Com significativo apoio financeiro dos governos, a hidrólise enzimática já conseguiu atingir o estágio de demonstração e alguns projetos dão os primeiros passos em escala comercial atualmente.

#### **2.4.2 Processos termoquímicos**

A conversão termoquímica consiste na conversão da energia química da biomassa em calor, podendo ocorrer por incineração, gaseificação ou pirólise. A primeira resulta em eletricidade, enquanto a segunda e a terceira resultam em substitutos do gás natural (gás de síntese) e do petróleo bruto (bio-óleo), respectivamente. A combustão já é amplamente

utilizada, sendo os dois últimos os processos de maior interesse para a produção de biocombustíveis avançados.

A rota BTL faz uso da gaseificação da biomassa e envolve duas etapas. Primeiramente, a biomassa é convertida em um gás de síntese (*syngas*), formado por hidrogênio e monóxido de carbono ( $H_2 + CO$ ). Depois da limpeza, esse gás é convertido em hidrocarbonetos líquidos por meio de síntese Fischer-Tropsch (AIE, 2011b).

O grande interesse nesta rota se deve à sua versatilidade. Além de poder ser queimado em caldeiras, motores de combustão interna ou turbinas (ANEEL, 2005), o gás de síntese é capaz de produzir uma variedade de combustíveis sintéticos (etanol, éter dimetílico, gasolina, diesel, querosene), e assim atender à demanda de veículos pesados, de transporte aquaviário e aéreo. A gaseificação da biomassa tem sido aplicada principalmente na síntese desses combustíveis e na geração de eletricidade com a utilização de ciclos integrados de elevada eficiência com turbinas a gás (MACEDO, 2007).

Já a pirólise rápida, processo que envolve o rápido aquecimento da biomassa até temperaturas entre 400-600 °C seguido de rápido resfriamento, produz um óleo que pode ser mais adequado para transporte de longa distância do que, por exemplo, a palha ou resíduos de madeira. Este óleo pode ser processado de maneira semelhante à utilizada para o petróleo bruto e hoje há vários esforços de pesquisa em curso para incluir o óleo de pirólise entre os biocombustíveis avançados (AIE, 2011b).

## 2.5 A inovação em diversas dimensões

### 2.5.1 Novos processos, produtos e matérias-primas

No atual estágio de pesquisa e desenvolvimento, ainda não é possível afirmar qual rota tecnológica ou matéria-prima será mais eficiente na produção de biocombustíveis avançados. Entretanto, a AIE acredita que, uma vez identificadas as tecnologias de conversão vencedoras, deverá ocorrer uma transição gradativa dos combustíveis convencionais para os avançados, com exceção do etanol de cana-de-açúcar, que continuará a ser produzido de maneira sustentável em diversos países (AIE, 2008).

O fato de o etanol convencional de cana-de-açúcar já ser considerado um “combustível avançado” segundo os padrões norte-americanos do *Renewable Fuel Standard 2*, que será apresentado em detalhes no estudo de caso do próximo capítulo, levanta a questão sobre a real necessidade de se gastar recursos com o desenvolvimento de biocombustíveis mais caros com desempenho ambiental similar.

Do que foi exposto sobre as tecnologias mais promissoras, depreende-se que os projetos de inovação almejam não só desenvolver processos como também produtos mais eficientes. O Brasil já conta com o etanol como biocombustível bem-sucedido, porém ele não esgota as possibilidades de atendimento da demanda por combustíveis e produtos químicos renováveis de desempenho elevado. A diversificação da produção e a transformação do modelo de negócios podem contribuir significativamente para o aumento da lucratividade dos produtos derivados de biomassa.

Com relação a este debate, vale a pena resgatar o conceito de “inovações de ruptura”, atribuído a Clayton Christensen<sup>19</sup>. Trata-se de inovações voltadas ao atendimento de segmentos de mercado que não são atendidos pela oferta atual. Mesmo que apresentem desempenho inferior, elas podem ter sucesso no nicho inicial e expandir para os segmentos de empresas estabelecidas, representando uma ameaça não percebida por estas. Trazendo o conceito para o contexto aqui estudado “a posição do etanol brasileiro convencional apresenta com a sua superioridade competitiva atual um alvo possível para inovações de ruptura” (CGEE, 2010, p.338).

---

<sup>19</sup> CHRISTENSEN, C. *The Innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1997.

A partir dos projetos de P&D em andamento, almeja-se atingir uma escala economicamente viável de produção de combustíveis de maior desempenho, como o bioquerosene de aviação e o diesel de cana. No fim de 2010 foi realizado o voo experimental de uma aeronave utilizando biocombustível produzido a partir de óleo de pinhão manso. O voo teve aprovação técnica dos fabricantes da aeronave e dos motores (Airbus e CFM, respectivamente) e autorização da *European Aviation Safety Agency* e Agência Nacional de Aviação Civil. A matéria-prima passou por um processo de hidrotreatamento, resultando em bioquerosene que foi misturado com o querosene convencional em proporção de 50% (EPE, 2010). Adicionalmente, um convênio entre EMBRAER, BOEING e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) foi estabelecido com o objetivo de colaborar com o desenvolvimento de biocombustíveis de aviação no Brasil<sup>20</sup>.

A empresa de biotecnologia Amyris, por sua vez, vem desenvolvendo combustíveis renováveis por meio de processos bioquímicos que têm hidrocarboneto como base, o que lhes permite atender as especificações internacionais para combustíveis derivados do petróleo, que em alguns casos são vistas com entrave para a ampla adoção de biocombustíveis convencionais. O próximo capítulo trará informações mais detalhadas sobre o diesel de cana, que já é testado nas frotas de ônibus de algumas cidades brasileiras.

A BP e a DuPont, por meio da Butamax, inauguraram em Paulínia (SP) um laboratório dedicado à pesquisa e desenvolvimento do biobutanol, um combustível com maior teor energético do que o etanol que tem a vantagem de utilizar a infraestrutura de armazenagem e distribuição atual sem necessidade de adaptações. A empresa emprega leveduras especiais como catalisadores que podem ser recuperadas após a fermentação dos açúcares.

Já a Shell tem se destacado pela participação em projetos com diferentes focos, apostando em diferentes plataformas tecnológicas. Inicialmente, a empresa optou por associar sua imagem ao desenvolvimento de biocombustíveis “da nova geração, utilizando materiais biológicos não alimentícios e processos alternativos”<sup>21</sup>, investindo recursos nas rotas BTL e do etanol celulósico. Em 2002, a empresa já havia estabelecido parceria com a Iogen, empresa canadense de biotecnologia que desenvolve tecnologias de produção de etanol celulósico, visando à cooperação na comercialização. Em 2005, associou-se à Choren, cujo foco se dá sobre a rota termoquímica (BTL) para diesel. Posteriormente vieram as parcerias com a

---

20 Informações adicionais do projeto *Sustainable Aviation Biofuels for Brazil* estão disponíveis em [http://www.nipeunicamp.org.br/sabb/index.php?option=com\\_content&view=frontpage&Itemid=1](http://www.nipeunicamp.org.br/sabb/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1).

21 Informações obtidas na página da empresa: [www.shell.com](http://www.shell.com).

Codexis (2006), que aposta na produção de novos biocombustíveis e bioprodutos por meio de processos enzimáticos, e com a Virent (2007), com quem a Shell vem desenvolvendo a produção de biogasolina. Em 2007, por meio de uma *joint venture* com a HR Petroleum, fundou a Cellana, com o objetivo de desenvolver a produção de óleo vegetal a partir de algas marinhas.

Contudo, em 2010, a estratégia da empresa mostrou mudanças significativas. Primeiro, com o desligamento da Choren, e depois com a formação de outra *joint venture*, desta vez com a Cosan, empresa líder na produção de etanol convencional no Brasil, dando origem à Raízen. Para completar, em 2011, vendeu sua participação na Cellana para a HR Petroleum<sup>22</sup>. Essa mudança se mostra emblemática nessa fase de indefinição quanto às tecnologias mais eficientes, evidenciando que a produção dos combustíveis convencionais pode ter maior importância do que se imaginava inicialmente para o desenvolvimento dos biocombustíveis avançados (BOMTEMPO, 2012).

As estratégias empresariais mencionadas mostram que a competição de mercado não ocorre somente via preço, mas também por meio de inovações tecnológicas. Em um ambiente que se encontra em constante mudança, a concorrência não deve se basear nos produtos que são ofertados no presente, mas em competências como as descritas por Hamel e Prahalad (1990 apud BOMTEMPO; VIEGAS, 2010). Assim, as competências dinâmicas e organizacionais tornam-se fundamentais para a definição da estrutura da indústria e sustentação de elevados níveis de desempenho. No caso dos biocombustíveis, o resultado que se espera obter de tais competências é, sobretudo, a redução dos custos de produção e o atendimento de exigências mais rigorosas de sustentabilidade ambiental, seja por legislação ou por pressão social, já que existe pouco espaço para diferenciação de produto<sup>23</sup>.

Entre as matérias-primas estudadas, além dos resíduos vegetais e algas, encontram-se espécies vegetais de alta produtividade ou culturas energéticas (em inglês são chamadas de *energy crops*) e resíduos urbanos. Bomtempo (2012) lembra que a evolução das investigações nessa área, como é típico em processos de inovação, tem sido bastante difícil, alternando fracassos e sucessos como resultado dos esforços dos pesquisadores. Essa dificuldade decorre da existência de diversos fatores críticos para a viabilidade econômica de uma matéria-prima,

---

22 “HR BioPetroleum acquires Shell stake in Cellana”. Notícia publicada na página [www.biodieselmagazine.com](http://www.biodieselmagazine.com) em 01/02/2011.

23 Poder-se-ia até defender que a certificação de origem da matéria-prima e dos processos de produção seria uma forma de diferenciar o produto, mas à medida que a legislação dos países consumidores e produtores torna-se mais exigente, esta medida deixa de ser um diferencial.

como disponibilidade, preço, qualidade, custo de logística, atendimento a critérios de sustentabilidade ambiental, e conciliá-los tem sido o maior desafio dos investidores dessa indústria. Desse modo, apesar da possibilidade de serem empregadas diversas matérias-primas, a cana-de-açúcar tem se mostrado uma das mais vantajosas em termos econômicos, e por isso tanta atenção tem sido dada ao Brasil pelas empresas focadas no desenvolvimento de combustíveis avançados.

Além de novos combustíveis, é bastante provável que surjam também novos produtos renováveis. Um exemplo de sucesso é o biopolietileno, lançado pela Braskem em 2010, com base na conversão do etanol em eteno. Posteriormente, a mesma empresa apostou na versão “verde” do polipropileno, segundo plástico mais utilizado no mundo. Ambos têm características idênticas às apresentadas pelos produtos petroquímicos correspondentes e não requerem mudanças expressivas na estrutura produtiva. Na próxima seção, serão apresentados outros produtos que poderão ser explorados pela bioindústria integrada.

### **2.5.2 Biorrefinarias e coprodutos**

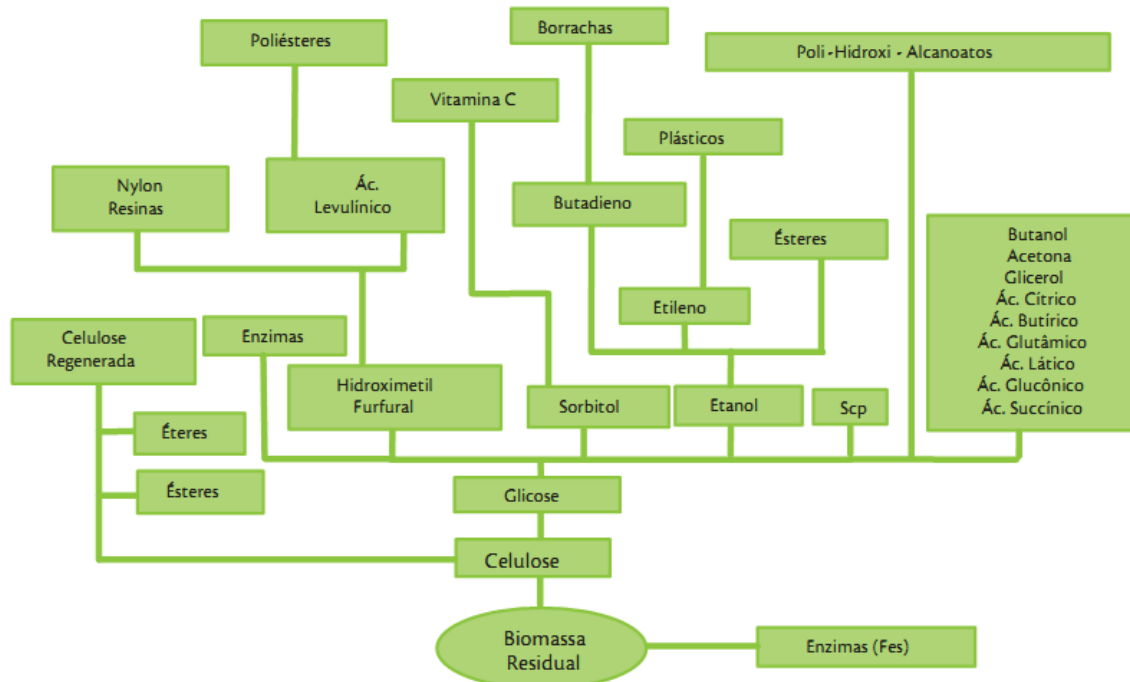
O desenvolvimento da Química Verde tem levado diversos pesquisadores e cientistas a se debruçarem sobre estudos prospectivos envolvendo inovações químicas que potencialmente agregarão mais valor às matérias-primas renováveis. Mais próximo de nosso cotidiano, ações de marketing como o lançamento da *plantbottle*, embalagem plástica que contém 30% de material baseado em fontes renováveis, pela Coca-Cola podem ter enorme potencial de difusão de novos conceitos pela economia (CGEE, 2010). Esse processo contribui para a transformação das indústrias que utilizam a biomassa como matéria-prima, entre elas a sucroalcooleira.

A amplitude de possibilidades de uso para a biomassa levou ao desenvolvimento do que se convencionou chamar de “biorrefinaria”, à imagem de uma refinaria de petróleo. O conceito “contradiz o raciocínio por justaposição de cadeias de produção, o qual pressupõe a separação total de áreas, e busca a construção de sistemas integrados para a produção de compostos químicos, alimentos e energia” (CGEE, 2010, p. 20).





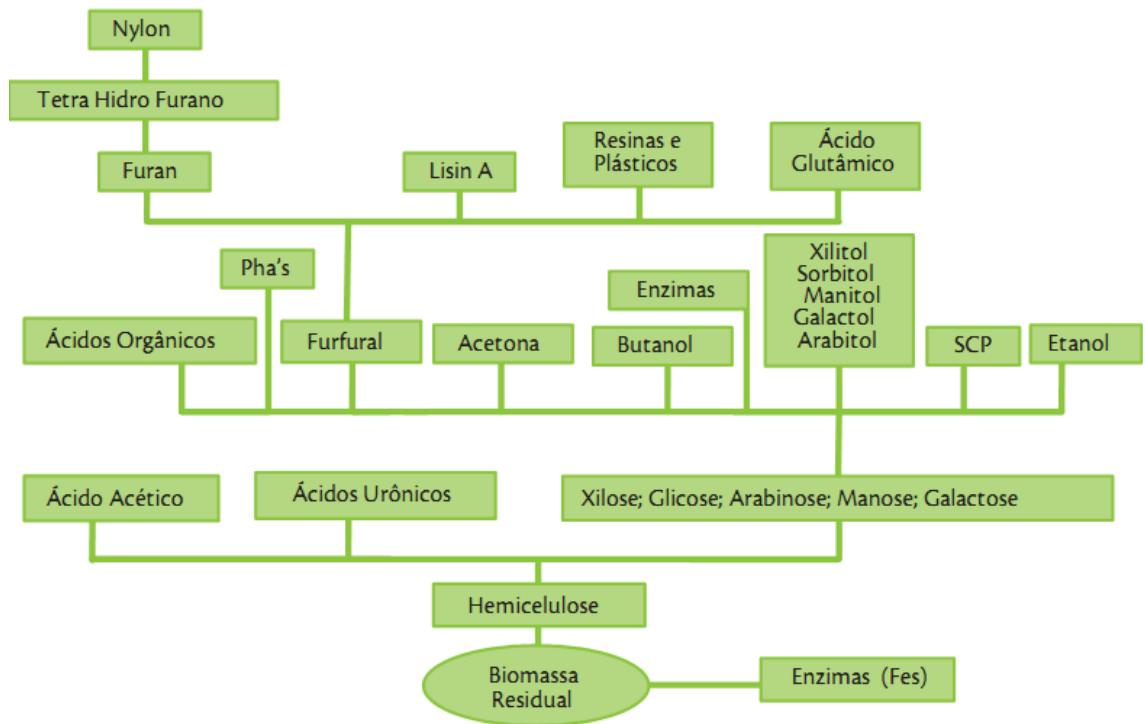
**Figura 4. Biorrefinaria lignocelulósica: produtos da celulose**



Fonte: Pereira Jr. et al, 2008 apud CGEE (2010)

A produção conjunta permite alcançar maiores níveis de eficiência ao explorar economias de escopo, a exemplo dos ganhos de produtividade que as usinas brasileiras apresentaram quando passaram a exportar excedentes de eletricidade para a rede de distribuição. As estratégias de diversificação deixaram de ser uma opção empreendida apenas pelas usinas mais dinâmicas, mostrando-se essenciais para a superação da crise de mercado que a indústria sucroalcooleira vinha enfrentando durante a década de 1990 (SZMRECSÁNYI, 2002 apud IEL; SEBRAE, 2005). Com as perspectivas de expansão da demanda por biocombustíveis, a diversificação produtiva torna-se elemento essencial para a manutenção das vantagens competitivas já alcançadas.

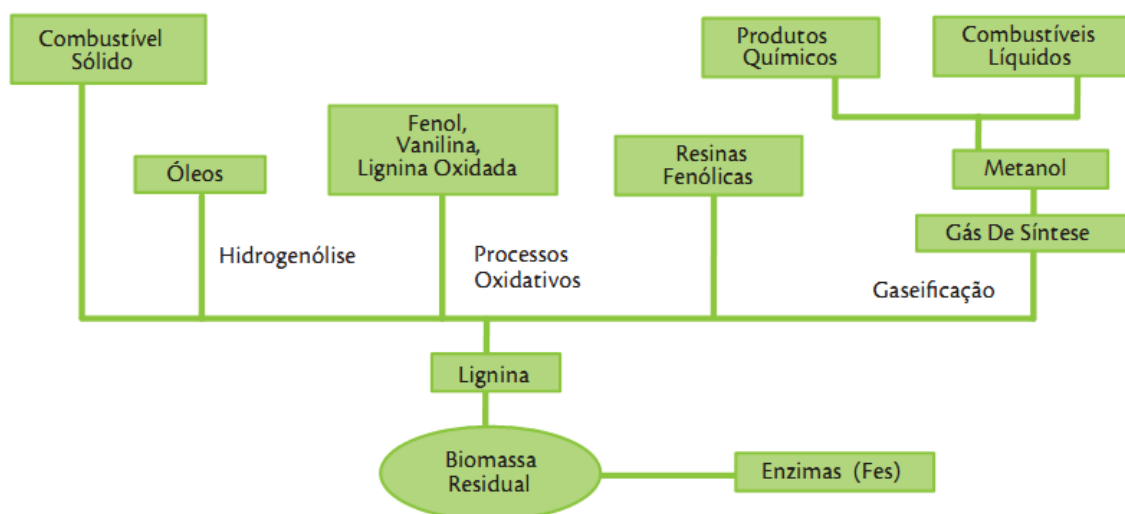
**Figura 5. Biorrefinaria lignocelulósica: produtos da hemicelulose**



Fonte: Pereira Jr. et al., 2008 apud CGEE (2010)

As biorrefinarias deverão incorporar coprodutos dos açúcares, aproveitando a significativa expansão da demanda de produtos da sacarose nos últimos anos. Entre eles, encontram-se adoçantes (frutose, glucose, polióis), ácidos orgânicos (cítrico, glucônico, láctico, ascórbico) que são empregados na indústria alimentar e farmacêutica, aminoácidos (utilizados basicamente para alimentação animal), e compostos como glicerol e sorbitol, utilizados na indústria química e de alimentos (MACEDO, 2007).

**Figura 6. Biorrefinaria lignocelulósica: produtos da lignina**



Fonte: Pereira Jr. et al., 2008 apud CGEE (2010)

Um levantamento realizado pelo SEBRAE identificou diversos potenciais produtos que podem agregar maior valor à cadeia da cana-de-açúcar, destacando inclusive o potencial de produção de fertilizantes e defensivos agrícolas, além de outros cujo uso já é difundido nos setores industrial (tintas, solventes e adesivos) e uso final (fibras têxteis, por exemplo). As famílias de produtos incluem desde os estruturais, como os aglomerados MDF, e alimentos até os fármacos-veterinários, biotecnológicos e químicos (CGEE; BNDES, 2008).

### 2.5.3 Tendências da nova bioindústria

O grande número de projetos impõe incerteza com relação à trajetória que a bioindústria deverá seguir nos próximos anos, ao passo que atrasos nos projetos anunciados tornam impossível a realização de projeções precisas sobre a produção em escala comercial. A AIE considera que uma contribuição significativa dos biocombustíveis avançados, se atingirem a escala comercial, só deverá ocorrer depois de 2020 (AIE, 2011a).

A despeito dessas incertezas, alguns aspectos têm sido mais evidentes. Ao analisar as características dos projetos em andamento para inovação de biocombustíveis e bioprodutos, bem como a própria política de incentivos norte-americana, Bomtempo (2012) identifica um

deslocamento dos objetivos, que antes focavam exclusivamente no etanol celulósico, mas têm se voltado cada vez mais para a produção dos biocombustíveis *drop in*.

Regalbuto (2011) sugere que as medidas adotadas pelos órgãos responsáveis pela execução da política energética nos Estados Unidos visam a atingir independência energética com uma estratégia composta por dois vetores no setor de transportes. No primeiro deles, a energia solar, eólica e nuclear serão importantes para o atendimento da demanda por eletricidade em veículos leves. Já no segundo, a biomassa deverá ser aproveitada de forma mais eficiente para a produção de biohidrocarbonetos, especialmente diesel e querosene de aviação para atender à demanda de veículos pesados. Nesse sentido, os esforços de P&D deverão ser direcionados à produção de biocombustíveis *drop in*. As potenciais tecnologias a serem empregadas na produção destes serão discutidas na próxima seção.

Os biocombustíveis *drop in* apresentam características e desempenho similares aos dos combustíveis convencionais e não requerem alterações em motores nem investimentos na infraestrutura já estabelecida para o armazenamento, distribuição e comercialização. A existência desses ativos complementares favorece a utilização de combustíveis *drop in*, em detrimento de biocombustíveis que enfrentam dificuldades de adaptação como o biodiesel e o etanol. Ademais, a introdução do motor elétrico tende a ocupar parte do mercado potencial para o etanol, mas não o de veículos pesados nem o de aviação. De acordo com Bomtempo, “explorar a cana de açúcar com foco exclusivo no etanol parece ser cada vez mais uma estratégia de afastamento das posições de liderança da bioindústria do futuro” (BOMTEMPO, 2012)<sup>24</sup>.

Considerando ainda as amplas possibilidades de coprodutos a serem explorados, pode-se afirmar que as iniciativas de P&D na bioindústria se afastam da estratégia inicial focada nos biocombustíveis convencionais (etanol e biodiesel) e procuram a diversificação não só de tecnologias, mas também de mercados.

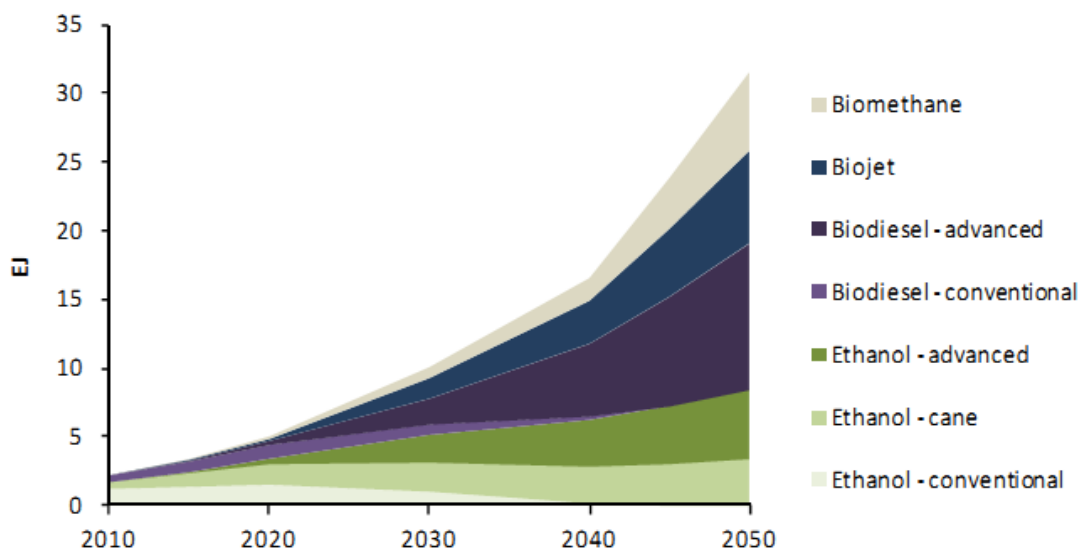
Essa constatação, entretanto, não significa que o etanol deixará de ter relevância. Conforme enfatiza Bomtempo (2012), o recente desaquecimento na produção de etanol é mais uma questão conjuntural, associada à crise financeira internacional, à redução dos investimentos e à quebra de safra, do que reflexo de uma transformação estrutural na indústria sucroalcooleira. O etanol continuará a ser um produto de extrema importância, tanto como combustível quanto como matéria-prima, mas há um espaço enorme a ser preenchido por

---

24 *O futuro dos biocombustíveis XI: 2011 – ano 1 da era pós-etanol?* Publicado em 27/02/2012 na página do Blog Infopetro ([infopetro.wordpress.com](http://infopetro.wordpress.com)).

outros tipos de fonte energética, que requererá esforços expressivos em P&D. Essa tendência é incorporada nas projeções da AIE, como ilustrado no gráfico 4.

**Gráfico 4. Projeção de produção de biocombustíveis 2010 – 2050**



Fonte: AIE (2011a)

O relatório da AIE reconhece que os menores custos de matéria prima em países em desenvolvimento favorecem a produção dos biocombustíveis convencionais em detrimento dos avançados, que exigem mais investimentos em tecnologia. Na visão da agência, assim que atingirem escala comercial, os avançados gradativamente poderão ocupar mercados tradicionalmente atendidos pelos convencionais.

Nesse mesmo sentido, Macedo (2007) sustenta que as possibilidades de incremento da produtividade e redução dos custos podem ocorrer de formas complementares. No curto prazo, é possível difundir amplamente para todo o setor as tecnologias já disponíveis, bem como as melhores práticas agrônômicas, industriais e de gestão. A própria competição interna e os mecanismos de transferência de tecnologia (fabricantes de equipamentos e insumos, institutos de pesquisa e empresas de tecnologia) facilitarão esse processo.

Já no médio prazo, variedades genéticas e mais produtivas da própria cana-de-açúcar também contribuirão para a redução dos custos de produção. A exploração da produção conjunta de diferentes produtos, que já é observada em muitas usinas, deve se difundir ainda mais. Os coprodutos derivados da sacarose e outros derivados do bagaço e da palha tendem a diversificar a produção, porém somente no longo prazo a utilização eficiente da sacarose permitirá a ocorrência de importantes saltos tecnológicos.

Por fim, é interessante notar que esses grandes saltos estão associados a tecnologias que transcendem a indústria sucroalcooleira, uma vez que os processos de conversão envolvem uma diversidade de áreas científicas e poderão ser aplicados a diversos tipos de biomassa. As indústrias de base florestal, como a de papel e celulose, por exemplo, também demonstram interesse em usufruir de benefícios semelhantes aos das biorrefinarias ao explorar economias oriundas da produção conjunta de diversos produtos (KARLSSON, 2007 apud CGEE; BNDES, 2008). Isso indica que a bioindústria do futuro terá fronteiras menos definidas, compartilhando mercados com outros setores.

## 2.6 Conclusões

No presente, a tecnologia de produção de etanol mostra ter atingido sua maturidade, com possibilidade de avanços marginais no segmento industrial. Já a produção de biodiesel ainda enfrenta incertezas, sobretudo quanto à matéria-prima mais eficiente, porém, assim como no caso do etanol, dispõe de fácil acesso aos principais avanços tecnológicos por meio da aquisição de máquinas, equipamentos e insumos específicos. O desenvolvimento de biocombustíveis avançados tende a reduzir o papel desse mecanismo de transmissão de tecnologia, valorizando a criação de conhecimento dentro das empresas produtoras, seja de forma autônoma ou cooperativa.

Mudanças recentes na indústria sucroalcooleira no Brasil refletem o movimento de concentração decorrente do grande número de fusões e aquisições, de integração vertical da cadeia produtiva, além de uma crescente participação do capital estrangeiro por meio de grandes empresas tradicionais na comercialização de *commodities*. Considerando o ambiente de competição internacional, há que se levar em consideração as diversas iniciativas privadas para o desenvolvimento e comercialização de combustíveis renováveis mais eficientes.

Quanto à dinâmica de inovação, observa-se claramente a existência de diversas alternativas que podem atender às necessidades de redução de uso da terra, e conseqüentemente a competição com alimentos, além de maior eficiência energética, contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa. O processo de seleção em um ambiente no qual atuam não somente forças econômicas, mas também fatores políticos e institucionais, deverá fazer com que algumas dessas alternativas sejam abandonadas favorecendo a emergência de outras como design dominante.

A eficiência da bioindústria no futuro dependerá das relações que o setor de biocombustíveis conseguir estabelecer com outros setores que possivelmente dependam da

biomassa como matéria-prima. As indústrias química, de alimentos e de biotecnologia são potenciais parceiras no desenvolvimento de mercados estáveis para bioprodutos.

Apesar de a ampla utilização de matérias-primas renováveis exigir um maior desenvolvimento em química e tecnologia adequado para o processamento de biomassa, mudanças no uso de combustíveis fósseis e matérias-primas renováveis são esperadas na indústria química no futuro. Mesmo que o petróleo permaneça como matéria-prima dominante na indústria química no futuro próximo, devido a sua versatilidade e existência de ativos complementares, fontes alternativas deverão ser usadas na criação de novas capacidades, principalmente se os preços do petróleo apresentarem uma trajetória ascendente.

De todo modo, a análise sugerida por autores como Geels (2004, 2010) e Nelson (2008) mostra que a configuração do sistema sociotécnico que permitirá o funcionamento das biorrefinarias integradas, explorando o potencial de subprodutos em mercados não energéticos, será um processo de longo prazo.

O próximo capítulo é dedicado à forma como têm coevoluído a dinâmica industrial da bioindústria emergente, as políticas e a regulação dos biocombustíveis, usando a experiência brasileira e norte-americana como exemplos. Pretende-se chamar atenção para a importância da adaptação de normas e regras estabelecidas pela regulação de setores caracterizados por elevado grau de inovação tecnológica e sujeitos a constantes mudanças nas políticas públicas direcionadas.

## **CAPÍTULO 3: ADAPTAÇÃO REGULATÓRIA NOS ESTADOS UNIDOS E NO BRASIL**

Como foi exposto no primeiro capítulo, a trajetória de uma indústria é influenciada, por transformações de natureza política e tecnológica, entre outros elementos. A dinâmica de inovação e a forma como a estrutura industrial está organizada resultam das estratégias empresariais que incorporam diferentes percepções de oportunidades no ambiente de competição e diferentes respostas a políticas setoriais. Desse contexto, surge a necessidade de adaptação das instituições que dão sustentação às tecnologias físicas.

A produção de biocombustíveis, em termos mundiais, é fortemente influenciada por decisões políticas, seja por estar associada a questões de segurança energética, seja por ser considerada parte da solução para questões ambientais no setor de transportes. Desse modo, mesmo que a dinâmica tecnológica e de inovação em biocombustíveis por si só mostre que há uma diversidade de oportunidades a serem exploradas, não é possível avaliá-la sem considerar a dimensão política.

Este capítulo buscará explorar de que modo a regulação no setor tem evoluído com esses elementos em transformação em dois casos: o primeiro nos Estados Unidos e o segundo no Brasil. Trata-se dos dois mercados de maior relevância em nível mundial, como foi observado no capítulo anterior, e as experiências nestes dois países trazem importantes lições que ilustram a importância da adaptação regulatória para a difusão de novas tecnologias.

### **3.1 O caso norte-americano**

#### **3.1.1 A regulação dos biocombustíveis nos Estados Unidos**

O ponto de partida para compreensão da regulação de biocombustíveis nos Estados Unidos se encontra no *Clean Air Act* (CAA). Sob o CAA, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) é a única entidade nos Estados Unidos com autoridade para regular a comercialização de novos combustíveis e aditivos. Especificamente, o CAA requer que novos combustíveis sejam “substancialmente similares” aos já usados em processos de certificação para sistemas de controles de emissões de motores e é a EPA que fornece as especificações detalhadas que os combustíveis finais devem cumprir para serem considerados como tal. Caso um determinado combustível ou mistura não cumpram as especificações, é necessário que a EPA



retire a proibição dirigida a combustíveis ou aditivos não especificados<sup>25</sup> para que eles possam ser comercializados legalmente. Para aumentar progressivamente o percentual de etanol na gasolina para 15%, por exemplo, os produtores precisaram recorrer a esse mecanismo.

Já o programa *Renewable Fuel Standard* (RFS), criado no âmbito da Lei de Política de Energia (*Energy Policy Act*) de 2005 para estabelecer mandatos de volume para combustíveis renováveis, é o segundo ponto relevante para que se compreenda a regulação de biocombustíveis nos Estados Unidos.

A versão original do programa, RFS1, determinou que 7,5 bilhões de galões de combustíveis renováveis fossem misturados à gasolina até 2012. Posteriormente, em 2007, por meio da Lei de Independência e Segurança Energética (EISA), o programa se expandiu, passando a incluir também óleo diesel. Também aumentou a meta de volume de combustíveis renováveis, que deveria passar de 9 bilhões, em 2008, para 36 bilhões de galões até 2022, e estabeleceu categorias de combustíveis renováveis, bem como metas específicas para cada uma delas.

A EPA é o órgão responsável por desenvolver e implementar regulamentações que garantam que os combustíveis de transporte vendidos naquele país tenham uma porcentagem mínima de combustível renovável. É ela também que define os limites de desempenho que separam as categorias de combustíveis renováveis, levando em consideração as emissões durante todo o ciclo de vida em comparação ao combustível fóssil substituído.

A avaliação das emissões de GEE durante o ciclo de vida é necessária para definição dos limites que dividem as quatro categorias de combustíveis renováveis. A classificação é feita de acordo com três critérios: i) tipo de combustível, ii) matéria-prima utilizada, e iii) processo de produção.

Cada combinação específica desses três critérios corresponde a uma rota de combustível (*fuel pathway*), que estabelece pré-requisitos a serem cumpridos por qualquer produtor interessado em se beneficiar dos incentivos do RFS2 àquela categoria. Essas rotas recebem um código RIN (*Renewable Identification Number*) designando a categoria para a qual ele é elegível. O RIN é o mecanismo por meio do qual os agentes cumprem as metas de volumes estabelecidos pelo programa. O RFS2 exige que os produtores de combustíveis

---

<sup>25</sup> A fim de proteger os sistemas de controle de emissões dos veículos e motores, o CAA, na realidade, *proíbe* a comercialização de combustíveis ou aditivos que não sejam “substancialmente semelhantes” aos combustíveis ou aditivos utilizados em veículos e motores no processo de certificação dos padrões de emissões. No entanto, o CAA autoriza EPA a retirar esta proibição (i.e. conceder um *waiver*) se for demonstrado que os veículos e motores que utilizem o novo combustível ou aditivo continuarão a cumprir as normas de emissões durante sua “vida útil total” (por exemplo, 200.000 km para os veículos leves, dependendo do tipo de veículo e ano do modelo) (EPA, 2012).

renováveis atribuem RINs específicos a cada lote produzido, sendo que estes devem indicar o volume de combustível renovável que será atendido.

Quando as partes obrigadas<sup>26</sup> adquirem esse combustível do produtor para comercialização, reportam o RIN correspondente à EPA para demonstrar que estão sendo cumpridas as determinações de volume. Associado aos RINs, há outro mecanismo que permite aos agentes cumprir as metas estabelecidas: os valores de equivalência, atribuídos de acordo com seu conteúdo energético. Atualmente, esses valores têm como referência o conteúdo energético do bioetanol, com valor-base igual à unidade.

**Tabela 2 - Valores de Conversão do RFS2**

Bioetanol	1,0
Biobutanol	1,3
Biodiesel	1,5
Diesel Renovável (não-éster)	1,7

Fonte: EPA (2010a, p. 14709)

Esse mecanismo permite que os agente negociem RINs a fim de cumprir o mandato, por meio de um sistema de transações moderado pela EPA. Se uma das partes obrigadas adquire mais RINs do que o volume requerido para um determinado ano, ela pode vender a quantidade excedente para outra parte que não adquiriu RINs suficientes. Trata-se assim de um sistema similar ao “*cap-and-trade*”, em que o governo estipula metas a serem cumpridas, e as partes envolvidas comercializam os RINs, como se estes fossem uma commodity, respeitando os valores de conversão e as diferentes categorias. O sistema inclusive incentiva agentes não sujeitos às metas (um usuário final, por exemplo) a adquirirem combustíveis renováveis, uma vez que os RINs podem ser comercializados e reduzir o custo dos combustíveis<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> Produtores e importadores de gasolina e diesel fósseis, que submetem os volumes a serem cumpridos ao final do ano com base no volume produzido no período. Esses volumes deverão ser atualizados e reportados anualmente a fim de demonstrar conformidade com o programa (EPA, 2010).

<sup>27</sup> Para compreender o funcionamento do mercado de RINs sob o RFS2, ver Schnepf e Yacobucci (2012).





A partir da promulgação da EISA, foi requerido que os combustíveis produzidos em novas instalações, construídas a partir de dezembro de 2007, reduzissem em 20%, no mínimo, as emissões de GEE durante todo seu ciclo de vida, em relação a uma linha de base referente às emissões oriundas do consumo de gasolina ou diesel fósseis em 2005. Essa determinação é a base do esquema de incentivos provido pelo RFS2.

Os incentivos do programa estão atrelados às categorias de combustíveis renováveis, conforme mostra a figura 7. A categoria mais abrangente corresponde a “combustíveis renováveis”. Um combustível renovável, sob o RFS2, é um “combustível produzido a partir de biomassa renovável, (...) que é usada para substituir ou reduzir a quantidade de combustível fóssil presente em um combustível de transporte, óleo de aquecimento ou combustível de aviação (...) e apresenta emissões de GEE 20% inferiores às da linha de base, considerando todo seu ciclo de vida”<sup>28</sup>.

### **Figura 7 – Categorias de Combustíveis Renováveis sob o RFS2 e redução associada de emissões de GEE**

Fonte: EPA (2010)

Há ainda três subcategorias. A primeira corresponde aos “biocombustíveis avançados”, que são combustíveis renováveis, baseados em biomassa diferente de amido de milho e cujas emissões de GEE durante todo o ciclo de vida são 50% inferiores às da linha de base. Eles correspondem à subcategoria mais ampla. O etanol de cana-de-açúcar, por exemplo, é elegível a esta categoria<sup>29</sup> (EPA, 2010a).

---

<sup>28</sup> Há uma especificação bastante detalhada referente à “biomassa renovável”, sobretudo com relação às terras utilizadas para seu cultivo, com o objetivo de garantir que o programa não incentive o desmatamento. Ver EPA (2010a, p. 14681) para a completa definição do conceito e requisitos necessários.

<sup>29</sup> “Based on our current analysis of available pathways for producing advanced biofuel, we believe that it will be necessary to include over 2 billion gallons of sugarcane ethanol in order to meet the advanced biofuel volumes anticipated by EISA. If sugarcane ethanol was not an eligible source of advanced biofuel and other unanticipated sources did not become available, the standard for advanced biofuel would have to be lower to the

O programa reconhece que a subcategoria “diesel baseado em biomassa”, que inclui tanto biodiesel de óleos vegetais, gorduras animais e óleos residuais, como diesel renovável não-éster, atende ao requisito de redução de 50%, ao passo que os “biocombustíveis celulósicos” devem reduzir tais emissões em 60%.

Slating e Kesan (2011) ilustraram a necessidade de adaptação dessa estrutura de incentivos a fim de promover a inovação, apresentando um estudo de caso com foco no uso do biobutanol como alternativa aos combustíveis fósseis nos Estados Unidos. As próximas seções se baseiam no trabalho realizado por esses autores, bem como em informações auxiliares coletadas a partir da página da EPA e em outros estudos independentes.

### 3.1.2 O biobutanol<sup>30</sup>

Biobutanol é o nome genérico que se dá a diferentes formas de butanol que pode derivar de processos biológicos de produção, utilizando biomassa como matéria-prima. Historicamente, produziu-se butanol por meio do método ABE (Acetona-Butanol-Etanol) que utiliza uma linhagem específica de bactéria como biocatalisador no processo de fermentação do amido, produzindo butanol, acetona e etanol na proporção 6:3:1 (por peso), respectivamente.

O processo chegou a ser empregado comercialmente na primeira metade do século passado devido ao interesse em relação à acetona para produção de pólvora, servindo aos propósitos da Primeira Guerra Mundial. O interesse da indústria química no butanol fez com que o processo continuasse tendo importância até a década de 1950, quando os processos de produção baseados em petróleo se tornaram economicamente mais atrativos.

Recentemente, revigorou-se o interesse no processo ABE devido à possibilidade de utilizar o biobutanol como substituto de combustíveis fósseis. O primeiro grande avanço nas pesquisas para produção de biobutanol foi conquistado por James Liao, pesquisador da Universidade da Califórnia, Los Angeles (UCLA) que modificou a bactéria *E. coli* e conseguiu produzir biocombustível em proporções “muito superiores às de qualquer

---

extent necessary to compensate for the lack of eligible sugarcane ethanol. The lower amount of advanced biofuel would then most likely be replaced with petroleum-based gasoline. The replacement fuel would have a worse GHG performance than the sugarcane ethanol. Therefore, GHG performance of the transportation fuel pool would suffer” (EPA, 2010a, p. 14790).

30 O histórico apresentado nesta seção é baseado em Slating e Kesan (2011), exceto quando explicitada outra fonte.

organismo natural”. O pesquisador é co-fundador da Gevo, uma empresa de destaque no mercado de biocombustíveis avançados e bioprodutos químicos.

Como o bioetanol, o biobutanol pode ser um aditivo à gasolina derivada de petróleo e assim reduzir as emissões associadas de GEE, com a vantagem de ter maior conteúdo energético, que varia de 83% a 96% daquele verificado na gasolina, ao passo que o etanol contém cerca de 70%. Desse modo, apesar de o custo de produção do biobutanol ser superior ao do custo do bioetanol, essa diferença poderia ser compensada por seu conteúdo energético e capacidade de redução de emissões de GEE.

A tecnologia desenvolvida pela GEVO pode ser aplicada às plantas industriais produtoras de etanol já existentes com pequenas modificações<sup>31</sup>, uma vez que ele pode ser produzido a partir dos mesmos tipos de biomassa usada na produção de biocombustíveis convencionais. Tem-se assim a vantagem de custo de investimento em capital fixo reduzido, favorecendo sua aplicação comercial no curto prazo.

Uma terceira vantagem (para que seja consumido nos Estados Unidos) estaria associada ao fato de o butanol apresentar maior compatibilidade com a infraestrutura de distribuição e comercialização, inclusive motores a gasolina, o que evitaria custos de adaptação aos ativos complementares, quando comparado ao etanol. A adoção de misturas como o E-85 oferece alguns desafios para o contexto norte-americano que a utilização de butanol pode evitar (EPA, 2010b).

Além disso, o butanol é muito menos solúvel em água, permitindo que ele seja misturado na refinaria, de modo que a mistura gasolina-butanol então resultante seja mais facilmente transportada por meio de dutos. Isto reduziria os custos de distribuição associados à necessidade de o etanol ter de ser enviado separadamente da gasolina e também economizaria os custos incorridos com a mistura no terminal de distribuição (EPA, 2010b).

Segundo a GEVO, o biobutanol ainda pode ser processado por meio de processos químicos bem conhecidos para a produção de combustível de aviação e matérias-primas para a produção de borracha sintética, plásticos e polímeros e, futuramente, vislumbra-se também a produção de biobutanol celulósico, cuja viabilidade econômica depende do desenvolvimento de métodos mais eficientes para converter material lignocelulósico em açúcares fermentáveis.

Com uma estratégia de comercialização muito similar à da GEVO, a Butamax, uma *joint venture* entre a DuPont e a BP, também demonstrou ter progredido no desenvolvimento de biocatalisadores que produzem apenas biobutanol. Atualmente, há uma disputa inclusive na

31 De acordo com informações da Butamax, é necessário adequar o tanque de fermentação para o novo biocatalisador e modificar o equipamento de destilação.

Agência de Patentes de Marcas Registradas dos EUA, onde as duas empresas são processadas reciprocamente por violação de patente<sup>32</sup>.

Essa disputa é reflexo do interesse que GEVO e Butamax têm na comercialização do biobutanol como combustível renovável no âmbito do RFS2, dado que o programa cria um mercado cativo para combustíveis capazes de reduzir as emissões de GEE em 20% comparado à gasolina. Contudo, com os avanços nas pesquisas científicas que visam a aumentar o rendimento de biobutanol e a utilizar material lignocelulósico, há nichos maiores a serem explorados pelas categorias que exigem maior redução das emissões.

### **3.1.3 Oportunidades e entraves para o biobutanol sob o RFS2**

As definições detalhadas do RFS2 estruturam um esquema de incentivo à inovação tecnológica na produção de biocombustíveis. Com a promulgação do EISA, a cada categoria também foi estipulado um volume de produção obrigatório que deve ser atingido até 2022.

No total, 36 bilhões de galões (o equivalente a cerca de 136 bilhões de litros) de combustíveis renováveis deverão fazer parte da matriz de combustíveis líquidos dos Estados Unidos até 2022. Esse volume deverá ser atingido progressivamente, e a EPA estabeleceu volumes mínimos para serem atingidos em cada categoria anualmente. Desses 36 bilhões de galões, pelo menos 21 bilhões deverão ser “biocombustíveis avançados”, dos quais pelo menos 16 bilhões deverão ser produzidos a partir de material lignocelulósico. Com isso, a ampla categoria de “combustíveis renováveis” encontra um limite máximo de 15 bilhões de galões como reserva de mercado a partir de 2015.

---

32 O histórico dessa disputa está disponível em: [http://www.gevo.com/wp-content/uploads/2012/04/chronological\\_timeline.pdf](http://www.gevo.com/wp-content/uploads/2012/04/chronological_timeline.pdf).



### **Gráfico 5 – Volume Mínimo Requerido de Combustíveis Renováveis por Categoria (bilhões de litros) – RFS2**

Fonte: EPA (2010)

A EPA concluiu que biobutanol produzido em conformidade com os requisitos desta rota resulta em redução de aproximadamente 30% das emissões de GEE durante todo ciclo de vida em comparação com a linha de base. Este é um valor médio dentro do intervalo de confiança que varia de 20% a 40%, considerando as incertezas relativas às emissões indiretas decorrentes de mudanças no uso da terra.

Atualmente existe apenas uma rota de produção de biobutanol autorizada no âmbito do RFS2, cuja matéria-prima é o amido de milho. O produto resultante do processo já registrado é elegível apenas à categoria de “combustível renovável”, o que representa o principal entrave para que sua ampla comercialização seja efetivada. Enquanto o biobutanol for classificado como "combustível renovável" não haverá incentivo para que os produtores de etanol realizem os investimentos necessários em suas plantas industriais, pois as metas da categoria, que atingem o teto de 15 bilhões de galões em 2015 (gráfico 5), podem facilmente ser cumpridas com o etanol convencional de milho, considerando-se a capacidade instalada da indústria. As oportunidades de acesso a outros mercados cativos, como o de biocombustíveis avançados ou celulósicos, dependem da qualificação das tecnologias disponíveis.

Por outro lado, os mercados cativos para biocombustíveis avançados e celulósicos estão longe da saturação e, caso novas rotas para a produção de biobutanol sejam aprovadas, a abertura desses mercados pode criar incentivos para os produtores investirem na adaptação (*retrofit*) das plantas industriais, amortizando o investimento em capital fixo já realizado nas usinas de etanol de milho.

Ao passarem por esse processo de readaptação, as usinas mais modernas e eficientes possivelmente conseguiriam comprovar que o biobutanol é capaz de reduzir em 50% as emissões de GEE, satisfazendo assim a principal condição para ser considerado um biocombustível avançado. As mais antigas, por sua vez, teriam de contar também com tecnologias mais avançadas, como o fracionamento e extração do óleo de milho, hidrólise do bagaço ou separação de membranas. Há também pesquisas voltadas à modificação genética do milho visando a aumentar a eficiência do processo de fermentação do álcool. Se o

desenvolvimento dessas variedades for bem-sucedido, elas poderão contribuir para uma redução ainda maior de emissões de GEE.

Ainda segundo Slating e Kesan, a dificuldade em fazer com que o biobutanol seja considerado um biocombustível avançado, mesmo que haja evidência de que ele efetivamente reduz em 50% as emissões de GEE, pode ser maior se prevalecer o desprezo em relação a quaisquer biocombustíveis produzidos a partir de milho que prevalece nas decisões do Congresso norte-americano.

O principal argumento destes autores é que a estrutura regulatória provida pelo CAA para novos combustíveis e aditivos de combustíveis, ao determinar efetivamente o volume de biocombustíveis que pode ser misturado em combustíveis finais abaixo do nível “socialmente ótimo”, reduz a capacidade de capturar os benefícios sociais produzidos por novos biocombustíveis relacionados a inovações tecnológicas.

Desse modo, busca-se identificar as maneiras pelas quais seria possível aumentar a participação do biobutanol no RFS2. A primeira delas recorre à regra do “substancialmente similar” imposta pelo CAA, que determina que “combustíveis contendo éteres e/ou alcoóis (exceto metanol) alifáticos não devem conter mais do que 2,7% de oxigênio em peso”<sup>33</sup>. Isso implicaria um limite de 11,5% para a mistura de biobutanol na gasolina, em volume, que seria um combustível substancialmente similar à gasolina pura<sup>34</sup>.

Há, porém, organizações e pesquisadores que defendem que o biobutanol poderia ser usado nos veículos atuais em concentrações mais elevadas, inclusive na forma pura, com pequenas ou nenhuma modificação<sup>35</sup>. Isso seria possível se a EPA aumentasse o limite de oxigênio permitido no combustível, como ocorreu em 2008, quando passou de 2% para 2,7%, porém não há garantias de que venha a ocorrer novamente.

Devido às incertezas quanto às emissões e compatibilidade de materiais, a EPA tem optado por induzir os requerentes de combustíveis com teor mais elevado de oxigênio ao processo de retirada da proibição (*fuel waiver*). Portanto, ao atingir o limite de 11,5% de biobutanol na mistura com a gasolina, os produtores podem recorrer ao *fuel waiver* para aumentar esse percentual, porém sem garantias de que a proposta será aceita.

O requerente do novo combustível pode fazer uso de um *waiver* já existente ou realizar um novo pedido. Até 2011, a EPA processou 25 pedidos de *fuel waiver*, dos quais

---

33 2008 *Substantially Similar Rule* (<http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2008/April/Day-25/a8944.pdf>).

34 [http://www.afdc.energy.gov/afdc/fuels/emerging\\_biobutanol\\_what\\_is.html](http://www.afdc.energy.gov/afdc/fuels/emerging_biobutanol_what_is.html).

35 Ver <http://www.butanol.com/index.html>.

onze foram negados, seis foram concedidos, cinco foram concedidos com restrições, dois foram retirados pelos requerentes, enquanto um foi concedido sem decisão por força da lei (SLATING; KESAN, 2011).

Para o caso em análise, há dois *waivers* que possivelmente permitiriam a mistura de até 16% de butanol. O primeiro deles é de 1985 e foi requerido pela DuPont para comercialização de uma mistura de gasolina e metanol, sendo proporção máxima deste de 5% do volume no combustível final. A adição do butanol à mistura é permitida na medida em que este funciona como um cossolvente<sup>36</sup>, substância requerida na proporção mínima de 2,5% do volume, e a concentração de oxigênio no combustível final deve ser de no máximo 3,7%. Como a autorização impõe apenas um limite máximo para o metanol, o combustível final, em tese, pode ser uma mistura de gasolina e butanol.

O segundo *waiver*, solicitado em 1988 pela *Texas Methanol Corporation* (Octamix), basicamente apresenta as mesmas condições para o uso do butanol como cossolvente em um combustível final formado por gasolina e metanol. Como os pareceres informam apenas o volume mínimo requerido de cossolvente, o que efetivamente limita a porcentagem de butanol em 16% é a concentração de oxigênio no combustível final<sup>37</sup>.

Apesar de esses dois *waivers* abrirem a possibilidade de comercialização do Bu16, combustível composto por 84% de gasolina e 16% de butanol, o registro na EPA e autorização para comercialização não é garantido. Em primeiro lugar, porque em ambos os casos, faz-se referência ao butanol como um cossolvente, que tem a finalidade de amenizar alguns efeitos adversos provenientes do metanol presente na mistura. A EPA, nesse caso, pode argumentar que alguma quantidade de metanol é necessária para que seja adicionado o cossolvente. Segundo, apesar de os *waivers* concedidos serem aplicáveis a todos os produtores sem que a EPA possa revogá-los posteriormente, até o presente nenhum produtor de aditivos tentou registrar um novo biocombustível com base em um *waiver* já concedido, o que torna incerto o modo como responderá a agência à nova demanda.

A terceira opção para a comercialização do biobutanol exige um novo *waiver* e o processo para sua obtenção é mais difícil do que os anteriormente mencionados. Essa opção,

---

<sup>36</sup> Poderiam ser adicionados outros alcoóis, como etanol e propanol.

<sup>37</sup> Este *waiver* foi recentemente modificado pela EPA, que permitiu o uso de um inibidor de corrosão alternativo para a mistura de gasolina e álcool comercializada pela empresa, mediante testes e comentários externos, afirmando que “essa ação deve proporcionar flexibilidade adicional à comunidade regulada” (<http://www.epa.gov/otaq/fuels/registrationfuels/documents/420f12026.pdf>).

apesar de ser mais custosa, permitiria que o butanol fosse comercializado em proporção superior a 16%, na mistura com a gasolina fóssil.

A EPA tem autoridade para conceder ou negar o pedido de retirada da proibição e exige que o requerente apresente testes capazes de comprovar que o *waiver* não causará nem contribuirá para a ocorrência de falhas de nenhum sistema ou equipamento de controle de emissões. O requerente deve assumir responsabilidade pelo novo combustível, declarando que nenhum veículo ou máquina deixará de atender aos padrões de emissões para os quais foram certificados.

Quando a EPA analisa um novo pedido de retirada de proibição, ela realiza uma análise de impacto das emissões, que leva em consideração alguns critérios. É necessário fornecer dados que demonstrem efeitos imediatos e de longo prazo sobre as emissões de escapamento e evaporativas e compatibilidade com o material dos veículos e motores, além dos efeitos sobre a dirigibilidade e operabilidade destes. Além disso, todo requerimento para novo *waiver* passou a estar sujeito a consulta pública, com a entrada em vigor do EISA. Somado ao fato de que a EPA tem 270 dias para emitir uma decisão após o recebimento da solicitação, Slating e Kesan defendem que esse processo acaba por desestimular os requerentes de um novo *waiver*. A incerteza com relação à possibilidade ou não de um novo produto ter autorização para comercialização reduz de forma significativa os incentivos à inovação nesse setor.

Desse modo, por meio de uma detalhada descrição do processo para autorização de combustíveis finais com maior percentual de biobutanol, Slating e Kesan argumentam que a introdução de um novo biocombustível no mercado é um processo extremamente custoso que, ao criar obstáculos à inovação, pode tornar injustificável a regulação de combustíveis e aditivos nos Estados Unidos.

O contraponto a este argumento reside justamente na necessidade de haver um órgão que zele pela qualidade dos novos produtos introduzidos no mercado. Com efeito, a existência de processos que exigem testes e que devem se sujeitar à opinião de um público externo durante determinado período pode atrasar alguns projetos de inovação, porém são a garantia de que novos biocombustíveis atendam às especificações de emissões e compatibilidade com motores existentes. Adicionalmente, o processo de formulação de regras no âmbito regulatório é tão mais transparente quanto maior a participação dos agentes por ela afetados.

Nesse sentido, o fato de ser exigido um período de consulta pública para os pedidos de novos *waivers* não deve simplesmente ser interpretado como um entrave à inovação, mas

como um importante mecanismo que visa a atribuir maior transparência à atuação da agência reguladora.

Além disso, o artigo de Slating e Kesan não enfatiza que os *waivers* existentes dizem respeito ao butanol, e não ao biobutanol, apesar de este também ser elegível, considerando que ambos apresentam as mesmas propriedades físico-químicas. É importante que se considere que os mecanismos regulatórios que regem a comercialização de novos combustíveis, quando elaborados, não tinham por objetivo fomentar a produção de combustíveis renováveis. De fato, esta é uma alternativa para os que têm intenção de explorar mercados mais amplos para o biobutanol “convencional” (com potencial de redução de 30% nas emissões de GEE). Versões “mais eficientes” do biobutanol podem encontrar significativos incentivos no RFS2. A próxima seção mostra que o caminho para registro de novas rotas de produção de combustíveis renováveis pode ser diferente sob as regras do novo programa.

### **3.1.4 Aprovação de novas rotas de produção sob o RFS2**

Sob o RFS2, combustíveis renováveis encontram uma alternativa mais apropriada de requerer o registro de uma nova rota de produção, uma vez que ele busca ser efetivamente um programa de incentivo aos biocombustíveis, reconhecendo que nem todas as rotas potenciais foram inicialmente mapeadas e classificadas conforme seu potencial de redução de emissões de GEE. Ao receber o requerimento para registro da nova rota de produção, antes de seguir com a avaliação das emissões de GEE durante todo o ciclo de vida do combustível, a EPA se certifica que as matérias-primas e o combustível renovável atendem aos requisitos do programa, verifica se a rota de produção se adapta a algum processo produtivo já aprovado, e, caso negativo, procede com uma avaliação de emissões de GEE para determinar a qual categoria o combustível é elegível.

Se a rota é significativamente diferente das rotas já aprovadas, então uma completa avaliação das emissões durante todo ciclo de vida é necessária. Normalmente, esse é o caso quando a rota inclui novas matérias-primas, o que requer modelagem para a produção agrícola e processamento da matéria-prima, e o processo de aprovação fica sujeito a consulta pública e comentários de terceiros. Quando a solicitação não requer uma nova modelagem, pois já existem rotas aprovadas que utilizam a mesma matéria-prima, a EPA pode emitir uma decisão sem necessidade de se realizar consulta pública (EPA, 2012).

O texto final do RFS2 afirma que “as avaliações das emissões de GEE durante todo o ciclo de vida refletidas no documento representam significativos avanços das análises baseadas em informações e dados recebidos desde sua proposta”, porém reconhece que se trata de uma disciplina em evolução e deve continuar sendo revista nas análises futuras da EPA, à medida que novas informações se tornem disponíveis (EPA, 2010a, p. 14765). Nesse sentido, a agência enfatiza a existência do mecanismo de petição para avaliação de novas rotas, colocado à disposição dos agentes interessados para certificação das mesmas quanto às categorias do programa. A EPA esclarece que, ao receber petições para incluir novas rotas de produção no programa, prioriza os casos que demonstram maior viabilidade comercial.

As deliberações mais recentes da agência também demonstram que existe cuidado em adaptar as normas e regras que regulam a produção de combustíveis renováveis nos Estados Unidos. Um ano após a entrada em vigor do RFS2, a EPA divulgou documentos que atualizam as regras do RFS2, por exemplo, incluindo rotas adicionais e esclarecendo que a definição de diesel renovável inclui combustível para aviação. A EPA acredita que, ao qualificar essas novas rotas, o programa oferece mais oportunidades para o aumento da produção de combustíveis renováveis avançados, além de oferecer maior confiabilidade e oportunidade de mercado para os produtores de diesel renovável (EPA, 2011).

Contudo, como já mencionado, sob a classificação do RFS2, o biobutanol encontra obstáculos técnicos para comprovar seu potencial de redução de emissões de GEE, que não é tão alto quando a matéria-prima utilizada é o milho. Seu sucesso comercial, portanto, encontra-se atrelado à viabilidade das tecnologias capazes de transformar materiais lignocelulósicos em açúcares, quando ele poderá se beneficiar de reservas de mercado para combustíveis renováveis mais eficientes.

### **3.1.5 Considerações sobre o caso norte-americano**

Em resumo, os incentivos oferecidos pelo esquema regulatório norte-americano ao biobutanol estão fortemente condicionados ao desempenho da tecnologia de produção empregada. Caso os produtores demonstrem que a rota de produção durante todo o ciclo de vida é capaz de reduzir em 50% as emissões de GEE, eles têm direito de usufruir a parcela de mercado reservada para essa categoria de combustível renovável. No estágio em que se

encontra a tecnologia, é possível que as melhores oportunidades de negócio estejam atreladas à exploração do biobutanol como uma plataforma para produção de outros produtos, como químicos e plásticos, e não como combustível.

Por outro lado, os esforços que Slatting e Kesan (2011) dedicam para nos convencer da necessidade de “inovação regulatória” na estrutura da EPA para incentivar a produção de biobutanol nas usinas de etanol existentes podem fazer sentido quando retornamos à análise de Regalbuto (2011). Apesar de o biobutanol não poder ser considerado efetivamente um biocombustível *drop-in*, a menor necessidade de adaptação dos ativos complementares nos Estados Unidos imposta por seu consumo e o maior interesse dos programas de financiamento em biocombustíveis de maior conteúdo energético favoreceriam a comercialização do biobutanol, quando comparado ao etanol.

### **3.2 O caso brasileiro**

A fim de ilustrar a importância da rápida resposta da regulação às mudanças trazidas pela dinâmica tecnológica em biocombustíveis no Brasil, usaremos como estudo de caso a tentativa de comercialização de um novo biocombustível. Mais especificamente, optou-se pelo diesel de cana, desenvolvido recentemente pela empresa norte-americana de biotecnologia Amyris, pelo fato de que ele dá seus primeiros passos na fase comercial e já vem sendo utilizado nas frotas de ônibus em duas capitais.

A seguir, são discutidas questões relativas às políticas energética, ambiental e industrial que estão diretamente associadas à produção e ao consumo de biocombustíveis no Brasil. Cabe ressaltar que o objetivo não é alcançar uma análise minuciosa de cada uma delas, mas sim mostrar a complexidade da questão regulatória, compondo o cenário em que esta se insere, uma vez que a proposta desta dissertação é justamente destacar a importância da coordenação e adaptação da regulação com outros elementos sistêmicos no processo da evolução industrial.

#### **3.2.1 A Regulação dos biocombustíveis no Brasil**

No presente, o órgão responsável pela regulação da produção, distribuição e comercialização de biocombustíveis no Brasil é a Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP), uma autarquia especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia



(MME), que tem como finalidade a implementação de políticas energéticas. É importante enfatizar que a atribuição dessas responsabilidades é bastante recente: o marco regulatório para o biodiesel foi criado com a Lei Nº 11.097/2005, ao passo que o etanol só deixou de ser produto agrícola e passou a ser produto energético com a publicação da Medida Provisória 532 em Abril de 2011, representando um desafio à autarquia, que foi criada para regular o mercado de petróleo e gás natural. A introdução de um mercado que depende da produção agrícola, dispersa entre um número elevado de agentes privados, aumenta ainda mais a necessidade de coordenação da regulação com as políticas públicas setoriais.

A Agência estabelece diretrizes para sua atuação com base na legislação vigente e em iniciativas governamentais como as medidas provisórias. Entre os objetivos explícitos delineados pelas Ações Prioritárias da agência para o biênio 2011-2012, destaca-se a consolidação “da participação dos biocombustíveis na matriz energética e garantia de suprimento em longo prazo” (ANP, 2011). Formalmente, é atribuída à ANP a responsabilidade de implementar a política nacional para o setor de petróleo, gás e biocombustíveis, fazendo cumprir as boas práticas de conservação e uso racional destes recursos e de preservação do meio ambiente (LEI Nº 9.478/97).

A Lei nº 12.490, de 16/09/2011, alterou a Lei nº 9.478/97, ampliando a competência da ANP para toda a indústria de biocombustíveis. Entre os objetivos acrescentados às políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia estão:

- i) a garantia de abastecimento de biocombustíveis em todo o território nacional;
- ii) o incentivo à geração de energia elétrica a partir da biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis;
- iii) a promoção da competitividade brasileira no mercado internacional de biocombustíveis;
- iv) a atração de investimentos em infraestrutura para transporte e estocagem de biocombustíveis;
- v) o fomento a pesquisa e desenvolvimento relacionados a energias renováveis;
- vii) a mitigação das emissões de GEE e poluentes nos setores de energia e transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis.

Adicionalmente, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)<sup>38</sup> passou a incorporar a produção e o consumo de biocombustíveis em suas diretrizes para a importação e exportação, assegurando o funcionamento adequado do Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis e o cumprimento do Plano Anual de Estoques Estratégicos de Combustíveis, previsto na Lei nº 8.176/91. Ao conselho foi também atribuída a função de elaborar políticas nacionais e estratégias de desenvolvimento econômico e tecnológico para a indústria de petróleo, gás natural e biocombustíveis e toda sua cadeia de suprimento (Art. 2º, Inciso IX).

A despeito de haver uma política que trata de biocombustíveis de forma geral, considerando a distinção de dinâmicas e estruturas entre os mercados de biodiesel e etanol, a regulação da produção destes biocombustíveis parece se dar de forma relativamente separada.

No caso do biodiesel, o foco da regulação tem se voltado à percentagem da mistura obrigatória ao óleo diesel. Em dezembro de 2004, foi lançado pelo governo federal o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que tem como órgão deliberativo uma Comissão Interministerial, composta por 14 Ministérios e coordenada pela Casa Civil da Presidência da República. O MME é o coordenador do Grupo Gestor do programa, do qual fazem parte, além dos mesmos ministérios da Comissão, a ANP, a Petrobras, a Embrapa e o BNDES.

Por meio da Lei nº. 11.097/05, o PNPB estabeleceu que a partir de janeiro de 2008 o diesel mineral deveria ser comercializado com a mistura de 2% de biodiesel, o chamado B2. Esse percentual de biodiesel deveria aumentar para 5% a partir de janeiro de 2013, porém houve antecipação da mistura devido à rápida resposta dos agentes para atender à demanda de mistura obrigatória, mediante Resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

Apesar de não ser restritivo e permitir a utilização de diversos tipos de óleo, o PNPB oferece incentivos para determinadas matérias-primas e regiões. A fim de promover a inclusão social e o desenvolvimento regional, foi criado o Selo Combustível Social, um instrumento de certificação aos produtores de biodiesel que adquirem matéria-prima de agricultores familiares, em quantidade mínima especificada pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), celebrando contratos que garantam renda, prazos e assistência compatíveis com a atividade. Com o Selo, os produtores de biodiesel estão sujeitos a menor tributação de PIS/PASEP e Cofins, de acordo com o tipo de matéria-prima e região, têm acesso a melhores condições de financiamento junto a bancos de desenvolvimento e outras instituições

---

<sup>38</sup> As funções e objetivos do CNPE são descritos na seção seguinte.

financeiras credenciadas, além de poderem participar dos leilões de biodiesel promovidos pela ANP.

No que concerne o etanol, existe uma maior preocupação com a garantia de abastecimento do mercado interno, inclusive com a percentagem adicionada à gasolina. Assim, importantes questões acerca da existência de estoques reguladores<sup>39</sup> e de incentivos financeiros para a expansão dos canaviais têm sido levantadas, porém nota-se a ausência de um debate que inclua o desenvolvimento tecnológico como elemento relevante para o atendimento de objetivos de longo prazo da política energética.

De todo modo, a recente crise de abastecimento de etanol foi útil para mostrar que a solução para problemas do setor energético envolve decisões governamentais em várias dimensões. Evidentemente, a regulação por si só não é capaz de atender as demandas da sociedade e objetivos da política energética. As esferas de decisão relevantes encontram-se dispersas entre ministérios, comitês/comissões, órgãos governamentais de apoio a indústria e inovação, além do próprio Congresso Nacional, tornando evidente a necessidade de coordenação entre regulação, políticas públicas e planejamento energético.

### **3.2.2 Os biocombustíveis na política energética brasileira**

No Brasil, o CNPE é responsável por assessorar a Presidência da República na formulação de diretrizes e políticas energéticas. Entre seus principais objetivos está a promoção do aproveitamento racional dos recursos energéticos do país, de acordo com a legislação vigente e alguns princípios, como a) preservação do interesse nacional, b) promoção do desenvolvimento sustentado, ampliação do mercado de trabalho e valorização dos recursos energéticos, c) proteção dos direitos do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos, d) proteção do meio ambiente e promoção da conservação de energia, e) utilização de fontes renováveis de energia, mediante o aproveitamento dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis, f) promoção da livre concorrência, g) atração de

---

<sup>39</sup> O debate acerca da garantia de abastecimento de etanol no mercado interno levou à inclusão do seguinte Parágrafo à Lei nº 9.478/97:

“No exercício das atribuições de que trata este artigo, com ênfase na garantia do abastecimento nacional de combustíveis, desde que em bases econômicas sustentáveis, a ANP poderá exigir dos agentes regulados, conforme disposto em regulamento: I - a manutenção de estoques mínimos de combustíveis e de biocombustíveis, em instalação própria ou de terceiro; II - garantias e comprovação de capacidade para atendimento ao mercado de combustíveis e biocombustíveis, mediante a apresentação de, entre outros mecanismos, contratos de fornecimento entre os agentes regulados” (Art. 5º da Lei nº 12.490/2011).

investimento na produção de energia, h) ampliação da competitividade do País no mercado internacional, entre outros<sup>40</sup>.

Outros objetivos da política energética incluem a garantia de suprimento de energia a áreas remotas e de difícil acesso do País, a revisão periódica das matrizes energéticas (considerando fontes convencionais e alternativas, bem como tecnologias disponíveis), o estabelecimento de diretrizes para programas específicos como os de energia termonuclear, gás natural, carvão e biomassas.

Nas previsões do MME, o cenário de consumo de energia primária no Brasil para as próximas décadas é fortemente influenciado pelo ritmo de crescimento da economia considerado no cenário de referência (4,1% a.a. em média), o que demandará um aumento na oferta interna de energia de 65% entre 2005 e 2015, de 34,5% entre 2015 e 2025 e de 17%, entre 2025 e 2030 (EPE, 2007).

Dado o caráter estratégico que a segurança de abastecimento de energia assume diante dos planos de crescimento e desenvolvimento econômico, uma das tendências mundiais em termos de política energética é a busca por flexibilização na matriz de combustíveis, que está estreitamente relacionada com a redução da dependência e vulnerabilidade energética, isto é, procura-se diminuir a necessidade de se importar energia de poucos fornecedores. Essa flexibilização requer a inclusão de alternativas energéticas que, além de buscar segurança de abastecimento, pretendem contornar o provável esgotamento das fontes baratas de recursos fósseis e podem também ser meios de reduzir os efeitos adversos do consumo energético sobre o aquecimento global.

A análise das políticas energéticas de países como Estados Unidos, Alemanha, França, Inglaterra, Suécia, China, Índia e Japão revela que, no curto prazo, existe maior preocupação com a segurança de abastecimento, tendo em vista as oscilações nos preços internacionais do petróleo. Já no longo prazo, prevalecem os objetivos de redução dos impactos ambientais, fazendo com que a diversificação da matriz de combustíveis ocorra por meio da introdução de fontes renováveis e de novas tecnologias na produção e no uso de energia (NAE, 2007).

Poder-se-ia argumentar que, no caso brasileiro, o aumento da disponibilidade de recursos energéticos como os da camada Pré-Sal torna menos relevante essa busca por flexibilização. No entanto, a auto-suficiência na produção de petróleo não reduz a importância dos combustíveis alternativos, uma vez que se trata de uma área estratégica de longo prazo e a auto-suficiência que se verifica no presente pode não ocorrer em um horizonte de trinta anos.

---

40 Informações obtidas da própria página do MME na internet: [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br).

Outros aspectos como preços relativos, comportamento da demanda de energia, incluindo elasticidade-preço e elasticidade-renda, e desenvolvimento de novas tecnologias tornam bastante complexas as análises prospectivas nas quais se baseia a política energética.

A adequação das políticas de incentivo aos biocombustíveis como forma de redução da dependência energética depende também dos preços internacionais do petróleo e do desempenho econômico do país no médio e longo prazo. Conforme indicado no relatório do Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (NAE, 2007), as políticas de substituição de diesel e gasolina por biocombustíveis podem encontrar problemas de legitimidade, caso o preço do petróleo venha a cair e a economia cresça a um ritmo mais acelerado, o que exigiria um maior esforço orçamentário, seja para concessão de subsídios ou para isenção tributária. A existência de tantos elementos complexos adiciona elevada incerteza à formulação da política energética e favorece a diversificação do portfólio energético como forma de redução do risco de desabastecimento.

No que concerne a participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2020, importante instrumento de planejamento energético e orientador de políticas públicas, aponta para a expansão do mercado interno de etanol, impulsionado pelas vendas de veículos *flex fuel*, apesar da restrição de oferta ocorrida no último triênio. De acordo com as projeções da Empresa de Pesquisa Energética (EPE)<sup>41</sup>, a demanda por etanol passa de 23,7 bilhões de litros em 2011 para 63,1 bilhões de litros em 2020.

Com base nessas projeções, Milanez et al. (2012) calculam as necessidades de expansão da cana-de-açúcar para atender plenamente à demanda potencial até 2015. De 2011 a 2015, seria necessário adicionar 246,3 milhões de toneladas de cana direcionadas somente à produção de etanol. Em termos financeiros, esse esforço corresponde a R\$ 85 bilhões, dos quais apenas R\$ 30 bilhões estão planejados pelo setor. Com isso, os autores constatam que o déficit de produção acumulado deverá atingir 32 bilhões de litros no período analisado.

Nesse sentido, para que a demanda seja atendida, vê-se a retomada dos investimentos em toda a cadeia produtiva que foram reduzidos nos últimos quatro anos como condição primordial, sendo que o foco dos investimentos apontados pelo documento do MME incluem tanto o aumento da área de plantio de cana-de-açúcar, como a aplicação de novas tecnologias.

As novas tecnologias previstas para o setor de etanol, contudo, se restringem à elevação da produtividade agrícola e da eficiência industrial, principalmente no processo de

---

41 A EPE é uma empresa vinculada ao MME, que tem por objetivo realizar estudos e pesquisas que sirvam de apoio para o planejamento do setor energético.

fermentação. O PDE 2020 não trata de tecnologias de produção de biocombustíveis avançados, como a hidrólise enzimática, por exemplo.

Já com relação ao biodiesel, o relatório não vislumbra outro insumo que possa substituir o óleo de soja dentro do horizonte de análise. O Propalma, programa lançado pelo governo federal em 2010 para produção sustentável do óleo de palma, é mencionado como um propulsor dessa matéria-prima, porém só deve resultar em volumes significativos de óleo após 2020. A projeção de oferta de biodiesel para 2020 se baseia no número de usinas que já possuem autorização para comercialização, operação e aquelas já autorizadas para construção, ao passo que a previsão de consumo deste biocombustível supõe a manutenção do percentual de mistura obrigatória de 5% até 2020 aplicada sobre as estimativas de consumo de óleo diesel no país. O documento não trata de novas rotas tecnológicas para a produção de biocombustíveis.

O Plano Nacional de Energia para 2030 pode ser considerado a principal referência quando se trata de política energética no Brasil, dado que tem como objetivo o planejamento energético de longo prazo, servindo como um orientador de tendências e de alternativas de expansão no setor de energia. O PNE 2030 prevê uma matriz energética caracterizada pela manutenção dos derivados de petróleo no setor de transportes, devido à necessidade de rápida expansão da oferta para atender ao elevado crescimento da demanda observado nas últimas décadas. Apesar disso, apresenta duas seções dedicadas a tendências do desenvolvimento tecnológico em combustíveis líquidos e perspectivas de oferta de combustíveis líquidos a partir de biomassa no longo prazo.

Dentre as alternativas para combustíveis no setor de transportes, encontram-se as células a combustível, o hidrogênio (obtido a partir do gás natural ou fontes renováveis), os combustíveis sintéticos e os biocombustíveis, que atualmente são os que apresentam maior competitividade.

Outros órgãos governamentais, como o BNDES, também destacam a importância estratégica que têm os biocombustíveis na transição para uma matriz energética com fontes diversificadas, afirmando que entre as fontes energéticas renováveis, apenas os biocombustíveis oferecem uma alternativa consistente para os derivados do petróleo<sup>42</sup>.

Todavia, se eles vierem a ter maior participação na matriz de transportes, o desenvolvimento dos chamados biocombustíveis avançados será crucial, especialmente devido aos impactos sobre o uso da terra e os preços dos alimentos. Isso explica o espaço

---

42 Texto de referência “Biocombustíveis como vetor do Desenvolvimento Sustentável”, preparado pelo BNDES/CGEE para I sessão plenária da Conferência Internacional sobre Biocombustíveis (2008).

dedicado à discussão de novas tecnologias para o aproveitamento energético da biomassa no PNE 2030.

O documento divulgado pelo MME<sup>43</sup> explora em detalhes os processos de conversão e rotas tecnológicas para produção de biocombustíveis avançados, como a termoquímica, bioquímica, físico-química, os combustíveis sintéticos obtidos por gaseificação ou pirólise, a produção de etanol celulósico, além de tratar sobre as biorrefinarias.

As previsões para 2030 do MME revelam uma participação na oferta interna de energia de 18% para os produtos derivados da cana e de 7% para o biodiesel, sem considerar grandes inovações tecnológicas para o segundo segmento, mas considerando a introdução do etanol celulósico em escala comercial no primeiro. Estima-se que a produção de etanol alcançará os 62 bilhões de litros<sup>44</sup>, sendo que 7 bilhões destes serão processados a partir de material celulósico. Vale a pena mencionar que o estudo presume que a introdução de veículos elétricos se restringe a uma fração pequena do número de veículos importados, tendo influência quase nula sobre a matriz brasileira de combustíveis no longo prazo.

O relatório Matriz Energética Nacional 2030, outro importante instrumento de política energética, reconhece que a perspectiva e consolidação da tecnologia *flex fuel* é incerta, podendo ser revertida em função das estratégias da indústria automobilística em nível mundial, mas adota a consolidação da mesma como premissa, sob a justificativa de que o país tem uma posição destacada na produção mundial de biocombustíveis, de que estes proporcionam flexibilidade ao consumidor e de que há convergência de rendimento dos motores *flex* com o de motores dedicados.

Um ponto interessante levantado pelo relatório tem a ver com a distinção da matriz energética brasileira em relação a outros países, dada a ampla participação das energias renováveis, dominadas pela hidroeletricidade primeiramente e intensificada com a introdução do etanol como combustível veicular.

Atualmente, o potencial hidráulico e sua atratividade econômica continuam fazendo com que a energia hidrelétrica seja a opção que apresenta condições mais favoráveis à produção de energia de base, porém é possível que após 2020, o potencial hidrelétrico aproveitável já tenha se esgotado. Isso exige que o país esteja preparado para uma futura expansão da oferta de energia baseada na introdução de fontes renováveis, além de usinas termelétricas que utilizem diferentes insumos energéticos, de preferência também renováveis,

---

43 Seção “Tendências do Desenvolvimento Tecnológico” do PNE 2030 – Combustíveis Líquidos.

44 Note que o PDE 2020 prevê que a demanda atingirá esse patamar em 2020.

como a biomassa, em contraste com a expansão predominantemente hidrelétrica, como a que ocorreu nas últimas quatro décadas. Nesse sentido, fica evidenciada a importância que as biorrefinarias poderão assumir na matriz energética com as unidades de cogeração.

Considerando o que foi exposto, é possível notar que o governo claramente conta com o aumento da produção e participação dos biocombustíveis na matriz de transportes, e ainda com a cogeração na oferta de energia elétrica, apesar de não especificarem que parte considerável desse incremento poderá vir de inovações nas rotas de conversão de biomassa de produtividade superior. A única exceção é o etanol celulósico, que ganha atenção nas projeções do PNE 2030.

Será visto na próxima seção de que forma a política industrial está formatada para que os objetivos de política energética sejam atingidos.

### **3.2.3 Os biocombustíveis e a política industrial brasileira**

A discussão acerca da importância de políticas industriais sobre o crescimento e desenvolvimento econômico não poderia ser feita em espaço tão curto, como o que se pretende dedicar neste trabalho. Serão feitos aqui apenas alguns comentários importantes sobre o conceito de política industrial e outras informações relevantes para contextualizar as medidas de apoio governamental à produção de biocombustíveis dentro da recente política industrial brasileira.

Em primeiro lugar, apesar de as respostas serem muito diferentes, em termos objetivos, a pergunta fundamental da política industrial se refere sempre ao que produzir, ao que exportar e ao que importar (KUPFER, 2012). No entanto, a introdução de elementos novos como a necessidade de redução de desigualdades regionais, preservação do meio ambiente, surgimento de setores industriais novos e competitivos em países em desenvolvimento, segurança nacional e os próprios efeitos adversos da crise financeira internacional, traz um pouco mais de complexidade a essa pergunta e explica por que a política industrial tem ganhado destaque nas agendas de política, tanto no setor público, como no setor privado.

Também é preciso enfatizar que, em teoria, o foco da política industrial se dá sobre a dinâmica de setores-chave com o objetivo de promover transformações qualitativas na estrutura produtiva. Conforme descreve Kupfer (2003), à esse tipo de intervenção cabe acelerar os processos de transformação produtiva que poderiam ser conduzidos pelo mercado



em ritmo mais lento, ou mesmo colocar em prática processos que as forças de mercado por si só não são capazes de articular.

Esse vínculo com uma *mudança estrutural* da economia nos permite afirmar que “a política industrial está na raiz do papel do Estado na dinâmica econômica de longo prazo, diferenciando-se, deste modo, de outras dimensões de intervenção pública que, em conjunto, são associadas aos padrões nacionais de desenvolvimento” (GADELHA, 2001, p. 153).

Considerando a existência de diferentes concepções de política industrial, a definição sugerida por Gadelha (2001), que desenvolve um conceito neo-schumpeteriano de política industrial, no qual a dinâmica da estrutura produtiva da indústria assume um papel central na análise sistêmica do desenvolvimento das economias nacionais, encontra correspondência na base de sustentação teórica apresentada no primeiro capítulo. Desse modo, ele define a política industrial como a:

[...] intervenção pública na dinâmica de inovações da indústria, visando promover transformações qualitativas na estrutura produtiva e o desenvolvimento das economias nacionais, mediante ações sistêmicas que alteram, seletivamente, os ambientes competitivos que formam as estratégias empresariais (GADELHA, 2001, p. 161).

Esse foco da intervenção estatal sobre o ambiente econômico é sustentado por três pressupostos básicos: o primeiro de que a empresa privada é o agente da dinâmica econômica baseada em inovações; o segundo de que as estratégias empresariais de inovação são fortemente influenciadas pelas condições do ambiente institucional em que estão inseridas; e, por último, de que o Estado tem o poder de transformar esse ambiente, propiciando condições mais ou menos favoráveis ao comportamento inovador.

Revela-se assim uma clara relação de interdependência entre empresas, infraestrutura física, financeira, de recursos humanos e de ciência e tecnologia apresentam elementos específicos em cada indústria, também caracterizadas por diferentes regimes tecnológicos, estratégias de competição e/ou cooperação, condições de oportunidade, cumulatividade e apropriabilidade tecnológica. É nesse contexto que se inserem as iniciativas de desenvolver tecnologias para o aproveitamento eficiente da biomassa, inclusive a produção de biocombustíveis.

A análise agora abordará pontos específicos da política industrial recente que dizem respeito à utilização energética da biomassa, partindo da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), lançada em Maio de 2008, e passando em seguida pelo Plano Brasil Maior, que deu continuidade à PDP no governo Dilma Rouseff.

Os focos específicos de ação da PDP<sup>45</sup> estão divididos em cinco grupos de programas. O primeiro se refere à consolidação e expansão da liderança, a fim de dar sustentação a setores em que o país já tem destaque, como é o caso do etanol. O segundo prevê o fortalecimento da competitividade em setores como o de biodiesel, ao passo que um terceiro grupo, dos “programas mobilizadores em áreas estratégicas”, inclui setores como o de biotecnologia. Dois outros programas, o de ações sistêmicas e o de destaques estratégicos, completam a estrutura da política.

No programa “Consolidar e Expandir a Liderança”, entre os objetivos estão: i) a retomada da liderança mundial no bioetanol; ii) o aumento do aproveitamento dos subprodutos (vinhaça, levedura e bagaço); iii) o domínio das próximas gerações tecnológicas; e iv) a expansão da oferta de eletricidade por meio da biomassa (MDIC, 2009a).

O Programa de “Fortalecimento para a Competitividade”, por sua vez, tem foco em complexos produtivos com potencial de exportação ou de geração de efeitos de encadeamento sobre o conjunto da estrutura e prevê o uso articulado de incentivos fiscais e financeiros, da regulação, do poder de compra e do apoio técnico para que os objetivos sejam atingidos. Neste programa, é possível identificar uma série de órgãos envolvidos nas ações planejadas, que se estende de universidades e centros de pesquisa, bancos de desenvolvimento, superintendências e ministérios (MMA, MAPA, MDA, MTE, MCT, MDIC) até associações da indústria, como a ANFAVEA (MDIC, 2009b).

No que tange a inovação tecnológica, verificamos que, entre as medidas de apoio a P,D&I em áreas estratégicas, encontra-se o desenvolvimento de biocombustíveis de segunda geração, especificamente a produção de diesel sintético de alta pureza obtido da gaseificação de resíduos vegetais, sob responsabilidade da Petrobras, Embrapa e CENPES<sup>46</sup>. Já à ANP é atribuído papel importante no aumento da atratividade dos leilões aos produtores e na melhoria da logística de transporte e comercialização do biodiesel no território nacional.

Diante dos programas, objetivos e desafios traçados no PDP, chama atenção o grande número de atores envolvidos. Sobre a necessidade de coordenar esforços públicos e privados em direção ao interesse nacional, Cano e Silva (2010, p. 21) sublinham que “crescentemente, requer-se de uma política industrial a capacidade de coordenar o todo (cada vez mais

---

45 A Política estabeleceu quatro macrometas: 1) atingir taxa de investimento equivalente a 21% do PIB; 2) aumentar os investimentos privados em P&D para 0,65% do PIB; 3) atingir participação de 1,25% no total das exportações mundiais; e 4) ampliar o número de micro e pequenas empresas exportadoras para 12.971, frente a 11.792 em 2006.

46 Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello, responsável pelas atividades de P&D e engenharia básica da Petrobras.

complexo), ao mesmo tempo em que considera as especificidades da realidade em suas várias dimensões (setorial, tecnológica, financeira, organizacional, institucional, regional), apoiada em uma perspectiva dinâmica de longo prazo”.

Em 2011, o Plano Brasil Maior (PBM) (2011-2014) veio substituir a PDP como a política industrial, tecnológica e de comércio exterior do governo Dilma Roussef, buscando manter a inovação e a competitividade como prioridades.

Ao lermos o texto de referência do PBM, destaca-se a Diretriz Setorial 3, que envolve o desenvolvimento de cadeias de suprimento em energia, a partir do aproveitamento de oportunidades ambientais e de negócios no setor de energia, buscando colocar o Brasil entre os maiores fornecedores mundiais de energia e de tecnologias, bens de capital e serviços associados. A diretriz identifica oportunidades tanto na exploração e produção de petróleo e gás, como no desenvolvimento de energias renováveis, como *etanol*, eólica, solar e carvão vegetal.

O setor de bioetanol – junto ao setor químico e de fertilizantes - ainda ganha destaque no bloco de sistemas produtivos intensivos em escala, para os quais serão promovidos esforços de adensamento e agregação de valor. A produção de biodiesel, no entanto, não é mencionada no programa. Isso pode ser reflexo do tratamento do programa de biodiesel com um enfoque no desenvolvimento agrário, enquanto o programa do etanol recebe maior apoio para se desenvolver industrialmente.

O apoio financeiro às atividades de PD&I se encontra sobretudo em instituições públicas, como as diversas Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (as Fapes), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), os Fundos Setoriais, a Finep e o BNDES, com destaque para essas duas últimas, e é destinado a atividades de toda a cadeia de produção de etanol e derivados. O esforço de política industrial direcionada à produção de biocombustíveis pode ser verificado, por exemplo, no relatório de desembolsos do BNDES (2011), que revela um investimento de R\$ 5,3 bilhões ao longo de 2010 destinados para o setor de bioetanol.

Na etapa agrícola, essas atividades envolvem o melhoramento genético das cultivares, manejo agrícola, colheita e pré-processamento da cana. Na etapa industrial, os projetos estão relacionados à melhoria e desenvolvimento de novos equipamentos e processos, no caso dos biocombustíveis de primeira geração, e ao aproveitamento da biomassa, por meio de hidrólise (enzimática ou ácida) e processos físico-químicos (pirólise e gaseificação), no caso dos avançados.

Outras atividades elegíveis estão relacionadas a novas aplicações do etanol como matéria-prima e à valorização dos subprodutos, bem como a redução dos impactos negativos que estes possam ter sobre o meio ambiente. Contudo, apesar de estas últimas atividades serem as mais promissoras, em termos de aumento de produtividade, é para as etapas agrícola e industrial de primeira geração que tem sido destinada a maior parte dos recursos da FINEP e BNDES (NYKO et al., 2010).

No que diz respeito às políticas de apoio à inovação, houve recentemente o lançamento do Plano Conjunto BNDES-FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS). O objetivo do programa é fomentar projetos que contemplem o desenvolvimento e a comercialização de novas tecnologias industriais destinadas ao processamento da biomassa oriunda da cana-de-açúcar.

Entre as linhas temáticas do PAISS se encontram: i) o desenvolvimento do bioetanol de segunda geração, com foco nos processos de hidrólise de materiais ligno-celulósicos e de fermentação de pentoses, ii) o desenvolvimento de novos produtos de cana-de-açúcar, e iii) desenvolvimento de tecnologias de pré-tratamento de biomassas da cana-de-açúcar, equipamentos e catalisadores para otimizar o processo de gaseificação.

Ainda quanto às fontes de financiamento, devem ser mencionados os fundos setoriais. O Fundo Setorial de Petróleo e Gás Natural foi criado no início de 1997, pela mesma lei que instituiu o CNPE e a ANP, prevendo a destinação de parcela dos royalties oriundos da produção de petróleo e gás natural para programas de financiamento e amparo à pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico aplicados à própria indústria. Posteriormente foram criados também os Fundos Setoriais de Energia, de Agronegócio e de Biotecnologia, dos quais a produção de biocombustíveis poderia se beneficiar.

Nyko et al. (2010) comparam os esforços governamentais nos EUA, UE e Brasil, constatando que há capacidade de coordenação bem menor no último caso. Para os autores, o fato de haver diversas instituições de pesquisas e fontes públicas de financiamento faz com que os esforços e recursos destinados a PD&I estejam pulverizados, tornando-os menos eficazes. Entretanto, os próprios fundos setoriais são geridos por comitês em que a FINEP é representada, sugerindo que o principal obstáculo talvez não seja a pulverização dos recursos, mas sim a falta de direcionamento dos recursos às etapas mais promissoras da cadeia produtiva para ganhos de produtividade.

Os autores ressaltam ainda que, apesar de os programas norte-americanos e europeus terem alocado cerca de US\$ 5 bilhões entre 2000 e 2013 nessas atividades, os resultados efetivos ainda são pouco expressivos.

Quanto às políticas brasileiras, os autores sublinham a necessidade de aprimoramento na coordenação da aplicação de recursos financeiros, que são bem mais tímidos no caso brasileiro, porém a vantagem que decorre da cana-de-açúcar como matéria-prima competitiva pode fazer com que o esforço brasileiro atinja resultados melhores. Isso seria possível com a adoção de um programa coordenado de fomento, voltado ao etanol celulósico e à valorização dos produtos da cana-de-açúcar. Pela existência de infraestrutura de distribuição e comercialização dedicada ao etanol e de uma matéria-prima competitiva (cana-de-açúcar), as políticas brasileiras tenderiam a manter o direcionamento de suas políticas ao etanol.

Foi nesse sentido também que o acordo de cooperação entre BNDES e FINEP, que resultou no PAISS, buscou organizar a entrada de pedidos de apoio financeiro, constituindo tentativa de conferir maior coordenação às ações de fomento e integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis, e orientar os recursos para atividades mais intensivas em tecnologia.

Além disso, atualmente, o Brasil ainda importa equipamentos e tecnologia para produzir biocombustíveis (IPEA, 2012). A perspectiva de expansão de seus mercados representa uma grande oportunidade para a indústria nacional de ter o completo domínio sobre os processos de toda a cadeia produtiva, desde a produção de fertilizantes, sementes e agrodefensivos, até máquinas, equipamentos industriais e assistência técnica. Desse modo, é possível que haja nessa expansão dos biocombustíveis uma “janela de oportunidade” para o desenvolvimento nacional.

Considerando que o crescimento do mercado interno depende em grande parte de medidas governamentais (isenção fiscal, estímulo financeiro, mistura obrigatória, entre outros), é imperativo que tais medidas estejam alinhadas à política industrial para que o país seja capaz de incorporar o desenvolvimento tecnológico necessário e essa expansão ocorra de forma sustentável.

### **3.2.4 Os biocombustíveis e a Política Nacional de Mudanças Climáticas**

Apesar de a legislação nacional sobre biocombustíveis estabelecer percentuais mínimos de etanol e biodiesel na gasolina e no diesel fóssil para combustíveis comercializados em todo o território nacional, é possível que as esferas estaduais e municipais adotem iniciativas locais mais rigorosas.

A Política Nacional de Mudanças Climáticas<sup>47</sup> estabelece o compromisso nacional voluntário de adotar medidas que visem à redução das emissões de GEE entre 36,1% e 38,9%, com base no segundo inventário de emissões de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal, concluído em 2010<sup>48</sup>. Ademais, estabelece que os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos de outras políticas públicas e programas governamentais devem ser compatíveis com aqueles estabelecidos na Política Nacional de Mudanças Climáticas.

Em 2009, foi instituída no município de São Paulo a Política de Mudança do Clima<sup>49</sup>, com impactos significantes sobre os combustíveis utilizados no transporte público na cidade. Entre os aspectos mais importantes, destacam-se a promoção do uso de energias renováveis e a substituição gradual dos combustíveis fósseis por outros que emitam menos GEE (Seção III, art. 3º), com adoção da meta progressiva de redução de 10% ao ano (no consumo de combustíveis fósseis) a partir de 2009, visando à utilização de combustível renovável por todos os ônibus do sistema de transporte público do município até 2018.

Políticas locais de redução de emissões de poluentes semelhantes à que foi adotada na cidade de São Paulo também foram observadas em outras capitais, como Curitiba, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, e refletem a crescente preocupação com a qualidade do ar nos grandes centros urbanos, vista como uma questão de saúde pública. Em 2011, o Estado do Rio de Janeiro emitiu decreto<sup>50</sup> que visa a reduzir em 30% as emissões de GEE até 2030 (em relação às emissões de 2010) no setor de transportes. Desse modo, na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, o sistema de transporte público testa uma mistura de 30% de diesel de cana e 70% de diesel S50 em 20 veículos de transporte coletivo.

De acordo com estimativas da São Paulo Transporte S.A. (SPTrans), empresa que gerencia as linhas de ônibus em São Paulo, a frota da cidade consome quase 400 milhões de litros de óleo diesel anualmente. O tamanho desse mercado é um forte atrativo para empresas que buscam introduzir combustíveis renováveis na matriz energética brasileira. Adicionalmente, a proximidade da produção de cana-de-açúcar com grandes centros urbanos contribui para que esse seja um nicho explorado enquanto tais empresas não atingem o estágio de ampla comercialização.

---

47 Lei Federal Nº 12.187/09.

48 Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

49 Lei Municipal Nº 14.933, de 05/06/2009.

50 Decreto Nº 43.216, de 30/09/2011, que regulamenta a Lei Estadual Nº 5.690, de 14/04/2010.

Em consequência da Política de Mudança do Clima, foi lançado o Programa Ecofrota em fevereiro de 2011, prevendo a utilização progressiva de combustíveis menos poluentes, como o biodiesel, etanol, diesel de cana e eletricidade, em toda a frota de ônibus de São Paulo. Atualmente, já existem 50 ônibus circulando com etanol, 1200 utilizam o B-20, enquanto 160 veículos são movidos com mistura que possui 10% de diesel de cana, biocombustível produzido pela Amyris. É importante ressaltar que o uso de mistura com 10% de diesel de cana e 90% de B5 (diesel S50 com 5% de biodiesel) foi autorizado pelos principais fabricantes de veículos comerciais no Brasil. A parceria com a Mercedes-Benz e outras fabricantes de ônibus<sup>51</sup> foi fundamental para que se iniciasse uma fase experimental.

### **3.2.5 A introdução de um novo biocombustível no mercado**

O diesel de cana utilizada atualmente na frota da SPTrans é produzido pela Amyris. Trata-se de uma empresa norte-americana, fundada em 2003, que utiliza biologia sintética para desenvolver medicamentos<sup>52</sup>, combustíveis renováveis e produtos químicos, como lubrificantes e polímeros. A engenharia genética permite que se desenvolvam microorganismos, ou “fábricas vivas”, que produzam moléculas com características desejáveis para aplicação comercial. Especificamente, a empresa desenvolve microorganismos que produzem farneseno, uma molécula que serve de base para produção de uma ampla gama de produtos. Estratégias semelhantes também têm sido empregadas por outras empresas de biotecnologia, como a LS9.

Em 2009, a Amyris instalou uma planta piloto e uma planta de demonstração na cidade de Campinas, considerando a infraestrutura existente na região para produção de etanol baseado em cana-de-açúcar. Apesar de sua tecnologia ser aplicável a açúcares provenientes de diferentes tipos de biomassa, a empresa viu na cana-de-açúcar brasileira um grande potencial de produção sustentável e competitiva de biocombustíveis.

Atualmente, sua estratégia de negócio envolve a criação de capacidade produtiva por meio de parcerias com empresas que possuem plantas industriais de açúcar e álcool, com o objetivo de produzir biocombustíveis e outros produtos com maior valor de mercado. Para a Amyris, o modelo é pouco intensivo em capital físico, pois permite que ela aumente a escala

---

51 MAN-LA e Scania monitoram o desempenho do novo combustível em três ônibus, cada. O período de testes da Scania é de 12 meses e os resultados sobre consumo, desempenho e emissões deverão ser reportados à ANP.

52 No início, a empresa desenvolveu um método para produção de artemisina, utilizada no tratamento da malária, com recursos da Fundação Bill & Melinda Gates.

de produção sem a necessidade de construir novas plantas completas. Os produtores investem todo ou quase todo o capital necessário para a construção das instalações necessárias à produção de farneseno, enquanto a Amyris fornece tecnologia e conhecimentos técnicos.

Empresas de biotecnologia que vêm desenvolvendo a produção de diesel renovável com a utilização de biologia sintética consideram que a parceria com usinas brasileiras de açúcar e álcool podem ser estratégicas para as duas partes, na medida em que a indústria sucro-alcooleira tem visto sua rentabilidade prejudicada, mas conta com uma matéria-prima de muito valor nesse estágio inicial de produção de biocombustíveis avançados: o açúcar.

Em 2011, a Amyris antecipou a produção de farneseno, utilizando as instalações da Biomin, produtora de rações animais em Piracicaba (SP), que se encontravam ociosas. A produção atingiu escala semi-comercial e foi direcionada ao mercado de cosméticos. Atualmente, estão em construção instalações próprias ao lado da usina Paraíso, que terão capacidade de produção anual de 50 milhões de litros de combustível renovável. Há ainda uma *joint venture* com a Usina São Martinho, que permitirá uma produção duas vezes maior, porém está em estágio menos avançado. Com isso, a empresa realiza suas primeiras experiências na fase de comercialização, enquanto decide se o modelo de negócios permitirá o licenciamento da tecnologia contida nas leveduras especiais utilizadas no processo fermentativo.

Por fim, a participação da Total, empresa petrolífera francesa que se tornou acionista da empresa em 2011, com investimento de aproximadamente US\$ 135 milhões, mostra que as parcerias nos diversos segmentos da cadeia de combustíveis (*upstream*, *midstream* e *downstream*) têm sido importante elemento da estratégia de introdução de novos combustíveis no mercado.

O diesel de cana é um dos combustíveis renováveis produzidos pela Amyris e apresenta características quase idênticas às do óleo diesel. É um produto diferente do biodiesel, tanto por causa do processo de produção, como pelas características do produto final. Por ser um biocombustível *drop-in*, não exige modificações nos motores nem na infraestrutura já estabelecida. Segundo o produtor, não entope os filtros, pode ser armazenado por um longo período de tempo sem degradação e seu desempenho é muito bom mesmo em temperaturas extremamente baixas, o que favoreceria seu uso em detrimento do biodiesel.

Para a realização dos testes com ônibus em São Paulo, a única adaptação necessária foi a segregação dos tanques de abastecimento, pois somente alguns ônibus utilizam o novo combustível. Segundo a empresa proprietária da frota utilizada nos testes, a autonomia dos



veículos, os níveis de manutenção, os desgastes de peças não foram alterados com a utilização da adição do diesel de cana ao diesel S50.

O objetivo da Amyris é atingir a produção do farneseno em larga escala e reduzir custos para que os novos produtos sejam competitivos com seus substitutos convencionais. Enquanto as empresas produtoras de diesel renovável têm dificuldade de atender por completo esses nichos de mercado com a produção atual, os percentuais na mistura de combustível devem permanecer relativamente baixos. Entretanto, estima-se que, caso o diesel de cana substituísse 100% do diesel convencional, a redução na emissão de poluentes poderia chegar a 90%. Além disso, ele não possui enxofre e as emissões de óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e partículas são inferiores<sup>53</sup>.

### **3.2.6 A regulação e as novas políticas**

Com a introdução de novas medidas governamentais, a exemplo do PAISS ou da necessidade de redução das emissões de GEE nos grandes centros urbanos do país, a regulação precisa se adequar ao novo contexto sócio-técnico-econômico. Interagindo com as políticas públicas que vem sendo orientadas à produção de combustíveis renováveis, as empresas buscam desenvolver produtos pautados no conceito de sustentabilidade (ambiental, econômica e social).

Nos Estados Unidos, o diesel de cana foi o primeiro diesel derivado de biomassa a receber o registro da Agência de Proteção Ambiental (EPA). Pelo critério de “substancialmente similar”, o diesel de cana pode ser comercializado em proporção de até 35% (a confirmar com responsável da Amyris). Contudo, o foco da empresa para comercialização do produto está voltado para mercados próximos às fontes de matéria-prima, como a região sudeste brasileira.

Apesar das vantagens mencionadas na seção anterior e de sua compatibilidade com as especificações do diesel mineral, o diesel de cana não atende à especificação de biodiesel da ANP, responsável não só por regulamentar a produção, distribuição e comercialização de combustíveis líquidos, mas também avaliar sua conformidade e qualidade. A Resolução Nº 7, de 19/03/2008, define o biodiesel como “combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais”, estando sujeito ainda às especificações contidas no regulamento técnico anexado à resolução.

---

53 Informações obtidas da própria página da empresa na internet: [www.amyris.com](http://www.amyris.com).

Assim, a utilização do diesel de cana por parte da frota de ônibus nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro é regida pela Resolução N° 19, de 22/06/2007, que sujeita o uso experimental de combustíveis não especificados (produto ou mistura contendo um ou mais combustíveis especificados pela ANP que substitui algum combustível regulado), acima de 10 mil litros por mês, à autorização da ANP. O uso experimental se destina ao consumo em quantidade delimitada e por prazo determinado, em frota cativa ou equipamento industrial, com a finalidade de se avaliar o combustível não especificado e compará-lo ao combustível a ser substituído.

O incentivo à pesquisa de novos combustíveis e a necessidade de que estes passem por testes controlados antes de serem introduzidos no mercado são aspectos relevantes levados em consideração por esta Resolução. Fica também explícita a preocupação com a existência de resultados que possam fundamentar possíveis especificações futuras. O texto da Resolução afirma que, a partir dos relatórios apresentados pelo requerente durante o período de uso experimental, a ANP avalia a “conveniência de definir a especificação dos correspondentes combustíveis para sua comercialização” (Art. 12).

Um dos possíveis obstáculos à obtenção da autorização para uso experimental sob a Resolução N° 19 seria a licença do órgão ambiental competente. Além disso, a resolução limita o consumo mensal a 100.000 litros por mês. A autorização é válida por tempo determinado e, apesar de estar sujeita à prestação de informações por meio de relatórios periódicos contendo o perfil de consumo e o histórico de manutenções, existe a possibilidade de prorrogação.

Diante da limitação de quantidade, surgiu a necessidade de se regulamentar o consumo de biocombustíveis não especificados que ultrapassa os 100.000 litros mensais. Apesar de não refletir necessariamente o posicionamento institucional definitivo da ANP, a nota técnica N° 75/2012/SBQ publicada pela Agência propõe um novo regulamento para o uso de biocombustíveis não especificados no Brasil, que amplia o escopo da regulamentação estabelecida pela Resolução N° 19. A criação deste regulamento tem como motivação justamente a crescente demanda pela utilização de novos biocombustíveis, liderada pelas políticas municipais que visam a reduzir a emissão de poluentes em seus sistemas de transporte público. A ANP busca, portanto, estabelecer regras para o uso de biocombustíveis não especificados e acompanhar as inovações dessa indústria.

Além da nota técnica, foi publicada uma minuta de resolução que serviu de base para a consulta pública e elaboração do novo regulamento para uso de biocombustíveis não especificados, proposto pela nota técnica acima mencionada. A proposta do novo regulamento

inclui a possibilidade de *uso específico*, distinto do uso experimental. A autorização para uso experimental teria um prazo determinado, prevendo que o consumo mensal deve permanecer limitado a 100.000 litros. A finalidade do *uso experimental* continua sendo a avaliação do desempenho do combustível não especificado e sua comparação com o do combustível especificado que se deseja substituir. Os resultados deverão ser reportados à ANP por meio de relatórios contendo emissões, desempenho e durabilidade dos motores em testes de bancada, além das substâncias emitidas e riscos a elas associados.

Já a autorização para o *uso específico* poderia ser concedida a agentes que tenham por finalidade a substituição total ou parcial de combustíveis já especificados pela ANP, sem limitação de quantidade mensal consumida, desde que o combustível não especificado tenha passado por período de uso experimental e o prazo da autorização tenha expirado, ou ainda caso tenham sido realizados testes por, no mínimo, seis meses, com consumo mensal inferior a 10.000 litros. Neste último caso, será solicitada documentação específica, similar à requerida para uso experimental. E assim como na Resolução N° 19, a licença ou parecer favorável emitido pelo órgão ambiental competente, no que diz respeito aos impactos ambientais decorrentes da produção e uso do biocombustível não especificado, é de extrema importância para a obtenção da autorização<sup>54</sup>.

Por fim, vale ainda notar que a agência já havia regulamentado o uso experimental de misturas de biodiesel em proporções distintas da especificada por lei e mesmo do biodiesel puro (Resolução N° 18, de 22/06/2007). Posteriormente, a Resolução N° 2, de 29/01/2008 regulamentou o *uso específico* para essas misturas, que pode obter autorização após a conclusão do prazo para uso experimental. Em certos casos, o uso específico de misturas de biodiesel pode ser autorizado sem a necessidade de uso experimental prévio, caso o fabricante do motor apresente garantia do uso. Já a Resolução N° 2, de 12/01/2011, retificada em 03/02/2012, especificou as misturas de óleo diesel B-6 a B-20 para uso experimental em frotas cativas ou equipamentos industriais específicos. É importante enfatizar que essas alterações foram respostas à crescente demanda de solicitações de autorização para uso de misturas contendo até 20% de biodiesel, também utilizadas nas frotas de ônibus de algumas capitais brasileiras.

---

54 É importante notar que essas regras fazem parte de uma minuta que serviu de base para discussões entre a agência e as partes interessadas no processo de consulta e audiência públicas, realizado entre março e maio de 2012. Portanto, não refletem o novo regulamento, uma vez que comentários e sugestões podem ainda ter sido incorporados. No site da agência é possível ter acesso aos comentários feitos pelos agentes econômicos.

### 3.2.7 Considerações sobre o caso brasileiro

Por meio do que foi exposto, verifica-se que existe elevado grau de complexidade quanto à formulação de políticas públicas para o setor energético, e de biocombustíveis mais especificamente. A introdução de novos elementos na agenda de política energética e ambiental fez com que a regulação adaptasse as regras vigentes ao novo contexto.

Desse modo, as resoluções publicadas pela ANP buscam acompanhar movimentos esboçados por produtores e consumidores de biocombustíveis, que demandam novas especificações tanto para quantidades distintas da autorizada, como para produtos ainda não regulamentados.

No caso analisado, tratou-se de uma demanda política, pois o cumprimento da regulamentação municipal seria dificultado sem a criação de normas para o uso específico de biocombustíveis não especificados. A mudança na estrutura industrial poderia surgir de forma espontânea, como resultado de novas percepções dos grupos empresariais acerca de oportunidades tecnológicas, ou mesmo de uma política de inovação, como o PAISS. É importante lembrar ainda que as próprias políticas refletem os costumes e valores que vigoram em uma sociedade. Nesse sentido, o que se esboçou aqui foi apenas um exemplo compatível com a análise dos regimes socio-técnicos proposto por Geels (2004) e com a ideia de que as tecnologias sociais evoluem junto às tecnologias físicas.

#### **Figura 8. Coevolução das tecnologias físicas e sociais no caso brasileiro**

Utilizando a mesma terminologia de Nelson (2008), no caso brasileiro, as tecnologias sociais em questão se referem a programas governamentais, como o PAISS (Plano de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico), à política energética e de mudanças climáticas e ao marco regulatório, bem como às práticas que prevalecem entre as empresas produtoras e agentes relacionados. A figura 8 ilustra a coevolução dos elementos relevantes para a introdução de um novo biocombustível no Brasil.

As exigências quanto à documentação dos testes e potenciais impactos dos novos combustíveis visam a assegurar sua qualidade, uma das principais funções da ANP, sendo natural, portanto, que o processo de adaptação seja considerado demorado, complexo, custoso. Como foi observado, essa característica não é exclusiva da estrutura regulatória

brasileira, que possui curto período de experiência, sendo também observada nos processos de regulamentação de novos combustíveis nos Estados Unidos junto ao órgão competente (EPA).

As consultas e audiências públicas estão previstas no Regimento Interno da ANP, publicado na Portaria ANP nº 69, de 06/04/2009 (Art. 56). Quaisquer iniciativas que visem à alteração de normas que alteram a alocação de direitos entre os agentes econômicos envolvidos devem ser precedidas de consulta e audiência pública. Os objetivos principais das consultas e audiências públicas são estimular o debate dos aspectos relevantes sobre o assunto em pauta, obter informações e dados que sirvam de subsídio para a decisão final, possibilitar a participação dos agentes econômicos (produtores, usuários e consumidores) com seus comentários e sugestões sobre a matéria em discussão, e dar transparência às ações da ANP. As consultas públicas são mecanismos que buscam ampliar o controle social e a prestação de contas das agências reguladoras, sendo requisitos de legalidade e legitimidade das normas expedidas (OLIVEIRA, 2005).

Outro ponto importante a ser destacado se refere à estrutura de incentivos. Apesar de substituir o óleo diesel com desempenho superior, por não atender à especificação de biodiesel, o diesel de cana não usufrui dos benefícios direcionados ao biodiesel, como previsto no PNPB. Portanto é preciso pensar a questão da adaptação não só na regulação, mas em todo o conjunto de políticas de incentivo.

### **3.3 Lições dos casos norte-americano e brasileiro**

Apesar de não ser nosso objetivo específico fazer uma comparação aprofundada das estruturas de incentivos presentes na regulação dos mercados de combustíveis líquidos no Brasil e Estados Unidos, pois é reconhecido que a natureza das instituições de cada país é extremamente diferente, é possível tecer alguns comentários sobre a experiência recente dos dois países quanto às políticas de incentivo à produção de novos biocombustíveis.

O primeiro ponto em comum diz respeito aos objetivos dos programas de apoio que visam a aumentar a participação dos biocombustíveis na matriz energética, conferindo maior segurança energética ao país. Em segundo plano, aparecem as preocupações com redução das emissões de GEE, porém com maior intensidade no caso norte-americano. O *tradeoff* entre alimentos e energia na área agrícola suscita mais controvérsias no país do hemisfério norte do que no Brasil, que tem implicações sobre os programas de financiamento para desenvolvimento de biocombustíveis avançados.

Observa-se que, com relação aos incentivos à inovação, o programa norte-americano, ao estabelecer metas de consumo por categorias, incentiva de forma mais ativa a pesquisa e o desenvolvimento de biocombustíveis avançados. As políticas públicas brasileiras se mostram bem mais tímidas e a regulação segue mudanças na estrutura do setor regulado, decorrentes da própria dinâmica industrial ou induzidas por novas políticas públicas, de forma mais reativa.

A segunda semelhança que se observa é criação de reserva de mercado. Nos Estados Unidos, o tamanho do mercado para combustíveis renováveis é definido por sua capacidade de redução de emissões de GEE. Quanto mais escassa for a oferta de uma determinada categoria de combustíveis, mais valorizado será o RIN a ela associado. Desse modo, incentiva-se a produção dos mesmos por meio da elevação no preço. Conforme a capacidade produtiva for capaz de atender à demanda pelas diferentes categorias de combustíveis renováveis, haverá uma diminuição no preço dos RINs, de modo que, uma vez atingida a meta estabelecida pela EPA, o mercado deixará de pagar o prêmio pelo combustível renovável.

Essa situação é análoga à que ocorre com o biodiesel no Brasil. Quando os produtores atendem a reserva de mercado criada pelo mandato do B5, o preço do biodiesel deixa de receber o “prêmio” e as instalações ficam ociosas. Mas um ponto que chama atenção é maior flexibilidade oferecida pela comercialização de RINs. Esse tipo de regulação que usa incentivos é considerada custo-eficiente por permitir que os agentes que apresentam menor custo de cumprimento do mandato façam mais do que sua obrigação e sejam remunerados por aqueles que enfrentam custos maiores.

Em um país de grandes dimensões como os EUA e o Brasil, onde a produção de biocombustíveis se encontra concentrada em determinadas regiões, esse mecanismo pode trazer significantes economias com transporte e logística. Dentre os objetivos da política energética brasileira consta “garantir o fornecimento de biocombustíveis em todo o território nacional”<sup>55</sup>. Desse modo, o mandato de mistura obrigatória garante que todo diesel comercializado no Brasil tenha o percentual de biodiesel especificado por lei. Se em vez disso, o planejador estabelecesse que o país como um todo deve atender à meta de consumo do mesmo percentual do mercado (digamos 5%, no caso da vigência do B5), consumidores próximos às unidades produtoras poderiam consumir misturas com percentuais maiores de biodiesel, enquanto os mais distantes poderiam ficar isentos da obrigação.

---

55 Lei Nº 9.478/1997, Art. 1º, inciso XIII.

É evidente que há outros aspectos a serem considerados no caso do biodiesel. Nos grandes centros urbanos, a inclusão do biodiesel na mistura permite a redução das emissões de gases de efeito local. Também é necessário pensar na compatibilidade dos motores com misturas de percentuais mais elevados. Contudo, a comparação é um exercício interessante para avaliarmos formas de tornar a regulação mais eficiente.

No que concerne o caso norte-americano, alguns autores apontam problemas de coordenação entre as políticas públicas e a regulação de biocombustíveis no país, argumentando que as políticas nesse setor foram implementadas de forma fragmentada, com diferentes objetivos. Enquanto o EISA promove a produção dos biocombustíveis com ênfase na segurança energética, por exemplo, o RFS2 teria priorizado questões ambientais (RAJAGOPAL et al., 2010). Com efeito, verifica-se tal situação em diversos países.

No Brasil, eventos recentes referentes à tributação da gasolina mostram que o governo se depara constantemente com problemas de naturezas diversas e adota medidas de acordo com sua prioridade. Alguns especialistas, por exemplo, consideram incoerente isentar de tributação um combustível fóssil para controle de inflação, enquanto se observa redução dos investimentos na produção de biocombustíveis.

A Mensagem Nº 1.123, de 29/12/2009, da Casa Civil, que veta parcialmente o projeto de lei que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), é uma clara demonstração de que as medidas de redução de emissões de GEE devem levar em consideração restrições impostas por outras políticas, por exemplo, o cumprimento das leis de diretrizes orçamentárias. Essa foi a justificativa para vetar o dispositivo que considera que “o dispêndio público com as ações de enfrentamento das alterações climáticas não sofrerá contingenciamento de nenhuma espécie durante a execução orçamentária”<sup>56</sup>.

Foi também vetado um dos objetivos da PNMC, qual seja o de estimular o desenvolvimento e uso de tecnologias limpas e “paulatino abandono do uso de fontes energéticas que utilizem combustíveis fósseis”. O veto foi justificado pelo fato de que a política energética do País já prioriza a utilização de fontes renováveis de energia e que uma de suas balizas é o aproveitamento racional dos recursos energéticos disponíveis, sendo inadequado adotar uma diretriz que prevê o abandono dos combustíveis fósseis. Como é possível observar, tanto nos Estados Unidos, como no Brasil, a conjugação da proteção ao meio ambiente com segurança energética não é uma tarefa simples.

---

56 Inciso VI do Art. 3º.

**Tabela 3. Quadro comparativo dos casos**

	Instituições relevantes	Objetivos principais	Incentivo à inovação	Resultados	Instrumentos de incentivo	Mecanismos de controle (regulação)
<b>Estados Unidos</b>	Congresso (aprova leis) EPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Independência e segurança energética</li> <li>• Redução de emissões de GEE</li> <li>• Redução do <i>tradeoff</i> entre energia e alimentos</li> </ul>	Forte	Foco no desenvolvimento de biocombustíveis avançados, sobretudo do tipo <i>drop in</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reserva de mercado</li> <li>• Incentivos fiscais</li> <li>• RIN</li> <li>• Financiamento (DOE, NREL, USDA, BRDI)</li> </ul>	Consulta pública, testes
<b>Brasil</b>	MME, CNPE, ANP Órgãos ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança energética (nacional)</li> <li>• Redução de emissões (local)</li> </ul>	Fraco	Foco no etanol, com algumas iniciativas para desenvolvimento do etanol celulósico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reserva de mercado</li> <li>• Incentivos fiscais</li> <li>• Financiamento (BNDES, FINEP)</li> </ul>	Parecer do órgão ambiental, audiência e consulta pública, testes

No que diz respeito ao desenho institucional, observam-se elementos distintos entre os dois países. Enquanto a EPA possui um papel central na definição de regras e na execução da política energética direcionada aos combustíveis renováveis (além de regular os mais diversos setores da economia norte-americana), no Brasil, essa competência se encontra mais dispersa entre diferentes órgãos governamentais, ligados a diferentes ministérios. Apesar de suas competências se estenderem para mais de uma indústria energética, a ANP é um órgão regulador setorial de energia, porém, suas atividades estão sujeitas a políticas de outras áreas de interesse público. Isso torna muito mais complexa a atividade de regulação e dificulta a coordenação das ações governamentais.

Um bom exemplo de coordenação nos Estados Unidos pode ser observado nas práticas administrativas do programa *Low Carbon Fuel Standard*, colocado em vigor no estado da Califórnia em abril de 2010. Trata-se de um esquema regulatório complementar ao RFS2, pois prevê que todos os combustíveis utilizados pelo setor de transportes na Califórnia reduzam as emissões de GEE em 10% até 2020.

O regulamento do programa exige que o diretor executivo realize revisões do programa por meio de um processo público, a primeira no início de 2012 e a segunda no início de 2015. As revisões devem abordar uma ampla diversidade de temas relacionados à implantação do programa, podendo incluir recomendações de alterações ao mesmo. Para isso,



o diretor executivo é obrigado a convocar um painel consultivo. O regulamento especifica ainda que o painel deve contar com representantes da *California Energy Commission*, da *California Public Utilities Commission* e de outras agências governamentais, fornecedores de combustíveis, proprietários da infraestrutura de distribuição e armazenamento de combustíveis, fabricantes de motores e veículos, grupos ambientais, representantes do setor acadêmico e outras partes interessadas, conforme o diretor julgar necessário. As apresentações dos representantes são disponibilizadas ao grande público, por meio da internet, e podem receber comentários durante três semanas (ARB, 2011).

Esse tipo de mecanismo pode ser importante para evitar a sobreposição de competências entre os órgãos governamentais, a duplicação de trabalho ou mesmo o conflito de objetivos, especialmente quando existem indefinições acerca da estrutura hierárquica e/ou do escopo de atuação dos órgãos governamentais, além de contribuir para dar mais transparência ao processo de revisão do regulamento proposto.

### **3.4 Conclusões**

Este capítulo analisou de que forma a regulação de biocombustíveis tem acompanhado as inovações tecnológicas, bem como mudanças nas políticas governamentais que refletem uma maior preocupação social com as questões ambientais. Para tanto, serviram como referencial teórico o trabalho de Nelson (2008), que explorou a coevolução das “tecnologias sociais” com as tecnologias físicas, além da análise proposta por Geels (2010), que dá maior destaque aos papéis desempenhados pelas forças sociopolíticas em transições de regimes sócio-técnicos.

Foram apresentados dois casos, um no Brasil e outro nos Estados Unidos, sobre a introdução de novos biocombustíveis na matriz energética. Em ambos os casos, verifica-se a existência de mecanismos que buscam garantir a qualidade dos combustíveis, bem como conferir maior transparência na elaboração de novos regulamentos. Para o caso norte-americano, tomou-se como base o trabalho de Slating e Kesan (2011), para quem o esquema regulatório atual inibe determinadas atividades de inovação. O que se ressaltou, porém, é que a estrutura de incentivos do RFS2 está fortemente associada ao desempenho ambiental dos combustíveis e os instrumentos de controle adotados não poderiam ser mais flexíveis, sob risco de prejudicar a qualidade dos produtos comercializados e a legitimidade da atividade regulatória.

Além disso, a adaptação de regras e normas que acompanhe mudanças na estrutura da indústria e nas demais esferas de atuação do governo é um importante desafio à regulação. Sobre a relação do regulador com as demais organizações, públicas e privadas, é importante fazer duas observações.

Primeiro, a despeito de muitos exemplos utilizados para se provar o contrário, a relação entre empresas e órgão regulador nem sempre deve ser vista como tentativa de captura deste por aquelas, uma vez que também é responsável por capacitar o regulador e por contribuir com a formação do consenso necessário para que as políticas públicas sejam executadas com maior aval.

A complexa rede de organizações que participam do processo de criação de programas de incentivo à produção de biocombustíveis consiste em uma arena de intercâmbio político, em que os agentes privados buscam influenciar as políticas públicas e o Estado busca influenciar na articulação de interesses privados.

Segundo, a relação da regulação com as políticas públicas setoriais envolve uma capacitação que transcende o nível organizacional e está associada ao que talvez se aproxime do que na análise de Geels (2004) é chamado de nível panorâmico. À medida que as políticas buscam responder a demandas sociais, elas refletem também crenças, hábitos, costumes. A coordenação dos objetivos e interesses nessa dimensão mais ampla da atuação do Estado certamente é um desafio ainda maior.

## CONCLUSÃO

À luz do que foi apresentado nos três capítulos, retorna-se à pergunta que governou este trabalho: Como e com que velocidade a regulação setorial responde a mudanças nas políticas públicas que interferem no setor regulado e a mudanças na estrutura industrial, sobretudo aquelas decorrentes da introdução de inovações tecnológicas?

Na tentativa de construir o cenário complexo em que se insere a regulação da produção de biocombustíveis, foram apresentados, de um lado, a dinâmica de inovação na indústria baseada em biomassa, e de outro, as políticas que visam a promover este segmento energético. A evolução da bioindústria revela que os biocombustíveis serão um dos produtos em sua pauta cada vez mais diversificada. A pressão pela expansão da oferta energética associada à necessidade de redução de emissões de GEE constitui um problema para o qual empresas de diversos setores, individualmente ou por meio de acordos de cooperação, têm buscado uma solução.

Observou-se que a regulação pode ter efeitos favoráveis e adversos sobre o bem-estar da sociedade e que mesmo as políticas públicas podem ter objetivos não necessariamente convergentes. Desse modo, foi enfatizada a diversidade de organizações e objetivos que, por um lado, legitimam o processo democrático, e por outro, tornam mais complexa a tarefa do *policymaker*, que pode ser visto também como um administrador de conflitos.

Apresentam-se, portanto, diversas fontes de mudanças e pressões que afetam a atividade do regulador e requerem uma resposta de sua parte. Nesse sentido, espera-se que as instituições acompanhem as mudanças tecnológicas. Com efeito, as instituições apresentam certa estabilidade e o processo de mudança institucional, bem como sua influência sobre a atividade econômica, é muito mais difícil de controlar do que a mudança tecnológica. Ele é resultado de ações deliberadas (pelo governo, por exemplo), combinadas com ações descentralizadas, que envolvem expectativas, hábitos e normas amplamente aceitas pelos agentes envolvidos, mas que não podem ser impostas. Por isso, em muitos casos, as instituições dominantes são vistas como obstáculos ao progresso econômico e tecnológico (NELSON, 2008).

O caso brasileiro mostrou que a necessidade de ajustamento se tornou mais contundente após a publicação de políticas municipais que seguiram as diretrizes da Política Nacional de Mudanças Climáticas. Atualmente, a proposta de um novo regulamento para uso de biocombustíveis não especificados busca incorporar as inovações dessa indústria, ao mesmo tempo em que considera que a introdução de novos produtos deve ser acompanhada

por testes controlados, garantindo que não haja prejuízo ambiental nem ao desempenho dos equipamentos e motores utilizados.

A existência de procedimentos padronizados, como a realização de consultas públicas para o novo regulamento, assim como as consultas junto aos agentes por ele afetados, alinha-se com os pré-requisitos de transparência e consenso, necessários à construção de uma política energética coesa. A participação dos agentes econômicos é de extrema importância para a definição dos pilares institucionais que sustentarão as relações entre os agentes no longo prazo. Ademais, tais procedimentos encontram respaldo nos argumentos de Levy e Spiller (1994), isto é, são importante elemento da estrutura de governança regulatória, que confere credibilidade ao órgão regulador.

O exercício realizado neste trabalho chamou atenção para a importância da dimensão sociopolítica, em que se inclui a regulação, no processo de desenvolvimento tecnológico vivenciado pela indústria de biocombustíveis, além de ser uma tentativa de resposta à provocação feita por Malerba:

The challenge for research here is to go to a much finer analysis at both empirical and theoretical levels, and to move from the statement that everything is coevolving with everything else to the identification of what is coevolving with what, how intense is this process and whether indeed there is a bi-direction of causality (MALERBA, 2006, p. 18).

Desse modo, o conceito de adaptação regulatória se aplica à forma com que as ações da ANP têm evoluído com as inovações que emergem na bioindústria e também com objetivos de interesse público. Os casos apresentados mostram que, apesar de a adaptação de normas e regras estar sujeita a mecanismos de controle similares aos adotados pela regulação norte-americana, a complexidade do desenho institucional brasileiro é menos favorável à coordenação da regulação com os objetivos de políticas públicas.

A questão que motivou o estudo dessa capacidade de resposta do regulador frente às mudanças na indústria e em outras políticas está associada aos incentivos e obstáculos à inovação tecnológica, mas, no limite, pode se transformar em uma questão de coordenação governamental. A mudança de regras e normas poderia ser considerada uma questão de adaptação em nível organizacional, porém é preciso enfatizar que a estrutura de incentivos não se encerra na regulação. Ela envolve um amplo conjunto de medidas governamentais, como a disponibilidade e o acesso a linhas de financiamento, tributação diferenciada, política de preços para combustíveis fósseis, entre outras.

Para que a política energética nacional efetivamente consiga fazer com que a ampla disponibilidade recursos naturais seja explorada em favor do desenvolvimento econômico, é preciso tratar as questões energéticas como parte integrante de um conjunto de políticas que têm impactos sobre diversas áreas em que existe um interesse público, e não como política setorial fragmentada. A diversificação da matriz energética, com o fomento à produção de biocombustíveis em diversos países, atualmente procura equacionar tanto problemas de segurança energética quanto questões ambientais. À medida que o país avança nessa diversificação, maior é a necessidade de coordenação entre agentes, organizações, interesses e objetivos diversos. Trata-se, portanto, de um processo que não se conclui sem “uma árdua mobilização de recursos técnicos, gerenciais, financeiros, políticos e institucionais” (BICALHO, 2008).

Depois de ser analisada essa pequena parte do processo coevolutivo de tecnologias e aspectos regulatórios, surgem perguntas que podem motivar futuros trabalhos. A primeira delas se refere ao modo como o desenho institucional, que reflete a relação da regulação com outras instituições governamentais, influencia a capacidade de resposta a mudanças como as tratadas no trabalho. Este trabalho considerou que a regulação e a política energética estão integradas, compartilhando os mesmos objetivos. Contudo, quando os objetivos não são bem definidos, a escolha dos instrumentos de regulação, bem como a capacidade de resposta às demandas externas, fica prejudicada.

A segunda questão diz respeito ao papel do Brasil na construção dessa bioindústria em desenvolvimento. De que forma é possível aproveitar a atual posição brasileira na produção de biocombustíveis para que haja incorporação de conhecimento tecnológico e o país não seja meramente fornecedor de matéria-prima? Como poderão se integrar as políticas públicas nessa nova estrutura? Será possível conjugar os objetivos de desenvolvimento agrário, com as metas ambientais e o planejamento energético? A apropriação dos benefícios trazidos pelo desenvolvimento dessa nova indústria é um desafio maior que certamente exigirá maior coordenação das políticas setoriais, demandando que elas sejam integradas a uma estratégia nacional de desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

ABERNATHY, W. J. **The Productivity Dilemma**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1978.

AIE. Agência Internacional de Energia. **From 1st to 2nd generation Biofuel Technologies: An overview of current industry and R,D&D activities**. Paris: OCDE/AIE, 2008

\_\_\_\_\_. **World Energy Outlook 2010**. Paris: OCDE/AIE, 2010.

\_\_\_\_\_. **Clean Energy Progress Report**. OCDE/AIE, 2011a.

\_\_\_\_\_. **Technology Roadmaps: Biofuels for Transport**. OCDE/AIE, 2011b.

ALMEIDA, E. F.; BOMTEMPO, J. V.; SOUZA E SILVA, C. M. **The Performance of Brazilian Biofuels: An Economic, Environmental and Social Analysis**. OCDE, Joint Transport Research Centre, 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria energética**. Brasília, 2009.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 2ª Ed., Brasília, 2005.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Carta da Anfavea** n. 311. Publicação mensal. Abr., 2012.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Resoluções ANP. Disponíveis em: [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Acesso em 30 jul. 2012.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2011a.

\_\_\_\_\_. **Ações Prioritárias da ANP para o Biênio 2011/2012: Objetivos e Iniciativas**, 2011b.

\_\_\_\_\_. **Boletim Mensal de Biodiesel - Fevereiro**. Rio de Janeiro, 2012.

ARB. Air Resources Board. California Environmental Protection Agency. **Low Carbon Fuel Standard 2011 Program Review Report**, 2011. Disponível em: [www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs.htm](http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs.htm). Acesso em: 30 jul. 2012.

BAIER, S. et al. **Biofuels impact on crop and food prices: using an interactive spreadsheet**. International Finance Discussion Papers, nº 967. Board of Governors of the Federal Reserve System, Mar. 2009.

BAJAY, S. V. Planejamento energético: necessidade, objetivo e metodologia. **Revista Brasileira de Energia**, v. 1, n. 1, p. 45-53, 1989.

BAJAY, S. V.; BADANHAN, L. F. **Energia no Brasil: os próximos dez anos**. Ministério das Minas e Energia – MME SEN / MME, 2004, 17 p.

BARBIERI, R. F. **Biocombustíveis, controvérsia agrícola na economia do petróleo: o caso do etanol no Cerrado**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BENNETT, S. J.; PEARSON, P. From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid fuels and chemicals production in the UK. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, p. 1120-1139, 2009.

BENETTI, M. D. Como vai a indústria do etanol no Brasil? **Indicadores Econômicos FEE**, Fundação de Economia e Estatística, Secretaria do Planejamento e Gestão, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, v. 37, n. 1, 2009.

BICALHO, R. Premissas para uma política energética no Brasil. Análise de Conjuntura das Indústrias de Petróleo e Gás. **Boletim Infopetro** (online), Ano 9, n. 3, p. 6-9, Mai./Jun. 2008. Disponível em: [http://infopetro.files.wordpress.com/2010/02/2008\\_maijun\\_petrogas.pdf](http://infopetro.files.wordpress.com/2010/02/2008_maijun_petrogas.pdf). Acesso em 20 jul. 2012.

BOMTEMPO, J. V. **Documento Setorial: Etanol/Biomassa/Biodiesel**. Projeto Perspectivas do Investimento no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.

\_\_\_\_\_. Série: O futuro dos biocombustíveis. **Boletim Infopetro** (online), 2012. Disponível em: [infopetro.wordpress.com](http://infopetro.wordpress.com). Acesso em 08 mai. 2012.

BOMTEMPO, J. V.; VIEGAS, L. **Biofuel technological dynamics and the innovation in the Brazilian ethanol industry**. XXXIII International Association for Energy Economics Conference, 2010.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 ago. 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9478.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9478.htm). Acesso em: 09 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm). Acesso em: 09 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera a Lei nº 9.478, entre outras. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 set. 2011. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm). Acesso em: 09 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011a.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2011b.

CASTRO, N. J.; DANTAS, G. A. **Lições do PROINFA e do Leilão de Fontes Alternativas para a Inserção da Bioeletricidade Sucroalcooleira na Matriz Elétrica Brasileira**. Anais do 30º Congresso Internacional de Bioenergia. Curitiba, 2008.

CGEE. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. **Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 1**. Campinas: Nipe/Unicamp e Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2005.

\_\_\_\_\_. **Química Verde no Brasil: 2010 – 2030**. Ed. rev. e atual. Brasília: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, 2010.

CGEE; BNDES. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2008, 316 p.

CONCEIÇÃO SILVA, N. L. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**. 2010. 123 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CREUTZIG, F. et al. Can bioenergy assessments deliver? **Economics of Energy and Environmental Policy**, v. 1, n. 2, 2012.

DA SILVA, A. S. **Pré-tratamentos por moagem do bagaço e da palha de cana-de-açúcar para hidrólise enzimática e produção de bioetanol**. 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DANTAS, E.; FIGUEIREDO, P. **The Evolution of the Knowledge Accumulation Function in the Formation of the Brazilian Biofuels Innovation System**. VII GLOBELICS Conference in Dakar, 2009. Disponível em: [http://globelics2009dakar.merit.unu.edu/papers/1238516980\\_ED.pdf](http://globelics2009dakar.merit.unu.edu/papers/1238516980_ED.pdf). Acesso em: 11 jun. 2012.

DOSI, G. G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., SOETE, L. (Eds.). **Technical Change and Economic Theory**. Londres, Pinter Publishers, 1988.

DUNHAM, F. B.; FLECK, D. L.; BOMTEMPO, J. V. **Mudança Institucional e Tecnológica em Sistemas de Inovação: Estudo da Superação da Crise do Mosaico da Cana-de-açúcar na Indústria Sucroalcooleira do Brasil**. XXVI Simpósio de Gestão de Inovação Tecnológica. Vitória, Novembro de 2010.

EPA. Environmental Protection Agency. **Regulation of Fuels and Fuel Additives: Changes to Renewable Fuel Standard Program (Final Rule)**. Estados Unidos, 2010a.



\_\_\_\_\_. **Renewable Fuel Standard Program (RFS2) Regulatory Impact Analysis**. Estados Unidos, 2010b.

\_\_\_\_\_. **Direct Final Rule for Additional Qualifying Renewable Fuel Pathways under the RFS2 Program**. Estados Unidos, 2011.

\_\_\_\_\_. **Renewable Fuel Standard: Regulations and Standards**. Página da internet. Disponível em: <http://epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/index.htm>. Acesso em 28 jun. 2012.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2010.

EVANS, J. Improving and removing pre-treatment. Biofuels, **Bioproducts and Biorefining**, v.6, n.1, 2012. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.354/pdf>. Acesso em 03 mai. 2012.

EVANS, P. **Autonomia e parceria: Estados e transformação industrial**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

FARGIONE J.; HILL J.; TILMAN D.; POLASKY S.; HAWTHORNE P. Clearing land and the biofuel carbon debt. **Science**, v. 319, p. 1235–1238, 2008.

FIANI, R. **Cooperação e conflito: instituições e desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

GADELHA, C. A. G. Política industrial: uma visão neo-schumpeteriana sistêmica e estrutural. **Revista de Economia Política**, v. 21, n. 4, out./dez. 2001.

GEELS, F. W. Understanding system innovations: a critical literature review and a conceptual synthesis. In Elzen, B., Geels, F.W. & Green, K. (Eds.), *System Innovation and the Transition to Sustainability*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2004, p. 48-75.

\_\_\_\_\_. **Societal problems (such as sustainability) and a neo-evolutionary theory of industrial change**: Technology, markets, civil society and polity. International Schumpeter Society Conference. Aalborg, 2010.

GOMES, K. R. **Presença Estrangeira na Produção de Commodities: O Caso da Indústria do Etanol no Brasil**, Boletim de Economia e Política Internacional, IPEA, n.4, 2010.

GSI; IISD. Global Subsidies Initiative; International Institute for Sustainable Development. **State of play on biofuels subsidies**: Are policies ready to shift? Research report. Jun., 2012. Disponível em: <http://www.iisd.org/gsi/biofuel-subsidies/biofuels-state-play-2012>. Acesso em 29 jul. 2012.

IEL; SEBRAE. Instituto Euvaldo Lodi; Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **O Novo Ciclo da Cana**: Estudo sobre a Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos. Brasília: IEL/NC; SEBRAE, 2005.

ISO. International Sugar Association. **Cogeneration: Opportunities in the World Sugar Industries**. Abril, 2009. Disponível em: [www.isosugar.org](http://www.isosugar.org). Acesso em 16 abr. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/tabelas\\_pdf/tabela01.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/tabelas_pdf/tabela01.pdf). Acesso em 02 fev. 2012.

IPEA. **Biocombustíveis no Brasil: Etanol e Biodiesel**. Série Eixos do Desenvolvimento Nacional. Comunicados do IPEA, n.53, 2010.

\_\_\_\_\_. **Biodiesel no Brasil: desafios das políticas públicas para a dinamização da produção**. Comunicados do IPEA, n.137, 2012.

JAMASB, T.; POLLITT, M. Security of Supply and regulation of energy networks. **Energy Policy**, v. 36, p. 4584-4589, 2008.

JANK, M. S.; NAPPO, M. Etanol de cana-de-açúcar: uma solução energética global sob ataque. In: ABRAMOVAY, R. (Org.), **Biocombustíveis: a energia da controvérsia**. São Paulo: Ed. Senac, 2009, p. 19-58.

KLEPPER, S.; GRADDY, E. The evolution of new industries and the determinants of market structure. **The Rand Journal of Economics**, v. 21, n.1, p. 27-44, 1990.

KOLSTAD, C. **Environmental Economics**. Nova Iorque: Oxford University Press, 2000, p. 78-99.

KUPFER, D. Política Industrial. **Econômica**, v. 5, n. 2, p. 281-298, 2003.

\_\_\_\_\_. **A política industrial do século XXI**. Artigo publicado na página do Programa Brasil Maior (MDIC), em 03/02/2012. Disponível em: [www.brasilmaior.mdic.gov.br/artigos/1898](http://www.brasilmaior.mdic.gov.br/artigos/1898). Acesso em 10 abr. 2012.

LEVINTHAL, D. A. The slow pace of rapid technological change: gradualism and punctuation in technological change. In: DOSI, G; TEECE; D. J.; CHYTRY (Eds.). **Understanding Industrial and Corporate Change**. Londres: Oxford University Press, 2005.

LEVY, B.; SPILLER, P. T. The institutional foundations of regulatory commitment: A comparative analysis of telecommunications regulation. **Journal of Law, Economics & Organization**, v. 10, n. 2, p. 201-246, 1994.

MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 157-165, jan./abr. 2007.

MACEDO, I. C.; HORTA NOGUEIRA. L. A. **Avaliação da expansão da produção de etanol no Brasil**. Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. Brasília, 2004.

MAHONEY, J.; McCAHAN, A., PITELIS, C. The Interdependence of Private and Public Interests, *Organization Science*, v. 20, n. 6, p. 1034-1052, 2009.

MALERBA, F. Innovation and the evolution of industries. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 16, p. 3-23, 2006.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L. The dynamics and evolution of industries. **Industrial and Corporate Change**, v. 5, n. 1, 1996.

MAPA. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar: Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Documentos 110, 2009.

MATIAS, C. A. **Co-evolução dos Componentes do Marco Institucional e das Trajetórias de Acumulação de Capacidades Tecnológicas no Setor de Agroenergia (Etanol) no Brasil (1970-2009)**. Dissertação (Mestrado). Escola Brasileira de Administração Pública, Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 2011.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Programas para Consolidar e Expandir a Liderança: Bioetanol**. Política de Desenvolvimento Produtivo, 2009a. Disponível em <http://www.pdp.gov.br>. Acesso em 26 jan. 2012.

\_\_\_\_\_. **Programas para Fortalecer a Competitividade: Biodiesel**. Política de Desenvolvimento Produtivo, 2009b. Disponível em <http://www.pdp.gov.br>. Acesso em 26 jan. 2012.

MENDES, A. P. A.; COSTA, R. C. Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras. **BNDES Setorial**, n. 31, p. 253-280, 2010.

MILANEZ, A.; NYKO, D.; GARCIA, J.; REIS, B. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões de política. **BNDES Setorial**, n. 35, p. 277-302, 2012.

MME. **As Políticas Públicas para os Biocombustíveis no Brasil**. Apresentação realizada no V Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustible, Santiago, 2010.

\_\_\_\_\_. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**, N° 54. Departamento de Combustíveis Renováveis, Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Brasília, Jul. 2012.

NAE. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília: **Cadernos NAE 10 – Relatório Matriz de Combustíveis**, 2007.

NELSON, R. The Co-evolution of Technology, Industrial Structure and Supporting Institutions. **Industrial and Corporate Change**, v. 3, n. 1, 1994.

\_\_\_\_\_. **Institutions, Social Technologies and Economic Progress**, Globelics Working Paper Series, 34 p., 2007.

\_\_\_\_\_. What enables rapid economic progress: What are the needed institutions? **Research Policy**, n. 37, p. 1-11, 2008.

NELSON, R.; WINTER, S. Uma teoria evolucionária da mudança econômica. Campinas, São Paulo: Unicamp, 2005. (Tradução de Cláudia Heller do original **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1982.)

NORTH, D. **Institutions, institutional change and economic performance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

NYKO, D. et al. A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. **BNDES Setorial**, n. 32, p. 5-48, 2010.

OCDE. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Biofuels support policies: an economic assessment**. Paris: OCDE, 2008.

OCDE; FAO. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico; Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2021**, OECD Publishing and FAO, 2012. Disponível em: [www.agri-outlook.org](http://www.agri-outlook.org). Acesso em: 23 jul. 2012.

OLIVEIRA, L. J. M. Prolegômenos da atividade regulatória brasileira. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, VIII, n. 21, mai. 2005. Disponível em: [http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=556](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=556). Acesso em 10 jul. 2012.

OPIS. Oil Price Information Service. **Understanding Recent Changes in Biofuels Policy**. OPIS White Papers. Fevereiro, 2011. Disponível em: <http://www.rins.us/media/f5e7d48fc3eae971ffff81b0fffffdb.pdf>. Acesso em 20 jun. 2012.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, p. 343-373, 1984.

PIKE RESEARCH. Biofuels markets and technologies. Research report. Dez., 2011. Disponível em: <http://www.pikeresearch.com/research/biofuels-markets-and-technologies>. Acesso em 29 jul. 2012.

PILGRIM, S.; HARVEY, M. Battles over Biofuels in Europe: NGOs and the Politics of Markets. **Sociological Research Online**, v. 15, n. 3, 2010. Disponível em: [www.socresonline.org.uk/15/3/4.html](http://www.socresonline.org.uk/15/3/4.html). Acesso em 10 mar. 2012.

PINTO JUNIOR, H. Q. **Desenhos Institucionais e a Regulação de Energia**: um estudo comparativo das agências de regulação após as reformas. Versão ampliada do projeto de pesquisa “As Novas Práticas de Regulação: experiência internacional e lições para o caso brasileiro”. IE/UFRJ; ANP, 2002.

PRATES, C. P. T.; PIEROBON, E. C.; COSTA, R. C. Formação do mercado de biodiesel no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 25, p. 39-64, 2007.

PRIEGER, J. E. Regulatory delay and the timing of product innovation. **International Journal of Industrial Organization**, n. 25, p. 219-236, 2007.

RAJAGOPAL, D.; ZILBERMAN, D.; HOCHMAN, G. **Indirect Land Use Change**: A second best solution to a first class problem. CUDARE Working Paper nº 1110, 2010.

REGALBUTO, J. R. The sea change in US biofuels' funding: from cellulosic ethanol to green gasoline. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 5, p. 495-504, 2011.

RFA. Renewable Fuels Association. **2012 Ethanol Industry Outlook**. 2012. Disponível em: [www.rfa.org](http://www.rfa.org). Acesso em 23 jul. 2012.

ROSÁRIO, F. J. P. **Competitividade e transformações estruturais na agroindústria sucroalcooleira no Brasil**: uma análise sob a ótica dos sistemas setoriais de inovação. 2008. 213 p. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SÃO PAULO. Lei Nº 14.933, de 5 de junho de 2009. Institui a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo. **Secretaria do Governo Municipal**. Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em 20 jun. 2012.

SCHNEPF, R.; YACOBUCCI, B. **Renewable Fuel Standard: Overview and Issues**. Congressional Research Service. Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/R40155.pdf>. Acesso em 02 jun. 2012.

SEARCHINGER T.; HEIMLICH R.; HOUGHTON R. A.; DONG F.; ELOBEID A.; FABIOSA J. et al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science**, n. 319, p. 1238–1240, 2008.

SLATING, T. A.; KESAN, J. P. Making regulatory innovation keep pace with technological innovation. **Wisconsin Law Review**, Dez. 2011; Illinois Public Law Research Paper No. 10-34; Illinois Program in Law, Behavior and Social Science Paper No. LBSS11-17. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=1805008>. Acesso em 26 jun. 2012.

SORDA, G.; BANSE, M.; KEMFERT C. An overview of biofuel policies across the world, **Energy Policy**, nº 38, 2010.

SOUZA, Z. **Geração de Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Produção/Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2003.

SPILLER, P., TOMMASI, M. The Institutions of Regulation: An Application to Public Utilities. In: MÉNARD, C., SHIRLEY, M. (Eds.), **Handbook of New Institutional Economics**, Springer, p. 515-543, 2005.

STIGLER, G. The theory of economic regulation. **The Bell Journal of Economics and Management Science**, vol. 2, n. 1, p. 1-21, 1971.

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.

TEECE, D.; PISANO, G. The dynamic capabilities of firms: An introduction. **Industrial and Corporate Change**, v. 3, n. 3, p. 537-556, 1994.

TEECE, D.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 18, n. 7, p. 509-533, ago. 1997.

TIDD J.; BESSANT, J.; PAVITT, K., **Managing Innovation**: Integrating Technological, Market and Organizational Change. Nova Iorque: John Wiley, 2005.

TIMILSINA, G.; SHRESTHA, A. **Biofuels**: Markets, Targets and Impacts. Policy Research Working Paper Series, Banco Mundial, 2010.

\_\_\_\_\_. How much hope should we have for biofuels? **Energy**, v. 36, p. 2055-2069, 2011.

UTTERBACK, J. M. The Dynamics of Product and Process Innovation in Industry. In C.T. Hill; J.M. Utterback (eds.). **Technological Innovation for a Dynamic Economy**, Elmsford, New York: Pergamon Press, 1979.

VON DER WEID, J. Agrocombustíveis: solução ou problema? In: ABRAMOVAY, R. (Org.), **Biocombustíveis: a energia da controvérsia**. São Paulo: Ed. Senac, 2009. Cap. 3, p. 99-142.

WIESENTHAL, T., LEDUC, G., CHRISTIDIS, P., SCHADE, B., PELKMANS, L., GOVAERTS, L., GEORGOPOULOS, P. Biofuel support policies in Europe: Lessons learnt for the long way ahead, **Renewable and Sustainable Energy Review**, nº 13, 2008.